

RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA SOLAR EM S. PAULO, CHIBA, CALAFATE E ILHA DE PÁSCOA

E. Okuno¹, T. Nakajima¹, E. M. Yoshimura¹, F. Hiodo², A. M. F. Fausto³,
W. S. Paes³, N. K. Umisedo¹, S. Otsubo¹

RESUMO -- Este artigo discute tópicos relacionados com a radiação ultravioleta tais como classificação, grandezas e unidades, radiação solar e agentes que modificam a irradiância na superfície terrestre, efeitos biológicos e recomendações internacionais. Apresenta também uma análise de taxas de incidência anual de câncer de pele para diversos países em desenvolvimento que fizemos a partir dos dados extraídos de IARC/WHO (1986). Inclui resultados de medidas de irradiância realizadas em: S. Paulo (Brasil), Chiba (Japão), Calafate (Argentina) e Ilha de Páscoa (Chile).

Palavras-chave: Radiação Ultravioleta Solar, Efeitos Biológicos, Câncer de Pele, Irradiância de UV Solar na Terra.

INTRODUÇÃO

Cerca de 50% da energia radiante solar que chega à superfície terrestre está na faixa visível do espectro eletromagnético e de 5 a 8% na região do ultravioleta (UV). A radiação ultravioleta solar causa eritema (queimadura de pele) nos seres humanos e câncer de pele em animais expostos em laboratório. O comprimento de onda mais efetivo em produzir eritema na pele de um caucasiano típico é de 297 nm. A luz solar é cerca de 100 vezes mais eficiente em produzir eritema no verão que no inverno. Existem evidências muito fortes de que a radiação UV solar causa câncer de pele também nos seres humanos. Leffell e Brash (1996) demonstraram recentemente que radiação UVB (veja classificação adiante) causa câncer de pele não-melanoma, atuando como iniciador e promotor da oncogênese.

Por causa dos efeitos deletérios da radiação ultravioleta e da diminuição da camada de ozônio, muitos pesquisadores vêm efetuando medidas de irradiância da radiação UV solar em diversas partes do mundo. Também muitos artigos de revisão vêm sendo escritos, entre os quais podemos citar: Diffey (1980, 1991) e Moseley (1994). Vários outros artigos consultados sobre a irradiância de UV/camada de ozônio e os efeitos biológicos foram: Frederick *et alii* (1989, 1993), Frederick e Alberts (1991), Epstein (1989), Seckmeyer *et alii* (1994), Starnes *et alii* (1992), Bojkov e Fioletov (1995), Wong *et alii* (1995), Lubin e Jensen (1995), McMinn *et alii* (1994), Robberecht (1989), Seckmeyer e McKenzie (1992), Scotto *et alii* (1988), Kerr e McElroy (1993).

¹ Docentes e Pesquisadores do Instituto de Física da Universidade de São Paulo, Caixa Postal 66318, 05389-970, São Paulo, SP, E-mail: EOKUNO@IF.USP.BR

² Docente do Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP

³ Pesquisadores da Divisão de Higiene, Segurança e Medicina do Trabalho da Reitoria da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP

Iniciamos uma pesquisa em S. Paulo que, se pretende, seja sistemática e envolva trabalho interdisciplinar de físicos, cancerologistas, meteorologistas, etc. com o intuito de medir a irradiância da radiação UV solar em diversas localidades e correlacionar esses dados com aqueles de incidência de câncer de pele na população.

Classificação da radiação UV

A radiação UV faz parte do espectro eletromagnético e compreende ondas eletromagnéticas com comprimento de onda de 100 a 400 nm. É classificada pela Comissão Internacional de Iluminação em três regiões: UVA (315 a 400 nm), denominada luz negra, UVB (280 a 315 nm) também chamada eritemática e UVC (100 a 280 nm), a germicida. Radiação UV com comprimento de onda menor que 180 nm é rapidamente absorvida pelo ar e por isso também chamada UV vácuo.

Fotobiologistas ambientais usam uma classificação um pouco diferente, separando UVA e UVB em 320 nm talvez pelo fato de a radiação UV com comprimento de onda menor que 320 nm ser fotobiologicamente mais ativa que aquela com comprimento de onda maior. Usam também 290 nm para a separação entre UVC e UVB, uma vez que a presença de radiação UV solar com comprimento de onda menor que 290 nm na superfície terrestre é desprezível, devido à sua eficiente absorção pelas moléculas de oxigênio e ozônio.

Grandezas e unidades relacionadas com a radiação UV

A terminologia usada pelos físicos e fotobiólogos é a radiométrica em vez da fotométrica. As grandezas radiométricas relacionadas com um feixe de radiação UV que passa através do espaço são energia radiante Q (medida em joule no SI) e fluxo radiante $\phi = dQ/dt$, em watt. Por outro lado, as grandezas relacionadas com a fonte de radiação são: intensidade radiante $I = d\phi / d\Omega$, com unidade em watt por esterradiano, e irradiância $E = d\phi / dA$, em watt por metro quadrado. Outra grandeza muito usada é a exposição radiante que é a integral no tempo da irradiância $H = E.t$, medida em joule por metro quadrado.

A exposição à radiação UV é quantificada em termos de irradiância, quando contínua. Para exposições limitadas no tempo, como no caso de feixe pulsado, usa-se a exposição radiante.

Não existe ainda uma grandeza para estimar a energia absorvida pela pele, equivalente à dose absorvida para radiação ionizante. Existe um parâmetro comumente usado, principalmente em cosmetologia, chamado dose eritema mínima (MED) que é totalmente inadequado, uma vez que ele depende muito do tipo de pele. A MED é definida como sendo a quantidade de exposição solar que resulta num avermelhamento apenas perceptível da pele, 24 horas após a exposição. A MED depende muito da cor da pele. Para 300 nm a MED para uma pele branca não climatizada é cerca de 200 J/m², enquanto que para a radiação UVA é cerca de 10³ vezes maior. Para japoneses, a MED média é de 70 kJ/m².

Radiação solar

A Tabela 1 (Frederick *et alii* 1989) dá a distribuição espectral da irradiância solar acima da atmosfera terrestre. A radiação solar que atinge a superfície terrestre consiste basicamente de uma componente direta e uma difusa ou espalhada. O espalhamento da radiação pode ocorrer pelos processos Rayleigh e Mie. No primeiro caso, moléculas da atmosfera como oxigênio, nitrogênio que

possuem dimensões menores que o comprimento de onda λ da radiação, espalham a radiação solar e a energia espalhada é inversamente proporcional a λ^4 , isto é, o espalhamento é mais pronunciado para UVB do que para UVA. O espalhamento do tipo Mie é causado por partículas de diâmetro comparável ao comprimento de onda da radiação como as de pó, aerossóis e gotículas de água. Ao meio dia, a irradiância na superfície terrestre tem contribuições iguais de radiação direta e espalhada, enquanto que ao amanhecer e ao entardecer a componente espalhada é maior.

Tabela 1. Distribuição da irradiância solar antes da atenuação pela atmosfera terrestre.

Região de comprimento de onda (nm)	Irradiância (W/m ²)	% do total
UVC (< 280)	6,4	0,5
UVB (280 - 320)	21,1	1,5
UVA (320 - 400)	85,7	6,3
Visível (400 - 700)	532,0	38,9
Infravermelho (>700)	722,0	52,8

Principais agentes que modificam a irradiância da radiação solar

Fatores temporais, geográficos e meteorológicos (Frederick *et alii* 1989) afetam a irradiância espectral da radiação UV na superfície da Terra.

- Hora do dia: cerca de 20 a 30% da irradiância diária de UV no verão chega à Terra uma hora antes e uma hora após o meio dia, e entre 70 e 80% entre 9:00 e 15:00h.
- Estação do ano: a irradiância de UVB diária próximo ao Equador (20°N) apresenta variação sazonal de +25% no verão e -30% no inverno em relação à primavera/outono. Na zona temperada (40°N), esses valores correspondem a +70% e -70%.
- Latitude geográfica: o fluxo de radiação UV diminui com o aumento da distância ao Equador.
- Nuvem: a presença de nuvens no céu afeta muito a irradiância de radiação infravermelha mas pouco a de UV. Se o Sol estiver encoberto por nuvens, a quantidade de radiação UVB ainda será de cerca de 50% daquela de um dia claro.
- Altitude: em geral, a cada 1 km de aumento na altitude, o fluxo de UV aumenta ao redor de 6%.
- Reflexão de superfície: a neve e a areia refletem respectivamente cerca de 30% e 25% e as superfícies terrestre e marítima, menos de 7% da radiação UV.
- Ozônio: é o fator mais importante de absorção da radiação UVB solar dirigida à superfície terrestre. O ozônio (O₃) é formado constantemente na estratosfera através da combinação da molécula de O₂ com O. Este último provém da fotodissociação de O₂ por um fóton de UVC ($\lambda < 242$ nm). O O₃, por sua vez, é também dissociado em O₂ e O por um fóton com $\lambda < 320$ nm. A dissociação de O₃ é o mecanismo responsável pela quantidade desprezível de radiação UV com $\lambda < 290$ nm na superfície terrestre. Nos últimos 20 anos, os clorofluorcarbonos (CFC's) têm sido considerados os vilões responsáveis pela depleção da camada de ozônio, alterando o balanço natural de criação e destruição de O₃. A radiação UV atua na molécula de CFC que libera cloro. Esse, por sua vez, é o responsável pela quebra de O₃, de uma forma muito eficiente.

Efeitos biológicos

Os efeitos biológicos devidos à radiação UV nos seres humanos se limitam à pele e ao olho por causa de sua pequena capacidade de penetração. A penetração na pele se limita a 1 mm e no olho a absorção ocorre quase que totalmente na córnea e no cristalino. Os efeitos mais comuns no olho são catarata e fotoqueratite e na pele, bronzeamento, eritema e câncer.

Eritema -- (queimadura de Sol): radiação UV com $\lambda = 300$ nm é cerca de 100 e 1000 vezes respectivamente mais efetiva que aquelas com $\lambda = 320$ nm e 365 nm para a produção de eritema. Ele aparece entre 0,5 e 8 horas e com pico entre 12 e 24 horas após a exposição a UVB. Eritema causado por UVC alcança o máximo mais rapidamente, entre 5 e 8 horas após a irradiação. O eritema induzido por UVB com λ 's entre 295 e 315 nm é mais grave e persiste por mais tempo que o causado por UVB com λ 's mais curtos, provavelmente por serem os primeiros mais penetrantes na epiderme. O mecanismo do eritema ainda é desconhecido, mas há indícios de que a prostaglandina desempenha um papel importante e de que os radicais oxigênio atuam na deflagração do eritema (Moseley, 1994).

Bronzeamento -- é a pigmentação da pele, resultante da síntese e migração da melanina que é formada nos melanócitos na camada de células basais da epiderme. O bronzeamento pode ser imediato ou retardado. No primeiro caso, ele se torna evidente entre 5 e 10 minutos após a exposição e normalmente desaparece em 1 ou 2 horas, e no segundo o bronzeamento se torna observável 1 ou 2 dias após a exposição, continua aumentando por vários dias e pode persistir por semanas ou meses. Para uma única exposição, a sensibilidade da pele para eritema e bronzeamento é indistinguível para $\lambda > 300$ nm, mas para λ 's menores a pele é mais sensível ao eritema e assim é mais provável que ocorra a queimadura do que o bronzeamento.

Câncer de pele -- Peak e Peak (1989) reportam que a radiação UVB causa mutações em células de mamíferos, formando dímeros de pirimidina e que a radiação UVA causa quebra num filamento de ADN de células humanas. Os 3 tipos de câncer de pele que ocorrem mais comumente nos seres humanos são: carcinoma das células basais ou basocelular e das células escamosas ou epidermóide, ambos relacionados à exposição acumulativa a radiação UV, e melanoma, associado à exposição intensa num curto período de tempo, principalmente na infância (Lee, 1989). Acredita-se que uma redução de 10% na camada de ozônio produza um aumento de 26% na incidência de cânceres de pele, excluído o melanoma (Ambach and Blumthaler, 1993). Segundo Fonseca *et alia* (1981), o carcinoma basocelular aparece freqüentemente na face, em volta do nariz e também no tronco e quase que só em adultos, sobretudo de 40 a 50 anos. Por outro lado, o carcinoma das células escamosas surge na maior parte das vezes no couro cabeludo, região frontal e lábio inferior. Já a maioria dos melanomas ocorre em regiões do corpo que não são cronicamente expostos à radiação solar (Setlow and Woodhead, 1994). Indivíduos XP (portadores da rara doença genética *xeroderma pigmentosum*) têm um risco aumentado (mais de mil vezes maior) de desenvolver câncer de pele com a exposição solar, pois seu mecanismo de reparo de lesões cromossômicas é deficiente. O papel desempenhado pelo gene *p53* no desenvolvimento dos cânceres não-melanoma tem sido enfatizado na literatura recente (Leffell and Brash, 1996): a sua alteração por uma primeira irradiação UV produz uma mutação que impede a regeneração ou a autodestruição celular, colaborando para o desenvolvimento e crescimento de um tumor quando a epiderme é posteriormente irradiada.

Modificação no sistema imunológico -- evidências convincentes de que tumores transplantados em ratos, que são normalmente rejeitados, crescem quando os animais são previamente expostos à radiação UV, surgiram de série de experimentos realizados por Kripke (1974). Em animais de laboratório, a exposição à radiação UVB produz alterações seletivas na função do sistema imunológico, principalmente por supressão de respostas normais. Essa supressão é importante no desenvolvimento de câncer não-melanoma de pele e de doenças infecciosas (Morison, 1989). Evidências experimentais recentes reforçam também a hipótese de que a radiação ultravioleta induz alterações na resposta imune, diminuindo a resistência a antígenos do melanoma (Aubin and Agache, 1993). É também conhecido de longa data que pacientes com lupus eritematoso são fotossensíveis e que uma exposição à radiação UV pode induzir doenças cutâneas.

O gráfico da Figura 1 mostra taxas de incidência anual de câncer de pele para diversos países em desenvolvimento em função da latitude, extraídas da referência IARC/WHO (1986). Nessas taxas, calculadas por 100.000 habitantes dos locais amostrados, estão incluídas todas as neoplasias malignas de pele excluindo o melanoma (classificação ICD 173). Para uma análise mais completa fizemos a separação por etnia predominante em cada local (Compton, 1995), como visto nos diversos símbolos apresentados no gráfico. Pode-se perceber uma pequena tendência de aumento das taxas para latitudes baixas. No entanto, nota-se claramente que cada etnia tem um comportamento distinto: por exemplo, qualquer que seja a latitude, a taxa de incidência de câncer de

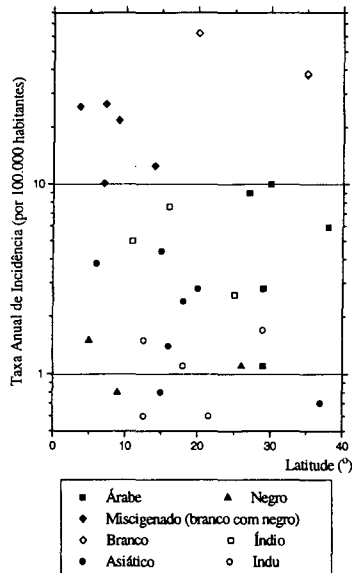


Figura 1. Taxas de incidência anual de câncer de pele não melanoma para diversos países em desenvolvimento, em função da latitude.

pele para negros é pouco importante, enquanto que, para a raça branca (ou até mesmo miscigenada com a raça negra), o índice é alto, mesmo para latitudes elevadas. De fato, a análise de ocorrência de câncer não é tão simples e os dados apresentados na Figura 1 devem ser vistos com muito cuidado, já que outros fatores importantes como distribuição de habitantes com a altitude, qualidade do ar, hábitos de insolação em cada local etc. não são conhecidos. Outro ponto a considerar é a deficiência dos sistemas regionais de registro de casos de câncer, que é notória para a classe do câncer de pele (IARC/WHO, 1990). Em países como o Brasil, com grande diversidade de raças e intensa miscigenação é muito importante o conhecimento da irradiância nas faixas de UVB e UVA tanto para a orientação da população como para o estudo da sua correlação com as taxas de incidência de câncer de pele para todas as etnias presentes.

Recomendações internacionais

A Associação Internacional de Proteção Radiológica (IRPA, 1991) emitiu as recomendações sobre exposição à radiação UV. Ela reconhece que existem efeitos benéficos que resultam de exposição radiante baixa, como a síntese da vitamina D na pele, mas estabelece limites por causa dos efeitos adversos. Os limites de exposição devem ser considerados como absolutos para o olho e recomendados para a pele, e foram estabelecidos levando em conta pessoas que possuem pele levemente pigmentada.

As recomendações para exposições gerais e ocupacionais da pele e do olho, em que os valores da irradiância são conhecidos e a duração da exposição é controlada, sempre para um período de 8 horas, são:

- para os olhos desprotegidos, a exposição radiante total na faixa de UVA não deve exceder o limite de 10 kJ m^{-2} . Para UVB e UVC, os limites de exposição são fornecidos em tabela específica em função de λ .
- para a pele desprotegida, os limites de exposição radiante são também tabelados para $180 \text{ nm} < \lambda < 400 \text{ nm}$, indo de $2,5 \cdot 10^3 \text{ J m}^{-2}$ a 10^6 J m^{-2} , passando por um mínimo em 30 J m^{-2} , respectivamente para $\lambda = 180, 400$ e 270 nm .

MATERIAL E MÉTODO

As medidas de irradiância da radiação ultravioleta foram realizadas com um fotodiodo embutido em um relógio de pulso de marca FILA. Esse equipamento mede radiação UV com comprimento de onda de 260 a 390 nm e irradiância entre 0 e 100 W/m^2 . A precisão na medida é da ordem de 5% entre 5 e 35°C . Para a medição, o sensor foi sempre colocado a 1 m do solo e direcionado para o Sol, registrando-se o valor máximo de irradiância para um dado local a uma dada hora, garantindo-se assim uma incidência da radiação perpendicular ao sensor. Os locais escolhidos para as medidas foram as cidades de S. Paulo (Brasil), Calafate (Argentina), Ilha de Páscoa (Chile) e Chiba (Japão). As latitudes, longitudes e altitudes dos locais acima estão na Tabela 2.

Tabela 2. Latitudes, longitudes e altitudes dos locais onde foram realizadas as medidas.

local	latitude (°)	longitude (°)	altitude (m)
S. Paulo (Brasil)	23,4 S	- 46,7	800
Calafate (Argentina)	50,4 S	- 72,2	350
Ilha de Páscoa (Chile)	27,0 S	- 109,0	nível do mar
Chiba (Japão)	35,5 N	+ 140,0	nível do mar

RESULTADOS EXPERIMENTAIS

As medidas realizadas no período de 6 de setembro a 10 de outubro de 1995 em alguns locais da cidade de S. Paulo estão representadas por símbolos na Figura 2. A curva traçada foi obtida através de uma regressão polinomial. Durante o período houve muitos dias nublados e chuvosos nos quais não foi possível a realização de medidas. Nota-se uma variação muito grande na irradiância, principalmente, entre 11:00 e 14:00 horas, provavelmente devida à poluição ambiental, e leve nebulosidade de difícil percepção visual. A curva traçada deve corresponder à média anual de irradiância, uma vez que as medidas foram efetuadas num período próximo ao equinócio de primavera.

A Figura 3 mostra os resultados obtidos em Calafate, Ilha de Páscoa e Chiba. Os pontos medidos estão representados por símbolos e as curvas obtidas por regressão polinomial.

A irradiância na Ilha de Páscoa é bem maior que a de S. Paulo nos horários correspondentes. Isso vale também para Calafate cuja latitude é consideravelmente maior que a da cidade de S. Paulo. As diferentes épocas (veja legenda das Figuras 2 e 3) de medição nessas localidades e a poluição ambiental, inexistente na Ilha de Páscoa e Calafate e grande em S. Paulo, podem ser alguns dos motivos para os resultados obtidos. A latitude de Calafate explica a grande duração do dia. As medidas de Chiba foram feitas no inverno e por esse motivo os valores de irradiância são baixos e o período de insolação curto.

Esses resultados podem ser comparados com aqueles de verão na Inglaterra (latitude de 50 a 59°N), ao meio dia, num dia claro em que a irradiância de UVA é de 40 W/m², enquanto que a de UVB é de 2W/m² (Diffey, 1982).

CONCLUSÃO

Os dados de irradiância da radiação UV solar aqui apresentados são apenas preliminares. Mais dados devem ser acumulados para que possamos aprofundar a análise. A reflexão feita sobre os efeitos biológicos da radiação UV e a atual polêmica sobre a diminuição da camada de ozônio apontam para a necessidade de realizar medidas durante todo o ano e em outras localidades, com equipamentos capazes de fornecer o espectro da radiação UV solar (Driscoll, 1996). Essa é nossa perspectiva de continuidade do projeto.

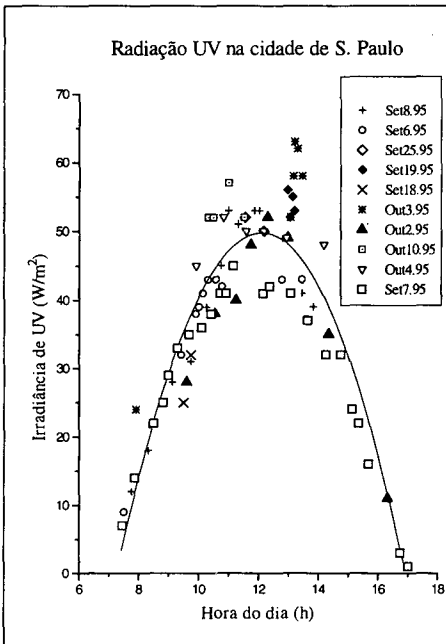


Figura 2. Radiação UV solar com comprimento de onda entre 260 e 390 nm em alguns locais da cidade de São Paulo, no período de 6 de setembro a 10 de outubro de 1995. A curva foi obtida através de ajuste por regressão polinomial.

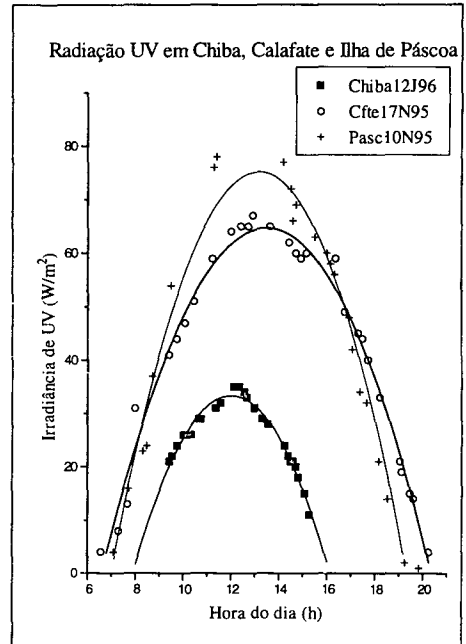


Figura 3. Radiação UV solar com comprimento de onda entre 260 e 390 nm em Chiba (01/96), Calafate (11/95) e Ilha da Páscoa (11/95). As curvas foram obtidas através de ajustes por regressão polinomial.

REFERÊNCIAS

- AUBIN, F. and AGACHE, P. (1993). "Photoimmunology of Melanoma", *Presse Med.*, v. 22, n. 2, p. 77-79.
- AMBACH, W. and BLUMTHALER, M. (1993). "Biological Effectiveness of Solar UV Radiation in Humans", *Experientia*, v. 49, n. 9, p. 747-753.
- BOJKOV, R. D. and FIOLETOV, V. E. (1995). "The relation between solar UV irradiance and Total Ozone from the Observations over Southern Argentina", *Geophysical Research Letters*, v. 22, n. 10, p. 1249-1252.
- COMPTON (1995). *Compton's Interactive Encyclopedia*, Compton's Learning Company, CD, Califórnia.

- DIFFEY, B. L. (1980). "Ultraviolet Radiation Physics and the Skin", *Physics in Medicine and Biology*, v. 25, n. 25, p. 405-426.
- DIFFEY, B. L. (1982). *Ultraviolet Radiation in Medicine*, Adam Hilger Ltd, Bristol, Great Britain.
- DIFFEY, B. L. (1991). "Solar Ultraviolet Radiation Effects on Biological Systems", *Physics in Medicine and Biology*, v. 36, n. 3, p. 299-328.
- DRISCOLL, C. M. H. (1996). "Solar UVR Measurements", *Radiat. Prot. Dosim.*, v.64, n. 3, p. 179-188.
- EPSTEIN, J. H. (1989). "Photomedicine" In: *The Science of Photobiology* ed. Kendric C. Smith, Second Edition, Plenum Press, USA.
- FREDERICK, J. E., SNELL, H. E. and HAYWOOD, E. K. (1989). "Solar Ultraviolet Radiation at the Earth's Surface", *Photochemistry and Photobiology*, v. 50, n. 8, p. 443-450.
- FREDERICK, J. E. and ALBERTS, A. D. (1991). "Prolonged Enhancement in Surface Ultraviolet Radiation during the Antarctic Spring of 1990", *Geophysical Research Letters*, v. 18, n. 10, p. 1869-1871.
- FREDERICK, J. E., SOULEN, P. F., DIAZ, S. B, SMOLSKAIA, I., BOOTH, C. R., LUCAS, T. and NEUSCHULER, D. (1993). "Solar Ultraviolet Irradiance Observed from Southern Argentina: September 1990 to March 1991", *Journal of Geophysical Research*, v. 98, n. D5, p. 8891-8897.
- FONSECA, A. e FARIA, J. L. (1981). "*Nevos, Tumores de Pele e Dermatoses Cancerizáveis*" Atheneu Editora, S. Paulo.
- IARC/WHO (1986). *Cancer Occurrence in Developing Countries*, Parkin D. M. (ed.), International Agency for Research on Cancer Scientific Publications No. 75, Lyon, France.
- IARC/WHO (1990). *Patterns of Cancer in Five Continents*, Whelan, S. L., Parkin D. M. and Mansuy, E. (ed.), International Agency for Research on Cancer Scientific Publications No 102 Lyon, France.
- IRPA (1991). *Guidelines on Protection Against Non-Ionizing Radiation*, ed. A. S. Duchene, J. R. A. Lakey and M. H. Repacholi (Oxford: Pergamon).
- KERR, J. B. and McELROY (1993). "Evidence for Large Upward Trends of Ultraviolet-B Radiation linked to Ozone Depletion", *Science*, v. 262, p. 1032-1034.
- KRIPKE, M. L. (1974). "Antigenicity of Murine Skin Tumors Induced by Ultraviolet Light", *Journal of National Cancer Institute*, v. 53, p. 1333-1336.

- LEE, J. A. (1989). "The Relationship between Malignant Melanoma of Skin and Exposure to Sunlight", *Photochemistry and Photobiology*, v. 50, n. 4, p. 493-496.
- LEFFEL, D. J. and BRASH, D. E. (1996). "Sunlight and Skin Cancer", *Scientific American*, v. 275, n. 1, p. 38-43.
- LUBIN, D. and JENSEN, E. H. (1995). "Effects of Clouds and Stratospheric Ozone Depletion on Ultraviolet Radiation Trends", *Nature*, v. 377, p. 710-713.
- McMINN, A., HELJNIS, H. and HODGSON, D. (1994). "Minimal effects of UVB Radiation on Antarctic Diatoms over the Past 20 Years", *Nature*, v. 370, p. 547-549.
- MORISON, W. L. (1989). "Effects of Ultraviolet Radiation on the Immune System of Humans", *Photochemistry and Photobiology*, v. 50, n. 4, p. 515-524.
- MOSELEY, H. (1994). "Ultraviolet and Laser Radiation Safety", *Physics in Medicine and Biology*, v. 39, p. 1765-1799.
- PEAK, M. J. and PEAK, J.G. (1989,) "Solar Ultraviolet-induced Damage to DNA", *Photodermatology*, v. 6, p. 1-15.
- ROBBERECHT, R. (1989). "Environmental Photobiology", *The Science of Photobiology* ed. Kendric C. Smith, Second Edition, Plenum Press, USA.
- SCOTTO, J., COTTON, G., URBACHM F. BERGER, D. and FEARS, T. (1988). "Biologically Effective Ultraviolet Radiation: Surface Measurements in the United States, 1974 to 1985", *Science*, v. 239, p. 762-764.
- SECKMEYER, G., MAYER, B., ERB, R. and BERNHARD, G. (1994). "UV-B in Germany higher in 1993 than in 1992", *Geophysical Research Letters*, v. 21, n. 7, p. 577-580.
- SECKMEYER, G. and McKENZIE, R. L. (1992). "Increased Ultraviolet Radiation in New Zealand (45°S) Relative to Germany (48°N)", *Nature*, v. 359, p. 135-137.
- SETLOW, R. B. and WOODHEAD, A. D. (1994). "Temporal Changes on the Incidence of Malignant Melanoma: Explanation from Action Spectra", *Mutat. Res.*, v. 307, n. 1, p. 365-374.
- STAMNES, K., JIN, Z., SLUSSER, J., BOOTH, C. and LUCAS T. (1992). "Several-fold Enhancement of Biologically Effective Ultraviolet Radiation Levels at McMurdo Station Antarctica During the 1990 Ozone "Hole", *Geophysical Research Letters*, v. 19, n. 10, p. 1013-1016.
- WONG, C. F., TOOMEY, S., FLEMING, R. A. and THOMAS, B. W. (1995). "UV-B Radiometry and Dosimetry for Solar Measurements", *Health Physics*, v. 68, n. 2, p. 175-184.

SOLAR ULTRAVIOLET RADIATION IN S. PAULO, CHIBA, CALAFATE AND EASTER ISLAND

E. Okuno¹, T. Nakajima¹, E. M. Yoshimura¹, F. Hiodo², A. M. F. Fausto³,
W. S. Paes³, N. K. Umisedo¹, S. Otsubo¹

ABSTRACT -- This paper presents topics related to ultraviolet radiation as: classification, quantities and units, solar radiation and factors that affect terrestrial UV irradiance, along with biological effects and international exposure guidelines. An analysis of skin cancer crude incidence rate in several developing countries was performed, using the data extracted from IARC/WHO (1986). The results of solar UV irradiance measurements in S. Paulo city (Brazil), Chiba (Japan), Calafate (Argentina) and Easter Island (Chile) are also included.

Key-words: Solar Ultraviolet Radiation, Biological Effects, Skin Cancer, Solar UV Irradiance on Earth.

¹ Docentes e Pesquisadores do Instituto de Física da Universidade de São Paulo, Caixa Postal 66318, 05389-970, São Paulo, SP, E-mail: EOKUNO@IF.USP.BR

² Docente do Instituto Astronômico e Geofísico, Universidade de São Paulo, São Paulo, SP

³ Pesquisadores da Divisão de Higiene, Segurança e Medicina do Trabalho da Reitoria da Universidade de São Paulo, São Paulo, SP