

## **AVALIAÇÃO DO ÍNDICE ULTRAVIOLETA E DA CORRELAÇÃO DO KTUV NA CIDADE DE PESQUEIRA - PE**

**Manoel H. de O. Pedrosa Filho, Rafael Alves Freire Guimarães.**  
Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia de Pernambuco, Campus Pesqueira,  
Pesqueira-PE, Brasil.

*Recibido 08/08/16, aceptado 09/10/16*

**RESUMEN:** La realización de estudios sobre la radiación ultravioleta y su constante monitoreo son indispensables para la prevención contra los males provenientes de la exposición de la población, y constante difusión de los valores a los que el índice ultravioleta puede llegar en una localidad. Utilizándose valores medidos de la radiación ultravioleta en la ciudad de Pesqueira-PE, este trabajo tiene como objetivo analizar estadísticamente las ocurrencias del índice ultravioleta y determinar como la radiación ultravioleta está relacionada con la radiación global para la localidad en estudio. Fue verificado que para los horarios entre las 9h y 13h, existe una mayor probabilidad de ocurrencia de IUV encima de 5. Se encontró que el mejor ajuste entre los índices Kt y KtUV se obtiene por medio de una ecuación polinómica de 2º grado, tanto para valores horarios y diarios, para ambos, el coeficiente de correlación fue del orden de 84%.

**Palabras-clave:** Energía solar, Radiación ultravioleta, índice ultravioleta.

### **INTRODUÇÃO**

Atualmente, no Brasil, os tipos de câncer que mais afetam a população são os de pele, melanoma e não melanoma. Pesquisas do INCA (Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes), encontradas no site dessa instituição, indicam que, 25% dos casos de câncer no Brasil são de pele.

O câncer de pele e o melanoma têm sua origem nos melanócitos (células produtoras de melanina) e predomina em adultos brancos. Embora o câncer de pele seja o mais frequente no Brasil, o melanoma apresenta 4% das neoplasias malignas do órgão e é o mais grave devido a sua alta possibilidade de metástase. Já o câncer não melanoma é o de maior incidência e de baixa mortalidade, comum em pessoas com mais de 40 anos (INCA).

A principal causa desse tipo de câncer é a exposição excessiva à radiação ultravioleta (RUV) proveniente do sol, sem a proteção adequada. Mesmo sendo de suma importância para nossa saúde no auxílio à produção da vitamina D, a exposição à RUV em excesso pode causar “sardas, eritemas (queimaduras, avermelhamento), depleção do sistema imunológico, envelhecimento precoce, catarata” (Leal, 2011). Também pode ser responsável por alterações no DNA e nas proteínas, e essas alterações geram Carcinogênese (Sgarbi et al., 2007).

Além da possibilidade de a RUV causar problemas à saúde do ser humano, “a exposição de materiais a ela pode causar modificações irreversíveis nas propriedades físico-químicas desses materiais” (Silva, 2008), pois, segundo Leal (2011), quando a radiação UV é absorvida por um determinado material (metais, madeiras, polímeros), podem ocorrer, em se tratando de metais, reações oxidativas, vindo a causar perda de tensão e elasticidade; e, em relação a polímeros naturais e sintéticos, perda de coloração ou até mesmo das propriedades mecânicas.

Mesmo trazendo tantos impactos à nossa sociedade, informações referentes à RUV são escassas e têm baixa cobertura temporal e espacial. Isso se deve, principalmente, ao alto custo dos equipamentos e sensores, e aos custos operacionais na implantação de uma estação de medição (Leal, 2011).

Levando em conta esses dados, este trabalho tem como finalidade analisar estatisticamente os níveis de incidência de Radiação Ultravioleta e o índice dessa radiação na cidade de Pesqueira – PE. Para tal, considerou-se o período de um ano: de agosto de 2013 a julho de 2014. A partir da análise dos resultados obtidos, traçou-se um mapa da variação do Índice Ultravioleta (IUV) de acordo com o período do ano e horário do dia, a fim de poder contribuir com a prevenção dos males decorrentes da exposição em excesso à RUV, pois, segundo Andrade (2007), “O conhecimento da exposição à Irradiação solar UV seria o primeiro passo para uma política pública de prevenção e mitigação desses problemas”. Também foram obtidas correlações entre o índice de claridade (Kt) e o índice de claridade na faixa do UV (KtUV) nas escalas horárias e diárias.

Considera-se, pois, que este estudo tem relevância na medida em que pode trazer contribuições para políticas públicas voltadas para a saúde da população. Antes, contudo, de registrar-se a análise dos dados coletados por esta investigação, trar-se-á a pesquisa bibliográfica, fundamental para a compreensão dos conceitos que serão tratados neste estudo.

## **METODOLOGIA**

Este trabalho foi desenvolvido experimental e teoricamente na cidade de Pesqueira – PE, no IFPE Campus Pesqueira (latitude: -8:21:59,87, longitude: -36:40:50,34 e altitude: 660m). Foram utilizados inicialmente dados da radiação ultravioleta medidos por meio de um piranômetro TUVR (Total Ultraviolet Radiometer) da Eppley, no período de agosto de 2013 a julho de 2014.

### **Relação matemática entre os níveis de radiação obtidos pelo TUVR e a REUV**

Para se obter os valores do IUV (índice ultravioleta), inicialmente, buscou-se relacionar os dados obtidos da radiação medidos pelo TUVR com os níveis de REUV (radiação UV eritemicamente ativa), pois os níveis de RUV (radiação ultravioleta) medidos pelo TUVR não consideram o espectro de ação ( $\epsilon\lambda$ ) específico relacionado a cada comprimento de onda, pois segundo Kirchhoff et al. (2000): a pele interage de forma diferente, quando exposta a radiações de diferentes comprimentos de onda.

Observou-se também que, o intervalo de comprimentos de onda medido pelo TUVR é diferente do intervalo de comprimentos de onda que compreendem a REUV. O TUVR mede as radiações entre os comprimentos de onda de 295nm a 380nm e a REUV, de 280nm a 400nm.

Para permitir que se possa relacionar os valores medidos da RUV com o índice UV, procurou-se, portanto, obter uma relação básica entre as duas grandezas, para isto foi realizada uma simulação, utilizando o modelo de transmissividade atmosférica do SPECTRAL2 (Bird e Riordan, 1984), que simula os níveis de radiação entre 300nm e 4000nm, em função de determinados parâmetros atmosféricos e geográficos que podem ser alterados conforme as necessidades do usuário. Foram utilizados os seguintes parâmetros: dias (julianos), horas, minutos, turbidez atmosférica, albedo, ozônio atmosférico (em  $\text{cm}^3$ ) e água precipitável.

Empregando esses parâmetros, foram feitas simulações para dois dias diferentes, o solstício de inverno e o solstício de verão. Estas simulações foram realizadas para se obter os níveis de radiação medidos pelo TUVR. A partir dos resultados da radiação espectral, fornecidos pelo SPECTRAL2, utilizou-se a Eq. 1 para realizar a integração de acordo com a faixa de comprimentos de onda que o TUVR trabalha.

$$RUV = \int_{300}^{380} I(\lambda).d\lambda \quad (1)$$

Para o caso do cálculo para REUV, fez-se a integração dos níveis de radiação em função do comprimento de onda, variando entre 300nm e 400nm (Eq. 2).

$$REUV = \int_{300}^{400} I(\lambda) \cdot \varepsilon(\lambda) \cdot d\lambda \quad (2)$$

Foi acrescentado à Eq. 2, o espectro de ação ( $\varepsilon\lambda$ ) definido por McKinlay e Diffey (1987) apresentado na fig. 1. Embora, o espectro de ação esteja definido a partir de 280 nm, neste comprimento de onda, a intensidade da radiação espectral apresentada pelo modelo de Bird e Riordan (1984) inicia no comprimento de onda 300 nm.

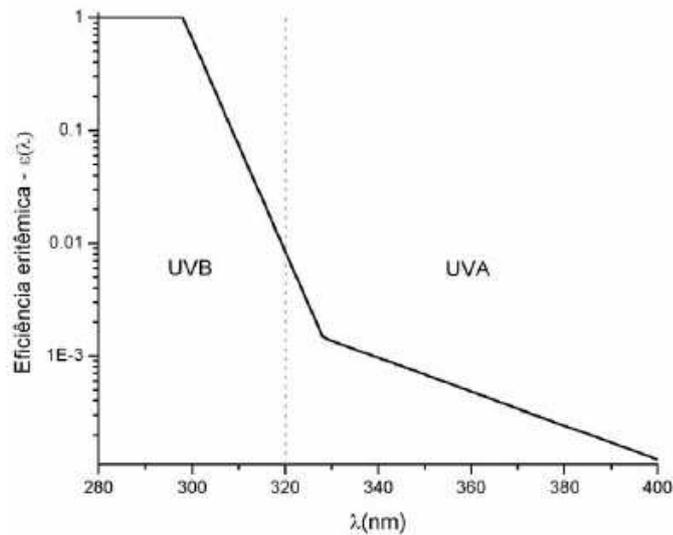


Figura 2: Espectro de ação descrito por McKinlay e Diffey (1987).

A partir da simulação dos níveis de radiação tanto da RUV quanto REUV, gerou-se o gráfico apresentado na Fig. 3, que permite relacionar os dois tipos de radiação. A Eq. 3 foi obtida por meio de correlação dos valores da simulação.

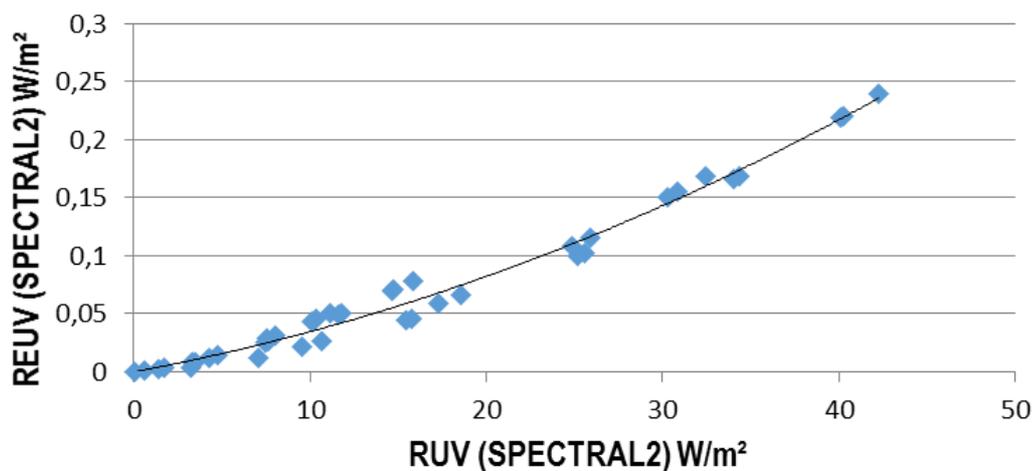


Figura 4: Relação entre REUV e RUV obtida pela simulação.

$$REUV = 7 \times 10^{-5} \cdot RUV^2 + 0,002 \cdot RUV + 6 \times 10^{-6} \quad (3)$$

A Eq. 3 apresentou um  $R^2 = 0,9$  e foi utilizada no decorrer deste trabalho a fim de transporem-se para REUV, os dados da RUV coletados pelo TUVR para que, em seguida, se pudesse calcular o IUV.

### Análise dos dados de RUV e obtenção do IUV

Nesta fase do trabalho, foi realizada a organização e análise dos dados coletados minuto a minuto, produzidos pelo piranômetro TUVR. Inicialmente, foram calculadas as médias aritméticas e os desvios padrão da RUV para cada hora no intervalo entre 8h e 16h. Esse processo foi feito para todos os dias durante o período de agosto de 2013 a julho de 2014.

Dessa forma, foi obtido, a partir do uso da Eq. 3, a média horária e desvio padrão da REUV. Assim, com os níveis médios horários da REUV, foi possível calcular o Índice Ultravioleta (IUV) na cidade de Pesqueira durante o período citado, utilizando a Eq. 4.

$$IUV = 40 \cdot REUV \quad (4)$$

## RESULTADOS

Como resultado do processo metodológico descrito, foram feitas as seguintes análises das médias dos IUV obtidos: a relação entre a média horária e os meses do ano, os valores máximos do IUV observados para cada mês durante o período trabalhado e a distribuição de frequência do IUV para cada horário.

### Relação entre a média horária do IUV e os meses

Na Fig. 5, pode ser observado o comportamento do IUV em cada mês do ano, no período de agosto de 2013 a julho de 2014, e suas classificações conforme classificação elaborada pela OMS (Leal, 2011).

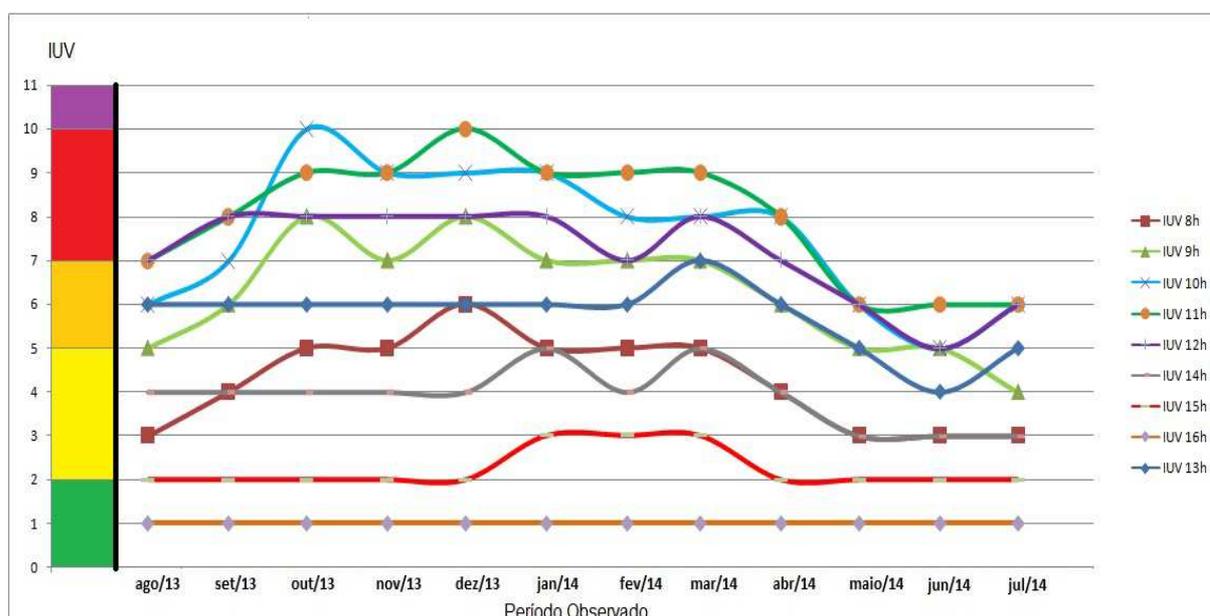


Figura 5: Relação entre as médias horárias do IUV e o período observado.

Pode-se observar na fig. 5 que, os valores médios do IUV no intervalo entre 9h e 13h59 representados pelas linhas, verde claro (9h), azul claro (10h), verde (11h), roxo (12h) e azul (13h), se mantiveram entre alto e muito alto (IVU entre 5 e 10). Assim, verifica-se que é necessário cuidado maior com a proteção neste intervalo do dia.

Também é perceptível um cuidado redobrado entre 10h e 12h59 horas, pois, os níveis de IUV mantiveram-se muito altos (entre 8 e 10), chegando a atingir o valor máximo dessa faixa (IUV = 10) no intervalo entre 10h e 10h59 (linha azul claro), no mês de outubro de 2013, e entre 11h e 11h59 (linha verde), no mês de dezembro de 2013.

Observa-se também que, dentre todos os horários analisados, o único que, segundo a tabela da OMS, se encontra classificado como um índice baixo durante todo o período observado é o intervalo entre 16h e 16h59 representada pela linha laranja. Nos demais horários, faz-se necessária a utilização de proteção.

### Valores máximos de IUV

A Tab. 1 apresenta os valores horários máximos verificados para os meses do período analisado.

Meses	Horário								
	8 h	9 h	10 h	11 h	12 h	13h	14 h	15 h	16 h
Agosto/13	5	8	10	11	9	8	5	2	1
Setembro/13	6	9	11	11	9	8	5	2	1
Outubro/13	7	10	12	11	10	8	5	2	1
Novembro/13	7	10	12	11	11	8	5	3	1
Dezembro/13	6	9	12	11	10	8	5	3	1
Janeiro/14	6	9	11	11	11	8	6	3	1
Fevereiro/14	6	9	12	13	13	8	6	4	1
Março/14	6	9	12	13	11	10	6	3	1
Abril/14	6	8	10	11	10	8	5	3	1
Maió/14	5	7	9	9	9	6	4	2	1
Junho/14	4	7	8	9	8	6	3	2	1
Julho/14	4	7	8	9	8	6	4	2	1

Tabela 1: Valores máximos observados da média horária do IUV

Pelos valores apresentados na Tab. 1, nota-se que os horários das 10h, 11h e 12h são os que apresentaram, em alguns dias do ano, índices considerados extremos, principalmente no horário das 11h, em que foram observados dias com essas características em nove dos doze meses analisados. Nesse horário, também se percebe que, em todos os meses do ano, houve dias em que os valores máximos observados chegaram a valores considerados extremos; o que requer cuidado maior com a exposição ao Sol nesses horários.

Outra questão relevante é que os meses de maio, junho e julho foram os que apresentaram os menores valores máximos entre todos os horários observados. Isso pode ser explicado devido às condições do clima na cidade de Pesqueira-PE e pela questão da geometria Terra-Sol, pois neste período os raios solares incidem com uma maior inclinação, fazendo com que haja uma diminuição na irradiância solar global e consecutivamente uma diminuição da RUV.

### Distribuição de Frequência do IUV

Utilizando o software Origin, foi determinada a distribuição de frequência dos valores do IUV, segundo cada classificação pelo OMS. A Tab. 2 apresenta o percentual de ocorrências entre baixo, médio, alto, muito alto e extremo para cada horário analisado, durante o período analisado.

classificação	baixo	moderado	alto	muito alto	extremo
horário	$0 \leq \text{IUV} \leq 2$	$3 \leq \text{IUV} \leq 5$	$6 \leq \text{IUV} \leq 7$	$8 \leq \text{IUV} \leq 10$	$\text{IUV} \geq 11$
7	92,4%	7,6%	0,0%	0,0%	0,0%
8	42,6%	51,1%	6,3%	0,0%	0,0%
9	19,2%	39,5%	25,1%	16,2%	0,0%
10	9,5%	32,5%	21,2%	31,5%	5,3%
11	8,2%	27,6%	22,1%	34,8%	7,4%
12	9,8%	34,3%	25,3%	27,8%	2,8%
13	16,5%	48,9%	29,1%	5,5%	0,0%
14	39,6%	57,4%	3,0%	0,0%	0,0%
15	96,1%	3,9%	0,0%	0,0%	0,0%

Tabela 2: Distribuição de frequência segundo a classificação do OMS.

Observando a Tab. 2, pode-se notar que, no horário das 12h, em 56% dos dias analisados, o IUV se manteve acima de 5, sendo 25,3% das ocorrências classificadas como índice alto; 27,8%, muito alto; e 2,8%, extremo. No horário das 11h, o percentual verificado foi de 64,3% (22,1% alto, 34,8% muito alto e 7,4% extremo), porém esse horário apresentou o maior percentual de ocorrências de nível classificado como extremo (7,4%) e o maior percentual de ocorrências de nível classificado como muito alto (34,8%). No horário das 10h, há uma ligeira queda nesse percentual para 57,9% (22,1% alto, 34,8% muito alto e 5,3% extremo). Nos horários antes das 7 e após as 15 horas, apenas foram verificados índices classificados como baixo.

As ocorrências de IVU classificadas como “extremo” só foram verificadas no horário entre as 10h e 12h.

Uma segunda análise foi realizada com as ocorrências dos valores do IUV. A fig. 6 apresenta a distribuição de frequência dos horários em que foram verificados os índices UV, classificados como baixo, moderado (fig. 6b) e alto, muito alto e extremo (fig. 6a).

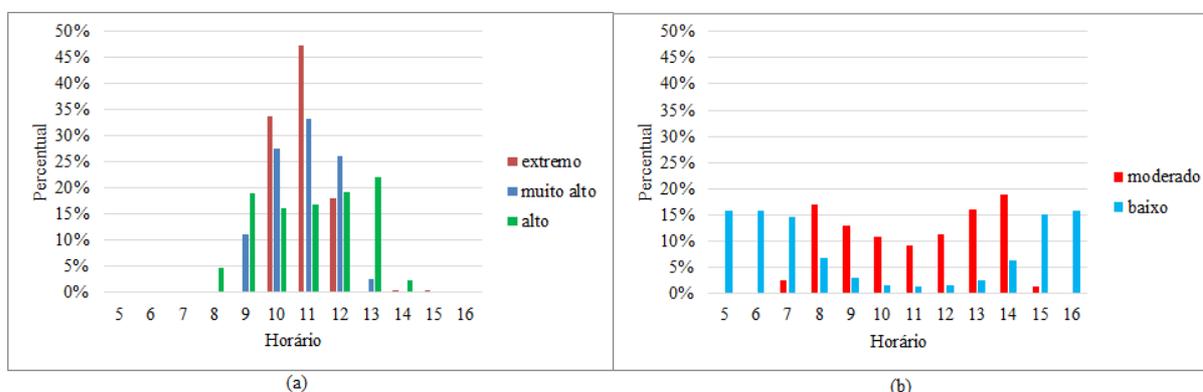


Figura 6: Distribuição de frequência dos horários das ocorrências do IUV.

Na fig. 6a, pode-se observar que, as ocorrências do IVU extremo estão concentradas entre as 10 e 12h. No horário das 11h, observa-se que foi registrada a maior frequência (47%), ou seja, 47% das ocorrências de IUV extremo foram no horário das 11h. O IUV muito alto também apresenta o mesmo comportamento. Já para o IUV alto, verifica-se uma uniformidade de ocorrências entre as 9h e as 13h (aproximadamente 18%). No horário das 8h e das 14h, verificou-se uma baixa frequência (5% e 2% respectivamente).

Na fig. 6b, verifica-se que, as maiores ocorrências do IUV moderado se situam nos horários das 8h, 9h, 13, e 14h. No horário das 11h, a frequência de ocorrência é reduzida para 9%. Já para o IUV baixo, observa-se que as ocorrências maiores e mais uniformes estão nos horários das 5h às 7h e nas 15h e 16h com uma média de 15%. Nos horários entre as 9h e 13h, nota-se que existe uma baixa frequência de IUV baixo, da ordem de 2%.

Utilizando-se um conjunto de dados maior, contendo de 3 anos de medições da RUV e da radiação global, e utilizando as equações 5 e 6, foram obtidas duas relações entre Kt e KtUV para valores diários e horários, apresentadas na figura 7.

$$I_{o_{UV}} = \int_{320}^{400} I_o(\lambda) d\lambda \quad (5)$$

$$kt_{UV} = \frac{I_{h_{UV}}}{I_o, eff_{UV} \cdot \cos(\theta_z)} \quad (6)$$

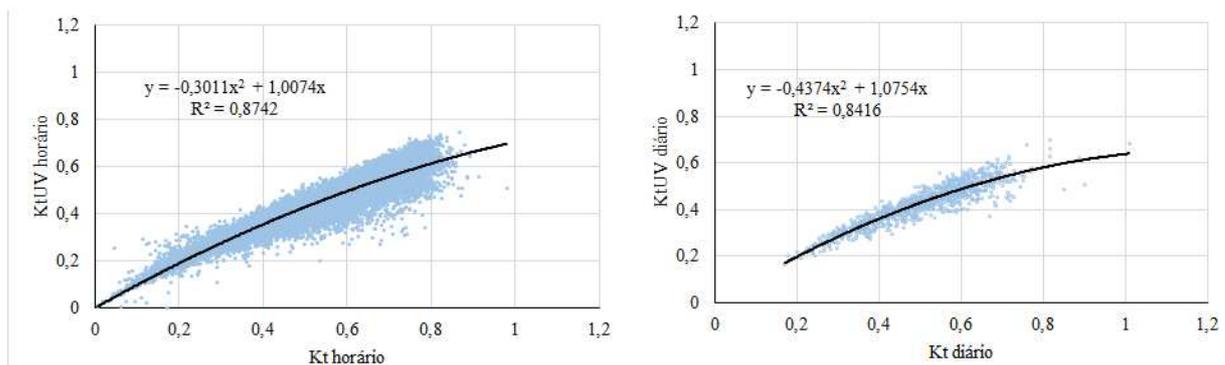


Figura 7: Relações entre Kt e KtUV na escala horária e diária.

Observa-se, na figura 7, que ambas as escalas, horária e diária produzem expressões com coeficientes próximos. Os ajustes encontrados apresentam valores do coeficiente de regressão ( $R^2$ ) com boa representatividade.

## COMENTÁRIOS FINAIS

A partir da medição da RUV, foi determinada uma relação entre as radiações REUV e RUV por meio de simulação, o que permitiu estimar o IUV a partir de medições da RUV. Esta relação possibilitou a realização de um estudo sobre as ocorrências do IUV na cidade de Pesqueira-PE.

De acordo com os resultados obtidos, observa-se que, para a localidade em estudo, a faixa de horários entre as 9h e as 13h é a que concentra as maiores probabilidades de ocorrência de IUV acima de 5, o que já é considerado pela OMS como indicativo da necessidade de um cuidado extra, em relação à proteção da pele.

Foi observado que para os meses de maio, junho e julho, não foram verificadas ocorrências de IUV extremo, embora este não seja um indicativo que possibilite um relaxamento na proteção da população exposta.

Foram obtidas correlações entre os índices de claridade para a radiação global (Kt) e ultravioleta (KtUV), com coeficientes de correlação da ordem de 0,84. Estas expressões permitem que se estime valores da RUV a partir da radiação global e se conheça como estão correlacionadas.

Vale ressaltar a importância da continuação de estudos nessa área de pesquisa na região, podendo citar como exemplos um aprofundamento e melhoramento da Eq. 3 obtida utilizando-se ao invés de dados simulados, valores medidos por meio de um biômetro. E a expansão deste trabalho para um período maior de tempo, para que, futuramente, tenha-se uma base maior de dados e assim se possa contribuir

de forma mais efetiva para a prevenção das doenças e males ocasionados pela exposição, sem proteção adequada à RUV.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem ao IFPE pelo apoio dado durante a realização deste trabalho.

## REFERÊNCIAS

- Andrade, R. C. d. (2007). Estimativa da irradiância solar ultravioleta horária no semi-árido Pernambucano. Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco.
- Bird, R. e Riordan, C. (1984). Simple Spectral Model for Direct and Diffuse Irradiance on Horizontal and Tilted Planes at the Earth's Surface for Cloudless Atmospheres. *J. Climate Appl. Meteor.* 25: 87-97.
- INCA. (2014). <<http://www.inca.gov.br/>> Acessado em: 01 de agosto de 2014.
- Kirchhoff, V. W. J. H., Echer, E., Leme, N. P. e Silva, A. A. (2000). A Variação Sazonal da Radiação Ultravioleta Solar Biologicamente Ativa. *Brazilian Journal of Geophysics* 18(1): 63-74.
- Leal, S. d. S. (2011). Medição, análise e mapeamento da radiação solar UV no Estado de Pernambuco. Mestrado, Universidade Federal de Pernambuco.
- McKinlay, A. F. e Diffey, B. L. (1987). A reference action spectrum for ultraviolet-induced erythema in human skin. *Human exposure to ultraviolet radiation: Risks and regulations*. P. a. Bosnjakovic. Amsterdã, Elsevier.
- Sgarbi, F. C., Carmo, E. D. d. e Rosa, L. E. B. (2007). Radiação Ultravioleta e Carcinogênese. *Rev. Ciênc. Médica* 16: 245-250.
- Silva, F. R. d. (2008). Estudo da radiação ultravioleta na cidade de Natal – RN. Mestrado, Universidade Federal do Rio Grande do Norte.

## ABSTRACT

The realization of studies about ultraviolet radiation and its constant monitoring are indispensable to avoid against evils from the population exposition, and the constant diffusion of values that the ultraviolet index can achieve in a place. Using ultraviolet radiation measured values in Pesqueira-PE city, this work intends to analyze statistically the ultraviolet index occurrences and determine how the ultraviolet radiation is related to the global radiation. It was verified that, between 9h and 13h, there is a higher probability having ultraviolet index above 5. It was found that the best fit between  $K_t$  and  $K_tUV$  index is a 2<sup>nd</sup> degree polynomial equation, for both daily and hourly values, the correlation index found was 84%.

**Keywords:** solar energy, ultraviolet radiation, ultraviolet index.