



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ITAJUBÁ
INSTITUTO DE RECURSOS NATURAIS
PROGRAMA DE GRADUAÇÃO EM CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS**

**IMPACTOS DA EXPOSIÇÃO COTIDIANA À
RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA SOBRE A SAÚDE
HUMANA EM BAIXAS E ALTAS LATITUDES**

MONOGRAFIA DE GRADUAÇÃO

Ivana Riêra Pereira Bastos

Itajubá, MG, Brasil

2020

IMPACTOS DA EXPOSIÇÃO COTIDIANA À RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA SOBRE A SAÚDE HUMANA EM BAIXAS E ALTAS LATITUDES

por

Ivana Riêra Pereira Bastos

Monografia apresentada à comissão examinadora Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas da Universidade Federal Itajubá (UNIFEI, MG), como requisito parcial para obtenção do grau de **Bacharel em Ciências Atmosféricas.**

Orientador: Marcelo de Paula Corrêa

**Itajubá, MG, Brasil
2020**

**Universidade Federal de Itajubá
Instituto de Recursos Naturais
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas**

A Comissão Examinadora, abaixo assinada, aprova a Monografia

**IMPACTOS DA EXPOSIÇÃO COTIDIANA À RADIAÇÃO
ULTRAVIOLETA SOBRE A SAÚDE HUMANA EM BAIXAS E ALTAS
LATITUDES**

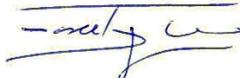
elaborada por

Ivana Riêra Pereira Bastos

Como requisito parcial para a obtenção do grau de

Bacharel em Ciências Atmosféricas

Comissão Examinadora:



Marcelo de Paula Corrêa, Dr. (UNIFEI)
(Presidente/Orientador)



Luiz Felipe Silva, Dr. (UNIFEI)



Ana Letícia Campos Yamamoto, MSc. (UNIFEI)

Itajubá, 11 de novembro de 2020.

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente a Deus, que por sua infinita bondade e misericórdia, me capacitou e sustentou em todos os momentos da minha caminhada.

Aos meus pais, toda minha gratidão pelo amor, apoio e suporte para que eu pudesse chegar até aqui.

Gi e Renan, obrigada por toda compreensão e carinho que vocês sempre me oferecem. Com vocês, em poucos minutos, a risada é garantida (ainda que depois a gente canse um do outro e algumas briguinhas aconteçam). Coisas de irmãos.

Gabriel, meu amor, que sempre me apoiou e me acalmou todas as vezes que eu achei que não ia dar conta. Entendeu minha rotina doida, se adaptou aos meus horários e fez de tudo para que a caminhada pudesse ser mais leve. Obrigada por dividir a vida comigo e me mostrar, com seus atos, o sentido de “nós”.

Aos meus avós, minha gratidão por estarem sempre dispostos a escutar minhas novidades e vibrar com cada pequena conquista durante toda minha vida.

Aos meus sogros e cunhado, obrigada por terem sido uma extensão da minha família durante todo este tempo. Sou muito feliz por ter vocês em minha vida.

A minha família: tias, tios, primos e primas que, desde o ensino fundamental, sempre me apoiaram e incentivaram.

Ao meu orientador, Prof. Dr. Marcelo de Paula Corrêa, o meu muito obrigada pela orientação, por acreditar em mim e me ensinar tantas coisas no meio acadêmico. E, também, aos professores de Ciências Atmosféricas: Ana, Arcilan, Barbosa, Enrique, Roger e, em especial, às mulheres que me acolheram desde o primeiro semestre: Fabrina, Michelle e Vanessa. Vocês são inspiradoras.

À minha turma, tão querida, e, em especial, à “minha pessoa” na UNIFEI: Obrigada, Flávia, por dividir as alegrias, dores e loucuras da graduação. Te digo isso a cada trabalho, mas, que fique registrado aqui: Não sei como seriam os últimos 4 anos se não tivesse você junto comigo.

Aos amigos-irmãos, David, Nyanne, João e Marina, que estiveram comigo desde a aprovação até agora, vibrando em cada momento. Espero ter vocês sempre na minha vida.

Dedico este trabalho aos meus pais,
Gi, Renan e Gabriel.

RESUMO

Monografia de Graduação
Programa de Graduação em Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Itajubá, MG, Brasil

IMPACTOS DA EXPOSIÇÃO COTIDIANA À RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA SOBRE A SAÚDE HUMANA EM BAIXAS E ALTAS LATITUDES

AUTOR(A): IVANA RIÊRA PEREIRA BASTOS
ORIENTADOR: MARCELO DE PAULA CORRÊA
Local e Data da Defesa: Itajubá, 11 de novembro de 2020.

Tendo em vista que a radiação ultravioleta (R-UV) oferece benefícios e malefícios à saúde humana, a depender do modo e tempo de exposição, este estudo tem como objetivo avaliar os impactos da exposição cotidiana à R-UV sobre a saúde humana em localidades com alta e baixa disponibilidade de radiação solar. A R-UV, ponderada pela resposta fotobiológica à formação do eritema, foi avaliada por meio do Índice Ultravioleta (IUV) e da Dose Eritematosa (D-UV_E). Os dados foram coletados por sensores instalados em diferentes partes do corpo humano em caminhadas comuns realizadas em Itajubá, Brasil (ITJ) e Villeneuve d'Ascq, França (VIL). Em paralelo às medidas de R-UV, também foram analisadas a concentração total de ozônio (CTO) e a cobertura de nuvens em cada localidade, parâmetros atmosféricos que influenciam a quantidade de R-UV em superfície. Como esperado, o IUV médio anual em ITJ é $10,3 \pm 3,8$ enquanto em VIL é $3,4 \pm 2,4$, pois há maior disponibilidade de R-UV próximo ao Equador. O estudo revela que a incidência de R-UV pode ser elevada mesmo em partes inclinadas, e menos expostas, do corpo humano. Por exemplo, áreas como a nuca e o peito receberam 30% ou menos da R-UV total, mas ainda suficiente para provocar danos à saúde. Por outro lado, algumas superfícies podem ficar geometricamente mais expostas à radiação solar direta e, portanto, receber mais radiação do que a observada em um sensor convencional posicionado horizontalmente. Ainda em relação às características regionais, uma hora de exposição no verão francês é suficiente para produzir eritema na maior parte do corpo de indivíduos fototipos I e II e, nas partes mais expostas de um indivíduo fototipo III. No inverno, este tempo de exposição pode não ser suficiente para que o indivíduo atinja a D-UV_E recomendada para síntese de vitamina D na maior parte do corpo. Em ITJ, no mesmo tempo de exposição, a D-UV_E recebida atinge e ultrapassa a dose recomendada para exposição diária (1,08 SED) durante todo o ano. Os valores observados no inverno de ITJ são semelhantes aos do verão em VIL. Esses resultados mostram a importância de fotoproteção em todas as partes do corpo, em qualquer situação de exposição mais prolongada, principalmente em horários próximos ao meio-dia solar.

Palavras-chave: Radiação. Ultravioleta. Dose. Eritema.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - Posição dos dosímetros UV no corpo humano durante a atividade experimental	08
FIGURA 2 - Variação da coluna total de ozônio em Villeneuve-d'Ascq (VIL) e Itajubá (ITJ), com base nos dados dos satélites SCIAMACHY, GOME e OMI entre os anos de 2002 a 2019: a) variação mensal média; b) boxplot	10
FIGURA 3 - Bloxpot do CMF mensal para Villeneuve-d'Ascq (VIL) e Itajubá (ITJ)	10
FIGURA 4 – Climatologia da cobertura de nuvens (%) em Itajubá	11
FIGURA 5 - Boxplot do IUV por mês para Villeneuve-d'Ascq (VIL) e Itajubá (ITJ).....	12
FIGURA 6 - Boxplot da D-UV _E , durante 1h de exposição em torno do meio-dia local, para Villeneuve-d'Ascq (VIL) e Itajubá (ITJ)	13
FIGURA 7 - Boxplot da D-UV _E em condições de céu claro e sob atuação de nuvens, em Villeneuve-d'Ascq (VIL) e Itajubá (ITJ)	14
FIGURA 8 - Boxplot da distribuição de incidência de R-UV no corpo humano	15

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - Classificação do Índice Ultravioleta de acordo com a intensidade	06
TABELA 2 - Dose Eritematosa Mínima (DEM) para os fototipos I-VI	07
TABELA 3 - D-UV _E [SED] ponderada durante uma hora de exposição em torno do meio dia solar em Villeneuve-d'Ascq (VIL) e Itajubá (ITJ)	17

LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS

ϵ_{λ} - Coeficiente de resposta da pele humana à R-UV

I_{λ} - Irradiância solar espectral

CC – Céu Claro

CIE – Comissão Internacional de Iluminação

CTO – Conteúdo Total de Ozônio

CM – Céu sob modificação de fator de cobertura

CMF – *Cloud Modification Factor*

Cwa - Clima Temperado Úmido

DEM – Dose Eritematosa Mínima

D-UVB – Dose Eritêmica de Radiação Ultravioleta

INCA - Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva

ITJ – Itajubá

IUV – Índice Ultravioleta

K - Constante numérica para converter o IUV a uma escala adimensional

kJ/m^2 - Kilojoule por metro quadrado

OMS – Organização Mundial de Saúde

R-UV – Radiação Ultravioleta

R-UVA – Radiação Ultravioleta banda “A”

R-UVB – Radiação Ultravioleta banda “B”

R-UVC – Radiação Ultravioleta banda “C”

TEMIS – *Tropospheric Emission Monitoring Internet Service*

UV – Ultravioleta

UVE – Irradiância eritêmica

VIL - Villeneuve-d’Ascq

WCRF - *World Cancer Research Fund*

Sumário

RESUMO.....	VII
LISTA DE FIGURAS.....	VIII
LISTA DE TABELAS.....	IX
LISTA DE ABREVIATURAS, SIGLAS E SÍMBOLOS.....	X
1. INTRODUÇÃO.....	1
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	2
2.1. RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA.....	2
2.2. EFEITOS DA R-UV NO SER HUMANO.....	3
2.2.1. EFEITOS BENÉFICOS DA R-UV.....	3
2.2.2. EFEITOS NOCIVOS DA R-UV.....	4
2.3. ÍNDICE ULTRAVIOLETA (IUV).....	4
2.4. DOSE ERITEMATOSA (D-UV_E) E DOSE ERITEMATOSA MÍNIMA (DEM).....	6
2.5. BASE DE DADOS - TEMIS.....	7
3. MATERIAL E MÉTODOS.....	7
3.1. ATIVIDADE EXPERIMENTAL.....	7
3.2. ANÁLISE DE DADOS.....	8
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	9
4.1. OZÔNIO.....	9
4.2. NUVENS.....	10
4.3. IUV.....	11
4.4. D-UV_E.....	12
4.5. R-UV EM DIFERENTES PARTES DO CORPO.....	15
5. CONCLUSÃO.....	17
6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	19

1. INTRODUÇÃO

A radiação ultravioleta (R-UV), fração que corresponde a menos de 10% do total de radiação emitida pelo Sol, é a principal fonte de energia e responsável por diversos processos físicos, químicos e biológicos tanto na superfície quanto na atmosfera terrestre (YAMASOE e CORRÊA, 2016 apud YAMAMOTO et al., 2018).

Ao atingir a pele humana desprotegida, a R-UV pode causar danos a partir das reações fotoquímicas, que dependerão do comprimento de onda e da quantidade de energia (BALOGH et al., 2011; VECCHI et al., 2019).

Em razão dos efeitos cumulativos da R-UV sobre a saúde humana, entende-se a necessidade de avaliar o impacto desta exposição, considerando a dose eritêmica de R-UV (D-UVE) acumulada em diferentes períodos de tempo. Porém, é importante ressaltar que se deve ponderar a dependência espectral dos efeitos nocivos da R-UV, através da resposta da pele humana, para induzir eritema em determinado tempo (CORRÊA e PIRES, 2013; CORRÊA, 2015). Sendo assim, os fluxos de R-UV são ponderados pelas respostas espectrais, denominadas funções fotobiológicas associadas a diferentes efeitos fotobiológicos causados pela R-UV, tais como o câncer de pele (MCKINLAY e DIFFEY, 1987) ou a síntese de vitamina D (CIE, 2006).

Tendo em vista os efeitos nocivos da R-UV à saúde humana, a Organização Mundial de Saúde (OMS) estabeleceu medidas de fotoproteção, tais como o uso de protetores solares, camisas de manga longa, chapéus e bonés, óculos de sol, além de evitar a exposição prolongada e em horários de maior intensidade solar. De maneira geral, as ações de fotoproteção são associadas aos momentos de lazer (praias e piscinas) ou às atividades esportivas (OMS, 2003). Porém, o deslocamento para o local de trabalho ou de estudo, através de caminhadas ou pedaladas, tem se tornado um tempo de prática de atividade física, tendo em vista a praticidade e otimização do tempo de locomoção (TUDOR-LOCKE e MYERS, 2001), além de contribuírem para a redução de doenças crônicas não-transmissíveis (HARDMAN et al., 2013). Ademais, as interações sociais dos pedestres no ambiente urbano são fundamentais para a compreensão do funcionamento da política urbana cotidiana, que envolve questões sociopolíticas e econômicas tais como mobilidade, sustentabilidade e o uso compartilhado do ambiente público sob diversas perspectivas e interesses (MIDDLETON, 2018). Sendo assim, as ações de fotoproteção não devem se restringir às atividades de lazer, mas sim tornarem um hábito cotidiano e necessário.

Com base nessa premissa, este estudo avaliou um conjunto de medidas de R-UV, em diferentes partes do corpo humano, realizadas em localidades geográficas e climaticamente distintas: Itajubá (ITJ), Brasil, e Villeneuve-d'Ascq (VIL), França. Essas medidas levam em consideração o fato de que os fluxos de R-UV dependem, por um lado, de parâmetros atmosféricos e geográficos locais; e, por outro lado, que a incidência da R-UV em diferentes partes do corpo humano não ocorre de maneira uniforme durante a exposição. Conforme afirmado, a maior parte das recomendações de fotoproteção estão associadas às ocasiões de lazer. Assim, esse estudo tem como objetivo avaliar os impactos da exposição cotidiana da R-UV sobre a saúde humana, analisar o comportamento temporal de parâmetros atmosféricos que influenciam na incidência de radiação solar (ozônio e cobertura de nuvens), bem como comparar índices de radiação e doses observadas em localidades com alta e baixa disponibilidade de radiação solar.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA

Baseada na recomendação da Comissão Internacional de Iluminação (CIE), a R-UV pode ser subdividida em três bandas: R-UVC (100-280 nm), R-UVB (280-315 nm) e R-UVA (315-400 nm) (ICNIRP, 2004), visto que possuem características fotobiológicas distintas (WIDEL et al., 2013).

Ao atingir a superfície, a R-UV provoca benefícios e malefícios à saúde humana (HOEL e GRUJII, 2018; LOBOSCO et al., 2020; SCHORRO et al., 2020), a depender da quantidade de horas e do modo em que ocorre a exposição ao Sol (HUAMAN et al., 2020).

Os diferentes comprimentos de onda da R-UV apresentam ações fotobiológicas diferentes (SCHALKA et al., 2019) e, também, são absorvidos pela atmosfera de maneira diferenciada.

A R-UVC é completamente absorvida pelo oxigênio e ozônio presentes nas camadas superiores da atmosfera, não atingindo a superfície terrestre (YAMASOE e CORRÊA, 2016). Dada a ação germicida e bactericida (ARAUJO e SOUZA, 2008), a R-UVC pode ser usada artificialmente para desinfecção de ar e superfícies, e vem sendo aplicada em alimentos, tais como alface e maçã, a fim de aumentar seu período de conservação (BALBINOT FILHO e BORGES, 2020).

A R-UVB é fortemente absorvida, principalmente, pelo ozônio estratosférico, de tal forma que a quantidade de radiação desta banda que chega à superfície é baixa, entretanto, ainda suficiente para provocar importantes efeitos biológicos e fotoquímicos. Já a R-UVA é pouco absorvida pelos gases atmosféricos, atingindo a superfície em maiores quantidades (YAMASOE e CORRÊA, 2016). Entretanto, os danos causados pela R-UVB nos seres humanos são mais significativos do que os da R-UVA (CORRÊA, 2015).

Além dos efeitos em organismos vivos, sabe-se também que a R-UV causa fotodegradação de fibras naturais, polímeros sintéticos e tintas (TERAMOTO et al., 2020), ampliando, assim, as áreas de interesse de pesquisa neste tema.

2.2. EFEITOS DA R-UV NO SER HUMANO

2.2.1. EFEITOS BENÉFICOS DA R-UV

A R-UVB é responsável pela síntese da vitamina D₃ na epiderme (HOLICK, 2005; RIVAS et al., 2017; MACEDO et al., 2020), e esta síntese pode variar de acordo com a composição da atmosfera, localização geográfica e, também, do organismo de cada ser humano (MAEDA et al., 2013; LUTDKE et al., 2020).

Em animais vertebrados e no ser humano, a principal função da vitamina D é aumentar a absorção de cálcio e fosfato para a mineralização do esqueleto. Para a maior parte da população, a exposição solar comedida (ou irradiação R-UVB) e o uso de suplementos fornecem quantidades adequadas desta vitamina (HOLICK, 2007).

Entretanto, a deficiência de vitamina D no organismo pode estar associada ao risco cardiovascular e rigidez arterial (RIVAS et al., 2017), à osteoporose (SARAIVA et al., 2005), além de aumentar o risco de neoplasias (de cólon, mama e próstata), doenças inflamatórias crônicas ou autoimunes e alterações metabólicas, principalmente em pessoas que foram submetidas a cirurgia bariátrica (LUTDKE et al., 2020).

Ademais, a R-UV também exerce, sobre os seres humanos, proteção para doenças como: diabetes do tipo I, doenças cardíacas e cânceres, como por exemplo, o de próstata e de mama (HOLICK, 2003).

2.2.2. EFEITOS NOCIVOS DA R-UV

Tanto a R-UVA quanto a R-UVB exercem efeitos fotobiológicos sobre a pele humana. Ainda que sofra maior atenuação na atmosfera, a R-UVB é carcinogênica e a maior responsável por causar eritema (vermelhidão na pele) e pigmentação profunda (CORRÊA e PIRES, 2013; SGARBI et al., 2007; MOEHRLE, 2003). A R-UVA, por sua vez, possui baixa absorção atmosférica, causa pigmentação da pele, está relacionada ao envelhecimento precoce da pele (SGARBI et al., 2007) e, em altas doses, também pode estar relacionada ao câncer de pele (SCHALKA et al., 2014).

O câncer de pele é a consequência mais grave da exposição excessiva à R-UV. De acordo com o Instituto Nacional de Câncer (INCA), o câncer de pele se apresenta em duas formas, o tipo melanoma e o não-melanoma. O primeiro, é o mais grave e tem origem nos melanócitos (células produtoras de melanina, substância que determina a cor da pele). O não-melanoma, por sua vez, é o tipo de câncer mais frequente, apresentando tumores de diferentes tipos, sendo os mais comuns, o carcinoma basocelular (o mais prevalente e também o menos agressivo) e o carcinoma epidermoide. Em geral, o câncer de pele, independentemente do tipo, está associado a incidência de radiação solar (IARC, 1992).

De acordo com o INCA, a estimativa de novos casos de câncer de pele não-melanoma em 2020 no Brasil é de 176.930, sendo 83.770 homens e 93.160 mulheres. Na Europa, de acordo com o *World Cancer Research Fund* (WCRF), este tipo de câncer não é rastreado, pois alguns países não possuem registros dessa natureza, algumas regiões possuem pouco ou nenhum registro, além de que algumas pessoas com este tipo de câncer não procuram um médico. Já o câncer de pele melanoma, em 2018, atingiu uma taxa padronizada por idade de 13.6% em 100.000 pessoas na França (WCRF), enquanto, no Brasil, estima-se que surjam cerca de 8.450 novos casos em 2020.

2.3. ÍNDICE ULTRAVIOLETA (IUV)

Tendo em vista os danos que a incidência de R-UV pode causar à saúde humana e o potencial cancerígeno que esta exposição implica, a Organização Mundial da Saúde (OMS), junto a outros órgãos relevantes na área, verificou a necessidade de tornar o acesso à informação da quantidade de R-UV mais fácil e didático para a

população, a fim de promover a conscientização sobre os efeitos danosos da R-UV (OMS, 2003).

Com isso, o Índice Ultravioleta (IUV) foi adotado como ferramenta de informação. O IUV é um valor numérico que designa a intensidade da R-UV incidente sobre a superfície terrestre e quanto maior este valor, inteiro e positivo, maior o dano potencial dos raios solares à pele e olhos (SCHALKA et al., 2014; OMS, 2003).

O IUV é matematicamente representado pela integração do produto entre os fluxos espectrais de R-UV e o espectro de ação fotobiológico relativo ao eritema, dada pela Equação 1:

$$IUV = K \int_{280 \text{ nm}}^{400 \text{ nm}} \epsilon_{\lambda} I_{\lambda} d\lambda \quad (1)$$

Onde $K = 40 \text{ m W}^{-1}$ converte a irradiância eritêmica em IUV, adimensional, pois cada unidade do IUV é igual a 25 mW m^{-2} de irradiância eritêmica. ϵ_{λ} , é o fator de resposta fotobiológico da R-UV para formação do eritema (CIE, 1987). E, por sua vez, I_{λ} é a irradiância solar espectral.

A OMS recomenda utilização de medidas de proteção solar quando o IUV se encontra acima de 3 e classifica este índice a partir de categorias de intensidade, que variam do baixo ao extremo (tabela 1). O IUV varia com a hora do dia, estação do ano, localização geográfica e parâmetros atmosféricos como conteúdo de ozônio, aerossóis e nuvens (CORRÊA, 2015). Em um estudo comparativo, realizado na França e considerando medidas em torno do meio-dia local, apenas 5% dos dados coletados em Paris possuem IUV maior que 6. Enquanto um estudo realizado em São Paulo, entre os anos de 2006 e 2009, quase 25% dos IUV foram maiores que 8. Além disso, 75% das medidas de IUV ao meio-dia local são maiores que 3 no Brasil, comportamento contrário ao observado em Paris (IUV<3 em 75% das observações) (CORRÊA, 2015).

Tabela 1. Classificação do Índice Ultravioleta de acordo com a intensidade.

Categoria	Índice Ultravioleta
Baixo	< 2
Moderado	3 a 5
Alto	6 a 7
Muito Alto	8 a 10
Extremo	> 11

Fonte: Adaptado de OMS, 2003.

2.4. DOSE ERITEMATOSA (D-UVE) e DOSE ERITEMATOSA MÍNIMA (DEM)

Como os efeitos da R-UV no sistema biológico dependem do comprimento de onda da radiação, a Dose Eritematosa (D-UVE) representa essa dependência em relação aos efeitos nocivos da R-UV através da resposta da pele humana para induzir eritema (MCKINLAY e DIFFEY, 1987). Com isso, a dose eritematosa [Jm^{-2}] é calculada integrando a irradiância eritêmica (UVE) em um intervalo de tempo de exposição ao sol (DIFFEY, 1991), conforme Equação 2:

$$D\text{-UVE} = \int_{\Delta t} UVE dt \quad (2)$$

Os valores de D-UVE acumulados são representados por uma escala adimensional, denominada dose eritema padrão (SED, do inglês *standard erythema dose*). A unidade SED é reservada para estudos observacionais em humanos e outros animais. A CIE propõe que a SED seja usada como medida padronizada de R-UV eritêmica e 1 SED é equivalente a uma exposição radiante eritêmica de 100 Jm^{-2} , (CIE, 1997). A D-UVE recomendada para exposição diária é 108 Jm^{-2} , isto é, 1,08 SED (ICNIRP, 2004). Este valor é suficiente para a realização da síntese de vitamina D de cada indivíduo sem ocasionar efeitos nocivos à pele (MOERHLE, 2003).

A dose eritematosa mínima (DEM) representa a quantidade de R-UV eritêmica necessária para que ocorra o eritema (avermelhamento da pele), a depender do indivíduo (tabela 2), após 24 h da exposição ao sol (FITZPATRICK, 1988). Esta dose está relacionada a cor da pele de modo que, quanto mais clara, menor será o valor da DEM, visto que peles mais claras são mais sensíveis a R-UV.

Tabela 2. Dose Eritematosa Mínima (DEM) para os fototipos I-VI.

Classificação do tipo de pele	Fototipo de pele	DEM [SED]
Baixa melanina	I	2,0 – 3,0
	II	2,5 – 3,5
Média melanina	III	3,0 – 5,0
	IV	4,5 – 6,0
Alta melanina	V	6,0 – 10,0
	VI	10,0 – 20,0

Fonte: Adaptado de Corrêa e Pires, 2013.

2.5. BASE DE DADOS - TEMIS

A base de dados TEMIS (<http://www.temis.nl>) pertence a Agência Espacial Europeia e inclui informações sobre os gases troposféricos, concentrações de aerossóis, produtos provenientes da incidência de R-UV, informações sobre nuvens e climatologias de albedo de superfície.

Os dados do IUV e da D-UVB estão disponíveis desde o ano de 2002 e são calculados a partir do campo de ozônio global que é assimilado ao meio-dia local. No caso da D-UVB, este valor é resultado da integração da radiação UV em função da variação diária da posição do sol acima do horizonte. O IUV para céu claro é considerado uma medida para a irradiância UV efetiva que atinge a superfície terrestre.

As doses de R-UV são fornecidas com base em três espectros de ação: eritema (D-UVB, usada neste estudo), vitamina D e dano ao DNA, ambos usando condições de céu claro e com uma correção para a presença de nuvens. A coluna total de ozônio (CTO), também disponível na base de dados do TEMIS, possui assimilação de valores com base nas medições dos sensores SCHIAMACHY, GOME ou OMI (GEFFEN et al., 2004; ZEMPILA et al., 2017).

Dentre as informações disponíveis no TEMIS há o fator de modificação da nuvem (CMF, do inglês *Cloud Modification Factor*). O CMF é determinado pela razão entre a R-UV medida sob céu nublado e aquela sob céu claro (sem nuvens). A alta variabilidade do CMF pode ser atribuída à variação na espessura óptica atmosférica, posição do Sol (CALBÓ et al., 2005) e, principalmente, aos diferentes tipos de nuvens presentes, visto que cada nuvem exerce um efeito radiativo na atmosfera e céus nublados reduzem efetivamente a R-UV que chega na superfície (FOYO MORENO et al., 2001).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. ATIVIDADE EXPERIMENTAL

Foram realizadas caminhadas, com duração de aproximadamente uma hora cada, em avenidas urbanizadas e com baixa declividade, usando 10 dosímetros para medidas de R-UV (<http://scienterra.com/>) instalados em diferentes partes do corpo (Figura 1). As medições foram realizadas durante o verão de modo, em dois locais climatologicamente diferentes localizados no

Hemisfério Norte (HN) e Sul (HS), respectivamente: Villeneuve-d'Ascq (VIL), norte da França (50,6 ° N, 3,1 ° E, 40m) e Itajubá (ITJ), sudeste do Brasil (22,4 ° S, 45,4 ° W, 850m), de modo que a escolha dos locais baseou-se na posição latitudinal de cada uma das cidades, uma vez que era de interesse estudar a incidência de radiação solar em altas e baixas latitudes. A D-UV_e em cada parte do corpo foi calculada e comparada de acordo com as DEM, locais de estudo e disponibilidade de dados do TEMIS.

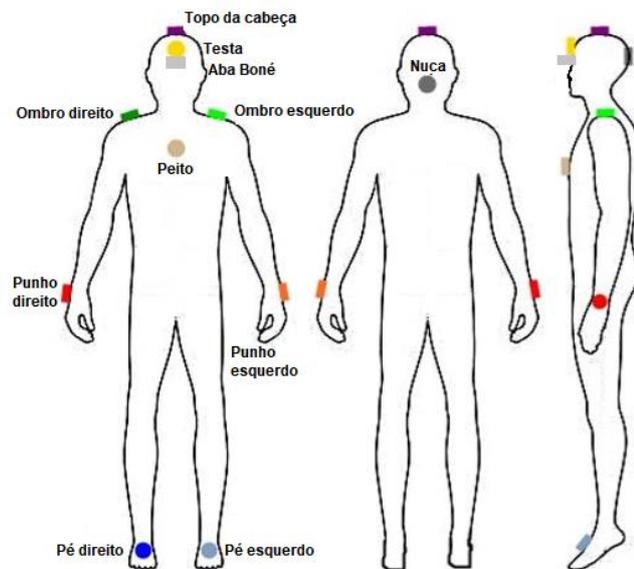


Figura 1: Posição dos dosímetros UV no corpo humano durante a atividade experimental.

3.2. ANÁLISE DE DADOS

O comportamento ao longo dos anos, bem como a sazonalidade característica da CTO e do fator de modificação da nuvem (CMF), ambos provenientes do TEMIS, foram analisados a fim de estabelecer as características destes parâmetros nas duas localidades, bem como verificar a relação com a quantidade de R-UV que chega à superfície.

O dosímetro é constituído de uma fotocélula que absorve os fótons UV e converte essa energia em pulsos elétricos (*counts*). Esses *counts* são convertidos em UVE por meio de coeficientes de calibração definidos pela R-UV medida pelo radiômetro instalado na Universidade Federal de Itajubá. A UVE é utilizada para cálculo tanto do IUUV quanto da D-UV_e durante a caminhada.

Os dados temporais do IUV em condições de céu claro e as doses de R-UV com base no espectro de ação do eritema (D-UV_E) foram avaliadas para simular o impacto da R-UV mediante exposições cotidianas, além de analisar o comportamento da R-UV ao longo do período em que disponibilidade de dados. Esta análise foi realizada através da comparação dos valores médios e desvio padrão com os valores de referência estabelecidos internacionalmente pelos órgãos competentes.

Uma vez que os radiômetros, instrumentos convencionais utilizados na medição de radiação solar, são colocados na horizontal para medir a incidência normal da R-UV, consideramos que o dosímetro instalado sobre o topo da cabeça mede a quantidade de referência. Sendo assim, a distribuição relativa da R-UV sobre o corpo humano está relacionada aos valores observados no sensor de referência.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. OZÔNIO

A figura 2a mostra a série temporal mensal da CTO ao meio-dia solar. Nos meses de primavera (setembro, outubro e novembro no HS e março, abril e maio no HN), a CTO é maior do que no outono (VÁZQUEZ e HANSLMEIER, 2006 apud YAMAMOTO et al., 2018), em ambas localidades. Porém, em latitudes médias e altas, como VIL a CTO sofre maior variação sazonal devido as condições estratosféricas (CORRÊA et al., 2019). Isso ocorre pois os processos de formação, destruição e transporte desse gás na estratosfera são influenciados pela presença de radiação solar, baixas temperaturas e presença de mecanismos de circulação (CORRÊA, 2015). A CTO média foi maior em VIL ($331,4 \pm 43,5$ DU) do que em ITJ ($267,5 \pm 14,1$ DU) (figura 2b).

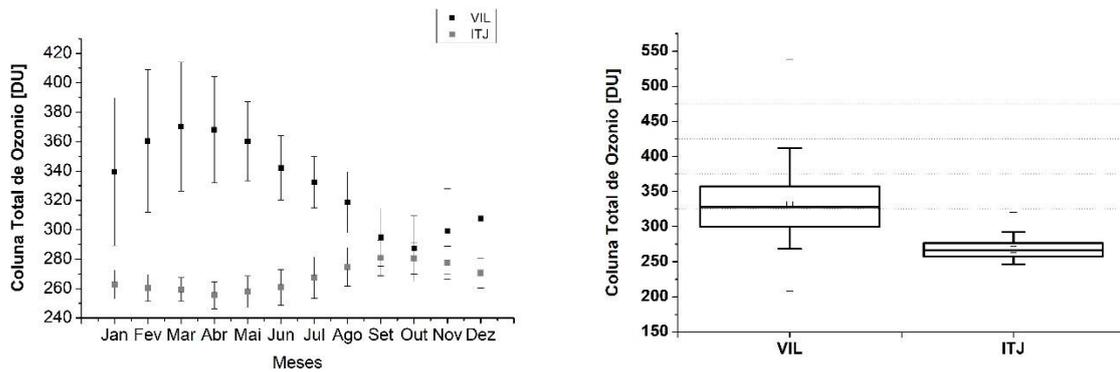


Figura 2: Variação da coluna total de ozônio em Villeneuve-d’Ascq (VIL) e Itajubá (ITJ), com base nos dados dos sensores SCIAMACHY, GOME e OMI entre os anos de 2002 a 2019: a) variação mensal média; b) boxplot.

4.2. NUVENS

A figura 3 mostra os valores de CMF em ambas as localidades. Os resultados indicam que a maior cobertura de nuvens em VIL ocorre nos meses de inverno do HN ($0,65 \pm 0,01$) e a menor no verão (junho, julho e agosto), com valor médio de $0,78 \pm 0,01$. Estes valores estão em acordo com o observado na climatologia (<https://pt.weatherspark.com/>). Em ITJ, a maior cobertura ocorre no verão ($0,74 \pm 0,03$) e a menor ocorre no inverno ($0,81 \pm 0,01$). Entretanto, a relação entre a cobertura de nuvens e a redução da incidência de R-UV não é linear e depende do tipo da nuvem, bem como da altura em que a mesma se encontra (KUCHINKE e NUNES, 1999).

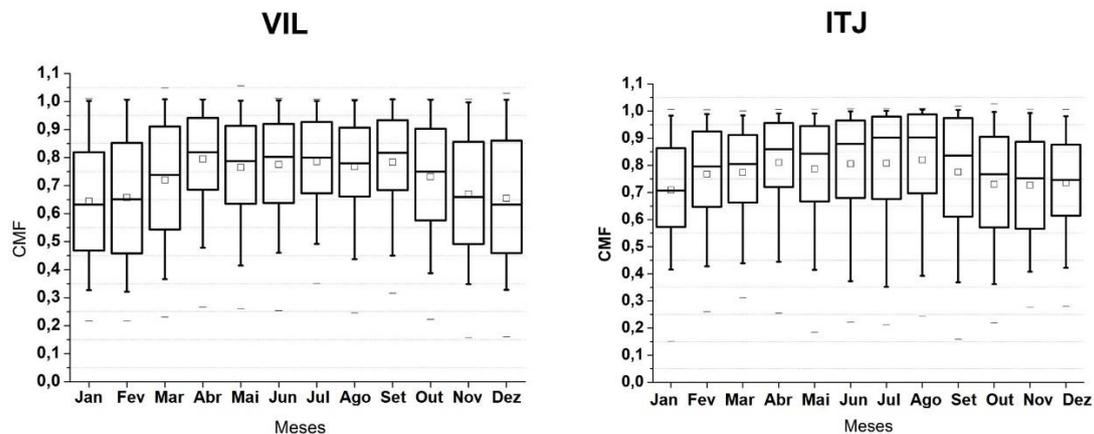


Figura 3: Bloxpot do CMF mensal para Villeneuve-d’Ascq (VIL) e Itajubá (ITJ).

De acordo com a classificação climática de Köppen, ITJ é classificada como clima Cwa, temperado úmido com inverno seco e verão quente (REBOITA et al.,

2015). A figura 4 mostra a climatologia mensal de nuvens estimada por Assireu et al. (2012) a partir de dados da Estação Automática da Universidade Federal de Itajubá (REBOITA et al., 2016; REBOITA et al., 2020).

A cobertura de nuvens segue a variação mensal da precipitação em que durante a estação quente e úmida (dezembro, janeiro e fevereiro) há maior cobertura ($52 \pm 7\%$), ultrapassando a margem de 50% de céu encoberto. Já na estação seca e fria (junho, julho e agosto), a média de cobertura por nuvens é $30 \pm 7\%$, isto é, apenas 30% do céu permanece encoberto.

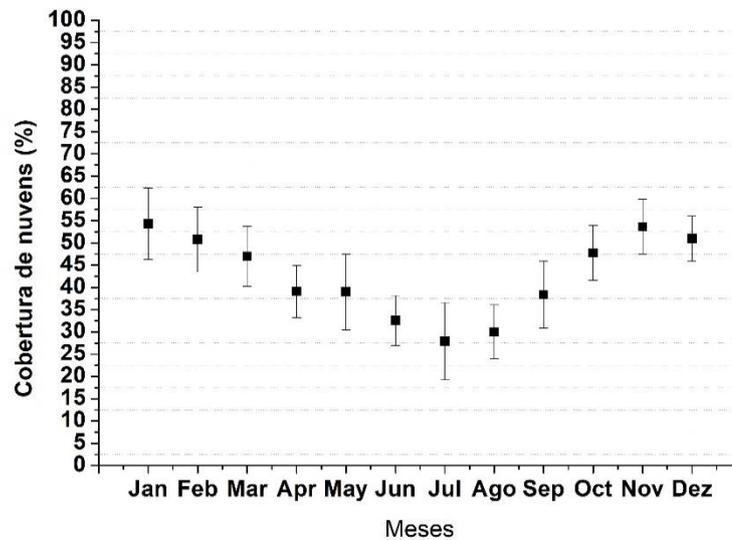


Figura 4: Climatologia de cobertura de nuvens (%) em Itajubá.

4.3. IUV

. A figura 5 mostra a variação do IUV ao longo dos meses. A curva observada representa a clássica sazonalidade de cada hemisfério. Os IUV registrados em ITJ foram classificados, em relação ao dano à saúde, como moderado e alto ($5,7 \pm 1,1$) nos meses de inverno e muito alto e extremo nos meses de verão ($14,4 \pm 0,4$), semelhantes aos encontrados por Corrêa e Ceballos (2010). Em VIL, os valores no verão foram classificados como moderado e alto ($6,4 \pm 0,7$) e, no inverno francês, o valor médio da IUV foi inferior a 1 ($0,8 \pm 0,4$), de modo a não oferecer dano a nenhum tipo de pele.

Os valores registrados para o verão em VIL são semelhantes aos registrados no inverno em ITJ (a máxima diferença entre os IUV registrados em todo o período observado nas duas localidades foi 4,5), evidenciando a maior incidência solar no

Brasil, que pode ser atribuída aos parâmetros geográficos, uma vez que a latitude é fator determinante na quantidade de radiação solar em superfície (CORRÊA, 2015).

Como a disponibilidade de radiação é maior próxima ao Equador, decrescendo em direção aos polos, não só ITJ, mas também Belo Horizonte (SILVA, 2008), Fortaleza e Manaus (KIGUTI et al., 2009), Natal (COARITI, 2017) possuem valores muito alto ou extremos de IUV no verão e registra valores altos no inverno (CORRÊA e PIRES, 2013), enquanto em VIL (mais próximo do polo), este valor é considerado moderado e baixo na maior parte do ano. Apesar desta classificação ser menos danosa do que o observado em latitudes mais baixas, Mahé et al. (2013) destaca a importância da incorporação de campanhas de proteção solar integradas no planejamento urbano tendo em vista os turistas e o fototipo predominante da população francesa (MAHÉ et al., 2011).

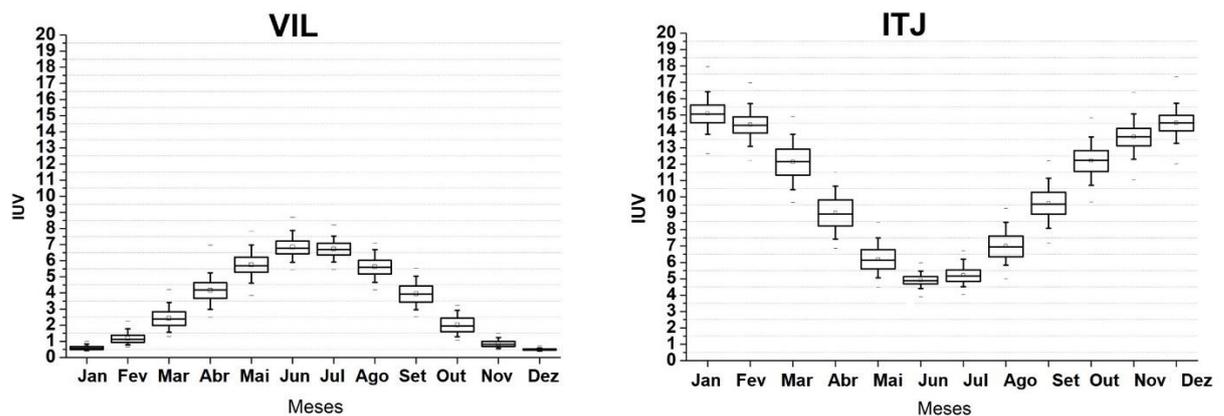


Figura 5: Boxplot do IUV por mês para Villeneuve-d'Ascq (VIL) e Itajubá (ITJ).

4.4. D-UVE

Na figura 6, o valor médio anual da D-UVE em VIL é $3,03 \pm 2,14$ SED, e este valor apresenta danos aos tipos de pele I e II. Em ITJ, o valor médio anual é $9,32 \pm 3,36$ SED, suficiente para apresentar danos aos tipos I, II, III, IV e V (CORRÊA e PIRES, 2013; FITZPATRICK, 1988).

Em VIL, o valor médio da D-UVE no verão é $5,74 \pm 0,71$ SED, o qual apresenta dano aos tipos I, II, III e IV. No inverno, por sua vez, este valor é $0,76 \pm 0,32$ SED e este valor não é suficiente para danificar nenhum tipo de pele. Já em ITJ, o valor médio da D-UVE no verão é $13,21 \pm 0,67$ SED, valor suficiente para danificar todos os tipos de pele. No inverno, por sua vez, a D-UVE é, em média, $5,16 \pm 0,99$ SED, o que

significa que, ainda na estação de menor incidência radiativa, pode haver radiação suficiente para prejudicar os tipos de pele I, II, III e IV (CORRÊA e PIRES, 2013; FITZPATRICK, 1988).

Esta discrepância entre os dados de VIL e ITJ corrobora com o estudado por Corrêa (2015), alertando que as recomendações de proteção solar baseadas em estudos nos Estados Unidos e em países europeus não se adequam a realidade brasileira.

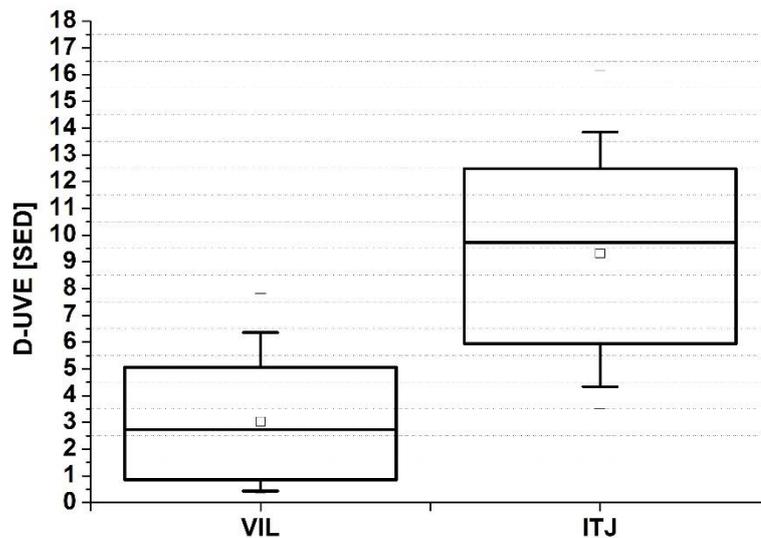


Figura 6: Boxplot da D-UVe, durante 1h de exposição em torno do meio-dia local, para Villeneuve-d'Ascq (VIL) e Itajubá (ITJ).

A variação da D-UVe sob condições de céu claro (CC) e sob fator de modificação pela cobertura de nuvens (CM) é apresentada na figura 7. Como esperado, a D-UVe é maior em condições de céu claro, tanto em VIL quanto em ITJ, pois as nuvens dominam o processo de espalhamento das ondas curtas de radiação, denominado espalhamento Mie, atenuando os fluxos UV (SOUZA ECHER et al., 2006).

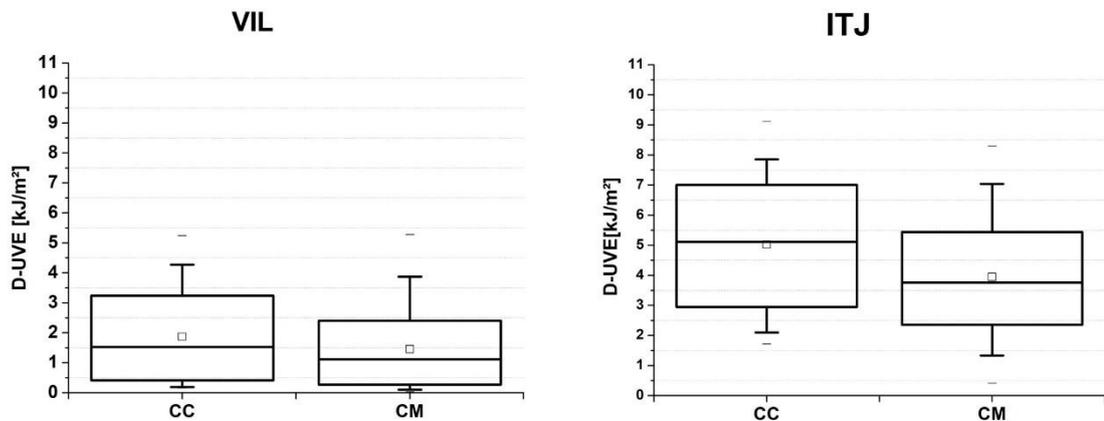


Figura 7: Boxplot da D-UVI em condições de céu claro e sob atuação de nuvens, em Villeneuve-d'Ascq e Itajubá.

Em VIL, em condições de céu claro, o valor médio da D-UVI no verão é $3,77 \pm 0,57$ kJ/m² e, no inverno, $0,32 \pm 0,17$ kJ/m². Já em ITJ, estes valores são $7,48 \pm 0,46$ kJ/m² e $2,55 \pm 0,53$ kJ/m², para o verão e inverno, respectivamente. Sob céu nublado, o valor médio da D-UVI em VIL é $2,96 \pm 0,87$ kJ/m² (verão) e $0,21 \pm 0,14$ kJ/m² (inverno) enquanto, em ITJ, estes valores são $5,75 \pm 1,35$ kJ/m² e $2,13 \pm 0,74$ kJ/m², para o verão e inverno, respectivamente. Apesar de incerta, a atenuação por conta da nebulosidade é esperada (CORRÊA et al., 2013), entretanto, o acumulado diário geralmente excede os níveis de radiação recomendados (CORRÊA e PIRES, 2013).

A maior variabilidade na D-UVI sob nebulosidade é explicada pelos parâmetros que interferem na cobertura de nuvens (CALBÓ et al., 2005) bem como os processos físicos que ocorrem na atmosfera e interferem a incidência radiativa.

Na cidade francesa, a climatologia explica a exceção, uma vez que o inverno apresenta baixas temperaturas e profunda cobertura de nuvens, de modo que os valores de IUV são baixos e próximos entre si, independente da condição de nebulosidade estudada. Também, Mahé et al. (2011) destacam que quando a cobertura do céu se encontra abaixo de 4 octas, a nebulosidade exerce baixa influência na incidência solar. No entanto, quando a cobertura atinge valores de 5-6 octas, a atenuação de R-UV é significativa. Em Itajubá, como a cobertura de nuvens é maior no verão, os valores de D-UVI sob condições nebulosas atingem cerca de 77% da dose esperada para condições de céu claro. No inverno, com menor nebulosidade, este valor é cerca de 84%.

4.5. R-UV EM DIFERENTES PARTES DO CORPO

A quantidade de R-UV também varia conforme a inclinação da superfície onde há incidência. No entanto, os instrumentos fixos para medir R-UV são sempre posicionados na horizontal (nível de referência). Considerando a incidência de referência como aquela que ocorre no topo da cabeça (vide figura 1), as proporções médias de incidência de R-UV coletadas nas caminhadas são apresentadas na figura 8. O tracejado vermelho indica a incidência de R-UV no sensor de referência.

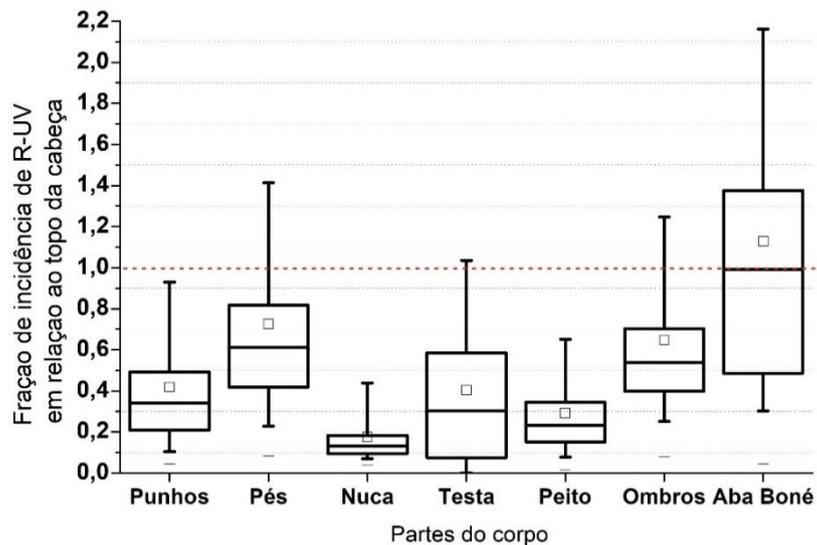


Figura 8: Boxplot da distribuição de incidência de R-UV no corpo humano.

Nos pés e ombros, observa-se que os valores médios atingem cerca de 60% da R-UV que incide no topo da cabeça. Extremidades que são protegidas por alguma outra superfície do próprio corpo (isto é, encontram-se em região sombreadas tal como a nuca e peito) recebem em média, apenas 30% da R-UV considerada como referência. Entretanto, ao considerar o valor extremo do percentil 95 (bigode superior), a maior parte das superfícies analisadas (pés, testa, ombros e aba do boné) recebem a quantidade de R-UV igual ou superior ao valor de referência, sinalizando a variabilidade na quantidade de radiação que incide durante a exposição cotidiana.

Em relação a aba do boné, superfície que possui inclinação em direção ao sol durante a caminhada, a incidência média atinge valor igual e, por vezes, até maior que no topo da cabeça e a mediana se iguala ao valor de referência, de modo que metade das medidas estão acima do valor incidido no topo da cabeça. Este parâmetro pode representar a incidência da R-UV em algumas extremidades do rosto humano, tais como, nariz, orelha e boca, sujeitos a receberem altos valores de R-UV. Em um estudo com crianças nos Estados Unidos, Dodd et al. (2007) verificou que a face e o pescoço

são as partes do corpo mais prejudicadas (em relação a queimaduras solares) a partir da mesma exposição solar.

A partir da distribuição de incidência de R-UV no corpo humano, analisou-se os valores de D-UV em cada parte do corpo durante a exposição (em torno do meio-dia solar) ao ar livre. A tabela 3 representa os valores médios por estação do ano da D-UV registrada em cada parte do corpo, durante exposição (em torno do meio dia solar) por uma hora em VIL e ITJ, em que, as doses foram destacadas a partir das cores definidas na tabela 2, conforme a DEM fosse ultrapassada em determinada parte do corpo, provocando danos a(os) determinado(s) fototipo(s). Valores abaixo de 2 não apresentam dano a nenhum fototipo.

Em VIL, no verão, o valor definido internacionalmente é atingido no corpo inteiro. Este valor é suficiente para produzir eritema na maior parte do corpo nos fototipos I e II e nos pés, ombros e rosto de um indivíduo fototipo III, fototipos que caracterizam maior parte da população francesa (MAHÉ et al., 2011).

Já no inverno, em uma hora de exposição, não há R-UV suficiente para que um indivíduo realize a síntese de vitamina D. Em cidades localizadas em latitudes médias a altas, a exposição da pele é dificultada pela baixa temperatura durante a estação invernal, fazendo com que seja importante uma dieta adequada para o suprimento da síntese desta vitamina (ENGELSEN, 2010). Nas estações de transição, outono e primavera, há R-UV disponível para a síntese de vitamina D em uma hora de exposição na maioria das partes do corpo humano. Porém, apenas as incidências na primavera apresentam risco aos fototipos I e II (em algumas partes do corpo).

Diferentemente do que ocorre na cidade francesa, em ITJ, a dose de referência para síntese de vitamina D é atingida e ultrapassada, em todas as partes do corpo, independente da estação do ano. A única exceção ocorre no valor que incide na nuca no inverno, entretanto, este valor é bem próximo do valor referencial. Além disso, no verão brasileiro, todas as DEM são atingidas em uma ou mais partes do corpo, o que pode resultar em eritema em todos os 6 tipos de pele com apenas uma hora de exposição. Junto a isto, a D-UV registrada no inverno também é suficiente para causar danos nos fototipos I e II na maior parte do corpo (exceto nuca e peito) e em algumas partes do corpo de um indivíduo fototipo III.

Tabela 3. D-UVÉ [SED] ponderada durante uma hora de exposição em torno do meio dia solar em Villeneuve-d'Ascq (VIL) e Itajubá (ITJ), classificados de acordo com a tabela 2.

Estação do ano	Local	Punhos	Pés	Nuca	Testa	Peito	Ombros	Aba Boné
Verão	VIL	2,4	4,2	1,0	2,3	1,7	3,7	6,5
	ITJ	5,5	9,6	2,3	5,3	3,9	8,5	14,9
Outono	VIL	0,8	1,5	0,4	0,8	0,6	1,3	2,3
	ITJ	3,4	6,0	1,4	3,3	2,4	5,3	9,3
Inverno	VIL	0,3	0,5	0,1	0,3	0,2	0,4	0,8
	ITJ	2,1	3,7	0,9	2,1	1,5	3,3	5,8
Primavera	VIL	1,5	2,7	0,6	1,5	1,1	2,4	4,2
	ITJ	5,1	8,8	2,1	4,9	3,5	7,8	13,7

Legenda:

Fototipo	I	II	III	IV	V	VI
----------	---	----	-----	----	---	----

5. CONCLUSÃO

Este estudo consistiu da análise de parâmetros atmosféricos e da incidência de R-UV, através do IUV e D-UVÉ, para avaliar os impactos desta exposição cotidiana à saúde humana, em localidades com alta e baixa disponibilidade de radiação solar. As partes do corpo humano também foram consideradas como diferentes superfícies, a fim de estudar, com base no valor de referência medido no topo da cabeça, a variabilidade da D-UVÉ que incide no ser humano durante uma caminhada cotidiana.

O CTO e a cobertura de nuvens apresentaram a sazonalidade esperada para as regiões de estudo. O CTO apresentou máximos no outono e mínimos na primavera com valores médios de $267,5 \pm 14,1$ para ITJ e $331,4 \pm 43,5$ para VIL. Entretanto, houve grande variabilidade nas medidas de cobertura de nuvens. Deve-se notar que o índice CMF, utilizado para a análise das nuvens, foi estimado por satélite e, devido à variabilidade espaço-temporal da nebulosidade, é passível de grandes incertezas.

A análise do IUV mostrou a significativa diferença entre a disponibilidade de radiação em baixas e altas latitudes. Em relação aos potenciais danos à saúde, em Itajubá, os IUV foram classificados como moderado a alto nos meses de inverno ($5,7 \pm 1,1$) e muito alto a extremo ($14,4 \pm 0,4$) nos meses de verão. Em Villeneuve-d'Ascq, no inverno, o IUV não oferece nenhum tipo de potencial dano à pele ($0,8 \pm 0,4$); no verão, os IUV foram classificados como moderado e alto ($6,4 \pm 0,7$) apenas nos meses de junho e julho.

A R-UV incide de maneira variada no corpo humano, de modo que, regiões sombreadas, como a nuca e o peito, recebem em média, apenas 30% da R-UV considerada como referência. Nos pés e ombros, os valores médios da D-UVe atingem cerca de 60% da R-UV que incide no topo da cabeça. Na aba do boné, devido a inclinação em direção ao sol durante a exposição, a incidência atinge valor igual e, por vezes, até maior que o valor de referência. Este parâmetro pode representar a incidência da R-UV em algumas extremidades do rosto humano, tais como, nariz, orelha e boca, sujeitos a receberem altos valores de R-UV.

Uma hora de exposição no verão francês é suficiente para produzir eritema na maior parte do corpo de indivíduos fototipos I e II e, nos pés, ombros e na aba do boné (rosto) de um indivíduo fototipo III. A maior parte da população francesa está enquadrada nestes fototipos. No inverno, este tempo de exposição é insuficiente para que o indivíduo atinja a D-UVe recomendada para síntese de vitamina D na maior parte do corpo. Em ITJ, uma hora de exposição é suficiente para que a D-UVe recebida atinja e ultrapasse o valor de referência em todos os meses do ano. No verão, o valor observado é capaz de causar eritema em todos os fototipos apresentados, caso a exposição ocorra sem proteção solar. No inverno, os valores são suficientes para provocar danos em peles fototipos I e II no corpo inteiro e em algumas partes do corpo (pés, ombros e aba do boné) em um indivíduo fototipo III, semelhante ao que ocorre no verão em altas latitudes.

A discrepância entre os valores encontrados nas duas localidades corrobora as recomendações de Corrêa (2015), que ressalta o fato de que as normativas de proteção solar dos Estados Unidos e Europa não são condizentes com a incidência de R-UV no Brasil. Além disso, é necessário que as normativas de fotoproteção não se limitem a momentos de lazer, estendendo-as à atividade cotidiana, visto que, considerando os diferentes fototipos, a incidência solar é capaz de causar danos em curtas exposições e em diferentes partes do corpo de um indivíduo.

6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAUJO, T. S.; SOUZA, S. O. Protetores solares e os efeitos da radiação ultravioleta. **Scientia Plena**, v. 4, n.11, p. 1-14807, 2008.

ASSIREU, A. T.; REBOITA, M. S.; CORRÊA, M. P. Observando o céu, quantificando as nuvens e praticando modelagem: um exercício de apoio ao aprendizado das Ciências Atmosféricas. **Revista Brasileira de Ensino de Física** (Impresso), v. 34, p. 1501-1-1501-6, 2012.

BALBINOTI FILHO, C. A.; BORGES, C. D. Efeitos da radiação UV-C em alface e maçã minimamente processadas: uma revisão. **Brazilian Journal of Food Technology**, v.23, p. 1-13, 2020.

BALOGH, T. S.; VELASCO, M. V. R.; PEDRIALI, C. A.; KANEKO, T. M.; BABY, A. R. Proteção à radiação ultravioleta: recursos disponíveis na atualidade em fotoproteção. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 86, n.4. p. 732-742, 2011.

BARDINI, G.; LOURENÇO, D.; FISSMER, M. C. Avaliação do conhecimento e hábitos de pacientes dermatológicos em relação ao câncer da pele. **Arquivos Catarinenses de Medicina**, v. 41, n. 2, p. 56-63, 2012.

CALBÓ, J.; PAGÉS, D.; GONZÁLEZ, J. A. EMPIRICAL STUDIES OF CLOUD EFFECTS ON UV RADIATION: A REVIEW. **Reviews of Geophysics**, v.43, p. 1-28, 2005.

CASTILHO, I. G.; SOUSA, M. A. A.; LEITE, R. M. S. L. Fotoexposição e fatores de risco para câncer da pele: uma avaliação de hábitos e conhecimentos entre estudantes universitários. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 85, n. 2, p. 173-178, 2010.

CIE - International Commission on Illumination. Action spectrum for the production of previtamin D3 in human skin. CIE. **Technical Report**. 174 p. 2006.

CIE - International Commission on Illumination. STANDARD ERYTHEMA DOSE, A REVIEW. CIE. **Technical Report**. 7 p. 1997.

COARITI, J. R. **Características da Radiação Ultravioleta Solar e seus efeitos na saúde humana nas cidades de La Paz – Bolívia e Natal – Brasil**. 2017, 110 f. Tese (Doutorado em Ciências Climáticas) – Universidade Federal de Rio Grande do Norte, 2017.

CORRÊA, M. P. Solar ultraviolet radiation: properties, characteristics and amounts observed in Brazil and South America. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v.90, n.3. p. 297-313, 2015.

CORRÊA, M.P.; CEBALLOS, J. C. Solar Ultraviolet Radiation Measurements in One of the Most Populous Cities of the World: Aspects Related to Skin Cancer Cases and Vitamin D Availability. **Photochemistry and Photobiology**, v. 86, p. 438–444, 2010.

CORRÊA, M.P.; GODIN-BEEKMANN, S.; HAEFFELIN, M.; BEKKI, S.; SAIAG, P.; BADOSA, J.; JÉGOU, F.; PAZMIÑO, A.; MAHÉ, E. Projected changes in clear-sky erythemal and vitamin D effective UV doses for Europe over the period 2006 to 2100. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 12, p. 1053-1064, 2013.

CORRÊA, M. P.; PIRES, L. C. M. Doses of erythemal ultraviolet radiation observed in Brazil. **International Journal of. Dermatology**, v.52, n.8, p.966-973, 2013.

CORRÊA, M. P.; YAMAMOTO, A. L. C.; MORAES, G. R.; GODIN-BEEKMANN, S.; MAHÉ, E. Changes in the total ozone content over the period 2006 to 2100 and the effects on the erythemal and vitamin D effective UV doses for South America and Antarctica. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 18, p. 2931-2941, 2019.

DIFFEY, B. L. Solar ultraviolet radiation effects on biological systems. **Review in Physics in Medicine and Biology**, v. 36, n. 3, p. 299-328, 1991.

DODD, A. T.; MORELLI, J.; MOKROHISKY, S. T.; ASDIGIAN, N.; BYERS, T. E.; CRANE, L. A. Melanocytic Nevi and Sun Exposure in a Cohort of Colorado Children: Anatomic Distribution and Site-Specific Sunburn. *Cancer Epidemiology, Biomarkers & Prevention*, v. 16, n. 10, 2007.

ENGELSEN, O. The Relationship between Ultraviolet Radiation Exposure and Vitamin D Status. **Nutrients**, v. 2, p. 482-495, 2010.

FITZPATRICK, T. The validity and practicality of sun reactive skin types I through VI. **Archives of Dermatology**, v.124, p.869-871, 1988.

FOYO MORENO, I.; ALADOS, I.; OLMO, F. J.; VIDA, J.; ALADOS-ARBOLEDAS, L. On the use of a cloud modification factor for solar UV (290±385 nm) spectral range. **Theoretical Applied Climatology**, v. 68, p. 41-50, 2001.

FRANCO, J. M.; FERNANDES, G. A.; CORRÊA, M. P.; SILVA, L. F. EXPOSIÇÃO DO TRABALHADOR RURAL À RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA: ESTUDO NO SUL DE MINAS GERAIS. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 18, p. 53-62, 2016.

GEFFEN, J.; A, R.; WEELE, M.; ALLAART, M.; ESKES, H. **SURFACE UV RADIATION MONITORING BASED ON GOME AND SCIAMACHY**. In: Proceedings of the ENVISAT & ERS Symposium, 2004, Salzburg. **Anais...** Salzburg: SP-572, 2004. p. xx-xx.

HARDMAN, C. M., BARROS, S. S. H., OLIVEIRA, E. S. A., NAHAS, M. V., BARROS, M. V. G. Inatividade nos deslocamentos para o trabalho e fatores associados em industriários. **Saúde e Sociedade**, v.22, n. 3, p. 760-772, 2013.

HIDALGO, L. G.; DORANTES, G. L.; NAVARRETE, L. J.; ORTEGA, B. C.; GEHRKE, I. L.; FLORES, M. G.; SÁNCHEZ, M. C. T.; ROSAS, A. H. Características generales de sujetos mexicanos que acuden a jornadas de detección de cáncer de piel*. **Dermatologia Revista Mexicana**, v. 63, n. 5, p. 455-462, 2019.

HOEL, D. G.; GRUJIL, F.R. Sun Exposure Public Health Directives. **International Journal of Environmental Research and Public Health**, v.15, n.12, p.2794-2799, 2018.

HOLICK, M. F. Vitamin D: A Millenium Perspective. **Journal of Cellular Biochemistry**, v. 88, p. 296-307, 2003.

HOLICK, M. F. The Vitamin D Epidemic and its Health Consequences. **The Journal of Nutrition**, v. 135, n. 11, p. 2739S-2784S, 2005.

HOLICK, M. F. Vitamin D Deficiency. **The New England Journal of Medicine**, v. 357, n. 3, p.266-281, 2007.

HUAMAN, C. W. T.; TITO, U. Y.; RAMOS, J. R. G.; MAMANI, E. G. M. Índice de radiación ultravioleta estimado por la Estación Meteorológica Davis de la Universidad Nacional de Juliaca. **ÑAWPARISUN - Revista de Investigación Científica**, v. 2, n. 2, p. 37-42, 2020.

IARC (2018). IARC Monographs – 100D. Solar and ultravioleta radiation. IARC Monographs – 100 D, v. 55, p. 35-101.

ICNIRP - International Commission of Non-Ionizing Radiation Protection. Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelength between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). **Health Physics**, v.87, p.171-1866, 2004.

INCA – Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. Tipos de câncer, pele melanoma, 2015. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/tipos-de-cancer/cancer-de-pele-melanoma>. Acesso em: 26 de maio de 2020.

INCA – Instituto Nacional de Câncer José Alencar Gomes da Silva. Tipos de câncer, pele não melanoma, 2015. Disponível em: <https://www.inca.gov.br/tipos-de-cancer/cancer-de-pele-nao-melanoma>. Acesso em: 26 de maio de 2020.

KIGUTI, V. A. K.; SEO, E. S. M.; VILELA-JUNIOR, A. RADIAÇÃO ULTRAVIOLETA: UMA AVALIAÇÃO EM SÃO PAULO. **Revista de Gestão Integrada em Saúde do Trabalho e Meio Ambiente**, v. 4, n. 1, Seção InterfacEHS 3, 2009.

KUCHINKE, C.; NUNEZ, M. Cloud transmission estimates of UV-B erythema irradiance. **Theoretical Applied Climatology**, v. 63, p. 149-161, 1999.

LOBOSCO, M. P. J.; SILVA, R. M. C. R. A; PEREIRA, E. R.; CARNEIRO, E. C. S. P.; ANDRADE, A. C. S. The relationship between environmental education and natural sunscreens: an integrative review. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 6, p. e158963535, 2020.

LUTDKE, E. C.; LIMA, E. F.; FRANCO, C. Vitamina D: deficiência e suplementação relacionada à cirurgia bariátrica. **Brazilian Journal of Development**, v.6, n. 3, p. 9653-9664, 2020.

MACEDO, J. L.; BRANCO, C. C. F. C.; COSTA, P. V. C.; ARAUJO, J. M. S. Vitamina D em crianças e adolescentes com sobrepeso e obesidade: uma revisão integrativa. **Research, Society and Development**, v. 9, n. 1, p. e68911625, 2020.

MAEDA, S. S.; SARAIVA, G. L.; HAYASHI, L. F.; CENDOROGLO, M. S.; RAMOS, L. R.; CORRÊA, M. P.; MESQUITA, C. H.; CASTRO, M. L. Seasonal variation in the serum 25hydroxyvitamin D levels of young and elderly active and inactive adults in São Paulo, Brazil. **Dermato-Endocrinology**, v. 5, n. 1, p. 211-217, 2013.

MAHÉ, E.; BEAUCHET, A.; CORRÊA, M. P.; GODIN-BEEKMANN, S.; HAEFFELIN, M.; BRUANT, S.; FAY-CHATELARD, F.; JÉGOU, F.; SAIAG, P.; AEGERTER, P. Outdoor sports and risk of UV-related skin lesions in children: evaluation of risks, and prevention.. **British Journal of Dermatology** (1951. Print), v. 165, p. 360-367, 2011.

MAHÉ, E.; CORRÊA, M.P.; GODIN-BEEKMANN, S.; HAEFFELIN, M.; JÉGOU, F.; SAIAG, P.; BEAUCHET, A. Evaluation of tourists' UV exposure in Paris. **JEADV. Journal of the European Academy of Dermatology and Venereology**, v. 27, p. e294-e304, 2013.

MC KINLAY, A. F.; DIFFEY, B. L. A reference spectrum for ultraviolet induced erythema in human skin. **CIE Journal**, v. 6, p. 17-22, 1987.

MIDDLETON, J. The socialities of everyday urban walking and the 'right to the city'. **Urban Studies**, v. 55, n. 2, p. 296-315, 2017.

MOEHRLE, M.; DENNENMOSER, B.; GARBE, C. Continuous Long-Term Monitoring of Uv Radiation In Professional Mountain Guides Reveals Extremely High Exposure. **International Journal of Cancer**, v. 103, n. 6, p. 775-778, 2003.

REBOITA, M. S.; CORRÊA, M. P.; RODRIGUES, M.; SILVA, J. P. R. Um balanço do curso de ciências atmosféricas no sul de Minas Gerais: ensino, pesquisa, extensão e benefícios à sociedade. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 9, n. 7, p. 2312-2324, 2016.

REBOITA et al., 2020. Boletim de monitoramento meteorológico. Disponível em: <https://meteorologia.unifei.edu.br/pag/boletim/>. Acesso em: 04 de agosto de 2020.

REBOITA, M. S.; RODRIGUES, M.; SILVA, L. F.; ALVES, M. A. Aspectos Climáticos do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 17, a.11, p. 206-226.

RIVAS, M.; ROJAS, E.; CALAF, G. M.; BARBERÁN, M.; LIBERMAN, C.; CORRÊA, M. P. Association between non-melanoma and melanoma skin cancer rates, vitamin D and latitude. **ONCOLOGY LETTERS**, v. 13, p. 3787-3792, 2017.

SARAIVA, G. L.; CENDOROGLO M. S.; RAMOS, L. R.; ARAÚJO, L. M. Q.; VIEIRA, J. G. H.; KUNII, I.; HAYASHI, L. F.; CORRÊA, M. P.; CASTRO, M. L. Influence of ultraviolet radiation on the production of 25 hydroxyvitamin D in the elderly population in the city of São Paulo (23°O 34'S), Brazil. **Osteoporos International**. v. 16, p. 1649-1654, 2005.

SCHALKA, S.; STEINER, D.; RAVELLI, F. N.; STEINER, T.; TERENA, A. C.; MARCON, C. R, et al. Brazilian Consensus on Photoprotection. **Anais Brasileiros de Dermatologia**, v. 89, n. 6, 76 p, 2014.

SCHALKA, S.; CORRÊA, M. P.; SAWADA, L. Y.; CANALE, C. C.; ANDRADE, T. N. A novel method for evaluating sun visible light protection factor and pigmentation protection factor of sunscreens. **Clinical, Cosmetic and Investigational Dermatology**, v. 12, p. 605-616, 2019.

SCHORRO, J. R. S.; SILVA, T. P.; TEODORO, E. I. S.; CHIERRITO, D.; TESTON, A. P. M.; MELLO, J. C. P.; ARAUJO, D. C. M. Influência de diferentes ativos em formulações de produtos dermocosméticos com fator de proteção solar. **Brazilian Journal of Development**, v. 6, n. 5, p. 29741-29754, 2020.

SGARBI, F. C.; CARMO, E. D.; ROSA, L. B. B. Radiação ultravioleta e carcinogênese. **Revista Ciências Médicas**, v. 16, p. 245-250, 2007.

SILVA, A. A. MEDIDAS DE RADIAÇÃO SOLAR ULTRAVIOLETA EM BELO HORIZONTE E SAÚDE PÚBLICA. **Revista Brasileira de Geofísica**, v. 26, n.4, p. 417-425, 2008.

SOUZA ECHER, M. P.; MARTINS, F. R.; PEREIRA, E. B. A importância dos dados de cobertura de nuvens e de sua variabilidade: Metodologias para aquisição de dados. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 28, n, 3, p. 341-352, 2006.

TEMIS. UV index and UV dose: data product description data version 2.0, 2017. Disponível em <http://www.temis.nl/uvradiation/product/>. Acesso em: 27 de maio de 2020.

TEMIS. UV index forecast and archives, 2003. Disponível em: <http://www.temis.nl/uvradiation/>. Acesso em: 27 de maio de 2020.

TERAMOTO, E. T.; SANTOS, C. M.; ESCOBEDO, J. F.; DAL PAI, A.; SILVA, S. H. M. G. Comparação de Métodos de Estimativa da Radiação Solar Ultravioleta Horária: Modelos Empíricos, Redes Neurais Artificiais e Máquina de Vetores de Suporte. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 35, n. 1, p. 35-43, 2020.

TUDOR-LOCKE, C. E., MYERS, A. M. Challenges and Opportunities for Measuring Physical Activity in Sedentary Adults. **Sports Medicine**, v. 31, n. 2, p. 91-100, 2001.

VÁZQUEZ, M.; HANSLMEIER, A. **Ultraviolet radiation in the solar system**. Netherlands: Springer, 2006. 380 p.

VECCHI, R.; RIPPER, J. S. C.; ROY, D.; BRETON, L.; MARCIANO, A. G.; SOUZA, P. M. B.; CORRÊA, M. P. Using wearable devices for assessing the impacts of hair exposome in Brazil. **Nature Research**, v. 9, p. xx, 2019.

WIDEL, M.; KRZYWON, A.; GAJDA, K.; SKONIECZNA, M.; RZESZOWSKA-WOLNY, J. Induction of bystander effects by UVA, UVB, and UVC radiation in

human fibroblasts and the implication of reactive oxygen species. *Free Radical Biology and Medicine*, v. 68, p. 278-287, 2013.

WEATHER SPARK. Condições meteorológicas médias em Villeneuve d'Ascq – França. Disponível em: <https://pt.weatherspark.com/y/49942/Clima-caracter%C3%ADstico-em-Villeneuve-d&%2339;Ascq-Fran%C3%A7a-durante-o-ano>. Acesso em: 03 de agosto de 2020.

ORGANIZAÇÃO MUNDIAL DA SAÚDE – OMS. **Global Solar UV Index.** Practical Guide. 2003.

WRCF – World Cancer Research Fund. Skin cancer statistics, 2018. Disponível em: <https://www.wcrf.org/dietandcancer/cancer-trends/skin-cancer-statistics>. Acesso em: 26 de maio de 2020.

YAMAMOTO, A. L. C.; CORRÊA, M. P; CCOYLLO, O. R. S. Avaliação e Análise da Série Temporal de Radiação UV Coletadas em Diferentes Cidades Peruanas. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, n. 2, p. 298-305, 2018.

YAMASOE, M. A; CORRÊA, M. P. **Processos radiativos na atmosfera (Fundamentos)**. São Paulo: Oficina de Textos, 2016. 142 p.

ZEMPILA, M. M.; GEFFEN, J. H. G. M.; TAYLOR, M.; WEELE, M.; A, R. J.; BAIS, A.; MELETI, C.; BALIS, D. TEMIS UV product validation using NILU-UV ground-based measurements in Thessaloniki, Greece. **Atmospheric Chemistry and Physics**, v. 17, p. 7157-7174, 2017.