



SAZONALIDADE ANUAL E A VARIABILIDADE HORÁRIA MENSAL DO ÍNDICE ULTRAVIOLETA PARA A CIDADE DE HUMAITÁ, AMAZONAS, BRASIL

*Annual seasonality and monthly hourly variability of the
ultraviolet index for the city of Humaitá, Amazonas State, Brazil*

*Estacionalidad anual y variabilidad horaria mensual del índice
ultravioleta para la ciudad de Humaitá, Estado del Amazonas,
Brasil*

Pericles Vale Alves  

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal de São Carlos
periclesmat@ufam.edu.br

Carlos Alexandre Santos Querino  

Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Amazonas
carlosquerino@ufam.edu.br

Marcos André Braz Vaz  

Programa de Pós Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Amazonas
marcosvaz@ufam.edu.br

Marcelo Sacardi Biudes  

Programa de Pós Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal do Mato Grosso
marcelo@fisica.ufmt.br

Marcos Antônio Lima Moura  

Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas
malm@ccen.ufal.br

Luiz Octávio Fabrício dos Santos  

Programa de Pós Graduação em Física Ambiental, Universidade Federal do Mato Grosso
luizoctavio@fisica.ufmt.br

Resumo: O índice Solar Ultravioleta (IUV) mensura a intensidade da radiação UV (280 a 400 nm) que atinge à superfície terrestre num dado intervalo de tempo. É uma grandeza adimensional que representa os riscos à saúde humana devido à exposição solar. O IUV é pouco divulgado no Brasil, onde, geralmente, apenas as capitais brasileiras dispõem dessas informações. Assim, o objetivo deste trabalho foi descrever a sazonalidade anual e a variabilidade horária mensal do Índice Ultravioleta para a cidade de Humaitá-AM. Os dados do IUV foram coletados entre outubro de 2019 e setembro de 2020, por um sensor de Raio Ultravioleta UVM-30A (200 – 370 nm), conectado a uma plataforma Arduino Uno R3 usada como datalogger para armazenar o IUV. As leituras foram realizadas a cada 10 segundos e as médias armazenadas a cada 10 minutos. Os gráficos boxplot foram plotados utilizando o software livre R-Studio, para avaliar a variabilidade horária do IUV. Os resultados obtidos mostram que na primavera o IUV médio máximo pode variar de 4 a 8, no verão é constante e igual a 4, no outono varia de 4 a 6 e no inverno de 8 a próximo de 11. Portanto, observou-se que os valores mais elevados ocorrem durante o inverno que coincide com o período seco da região.

Palavras-chave: Radiação Ultravioleta. Período Seco. Período Chuvoso.

Abstract: The Solar Ultraviolet Index (UVI) measures the intensity of UV radiation (280 to 400 nm) that reaches the earth's surface in a specific time interval. It is an adimensional greatness that represents the risks to human health due to exposure to the Sun. The UVI is less disclosed in Brazil, where, generally, only Brazilian capitals have this information. Thus, the main aim of this paper was to describe the seasonality of the UVI in the city of Humaitá-AM. The UVI data were collected from October 2019 to September 2020 by an UVM-30A Ultraviolet Ray sensor (200 - 370 nm), connected to the Arduino Uno R3 platform used as a datalogger to store the UVI. The scanning was carried out every 10 seconds and the averages were recorded every 10 minutes. The boxplots were plotted by the free software R-Studio to evaluate the hourly variability of the UVI. The results obtained have shown that in the spring the maximum mean UVI vary from 4 to 8, in summer it is constant and equals to 4, in autumn it varies from 4 to 6 and in winter its oscillate from 8 to nearby 11. To sum up, it was observed that the highest values occurred during the winter, which coincides with the dry period of the region.

Keywords: Ultraviolet Radiation. Dry Season. Rainy Season.

Resumen: El índice solar ultravioleta (UVI) mide la intensidad de la radiación ultravioleta (280 a 400 nm) que llega a la superficie de la Tierra en un período de tiempo determinado. Es una cantidad adimensional que representa los riesgos para la salud humana debido a la exposición al sol. El UVI es poco conocido en Brasil y solo las capitales brasileñas tienen esta información. Así, el objetivo de este trabajo fue describir la estacionalidad anual y la variabilidad horaria mensual del Índice Ultravioleta para la ciudad de Humaitá-AM. Los datos de UVI fueron recompilados entre octubre de 2019 y septiembre de 2020, mediante un sensor UV UVM-30A (200 - 370 nm), conectado a una plataforma Arduino Uno R3 utilizada como registrador de datos para almacenar el UVI. Las lecturas se tomaron cada 10 segundos y los promedios se almacenaron cada 10 minutos. Los diagramas de caja se trazaron utilizando el software de código abierto R-Studio para evaluar la variabilidad horaria del UVI. Los resultados obtenidos muestran que en primavera el UVI promedio máximo puede variar de 4 a 8, en verano es constante es igual a 4, en otoño varía de 4 a 6 y en invierno de 8 a cerca de 11. Por lo tanto, se observó que los valores más altos ocurren durante el invierno coincidiendo con el período seco de la región.

Palabras clave: Radiación Ultravioleta. Periodo de sequía. Periodo lluvioso.

Submetido em: 27/04/2021

Aceito para publicação em: 23/03/2022

Publicado em: 15/04/2022

1. INTRODUÇÃO

O estado do Amazonas está inteiramente imerso no bioma Amazônico (NEVES et al., 2020; SALATI et al., 2007). Dentre as regiões geográficas intermediária e imediata que constituem o estado, a região intermediária de Lábrea por apresentar um crescimento agropecuário e populacional em ascensão, tem contribuído para o desmatamento do Amazonas (PAULIQUEVIS et al., 2007; NEVES et al., 2020). A região intermediária de Lábrea é constituída por duas regiões imediatas, as quais agregam, juntas, nove municípios, incluindo Humaitá, na qual desenvolve-se, nas adjacências de suas rodovias, atividades econômicas tais como: a pecuária, agricultura e extração de madeira (PEDREIRA JUNIOR et al., 2018).

O desenvolvimento agropecuário e madeireiro tem fortes implicações nas elevadas taxas de desflorestamento de todo o estado, alterando, portanto, a cobertura do solo. Além disso, a porção Sul do estado representa boa parte da produção agrícola do estado do Amazonas (LEAL; MANIESI, 2018; PONTES et al., 2016). Contudo, as modificações na cobertura do solo tem implicado em mudanças constantes no clima, as quais estão expondo cada vez mais plantas e animais a doses mais elevadas de radiação ultravioleta (RUV) e a outros fatores de mudança climática (BORNMAN et al., 2019; MOURA et al., 2019). Em plantas terrestres, por exemplo, expostas excessivamente à RUV, alterações estruturais e fisiológicas são induzidas, implicando, portanto, reduções da área foliar e na absorção de luz visível (BORNMAN et al., 2019; RAI; AGRAWAL, 2017).

A RUV é uma parte do espectro da energia proveniente do sol. A energia proveniente do Sol que incide sobre a superfície terrestre é composta por um conjunto de ondas eletromagnéticas, denominado espectro eletromagnético solar (GÓMEZ et al., 2018). Esse espectro é dividido em intervalos de comprimentos de onda (λ) composto pela a faixa do ultravioleta (UV), da luz visível (VIS), do infravermelho (IR), dentre outros (GÓMEZ et al., 2018; MAUCERI et al., 2018). Essa energia está relacionada diretamente aos processos químicos, físicos e biológicos e, portanto, com a vida na Terra. Além disso, essa energia tem fortes influências na atmosfera e no clima terrestre devido a sua variabilidade espaço-temporal. Dessa energia, a parcela gerada pela estreita faixa do UV é a que tem maior influência nos sistemas biológicos (MAUCERI et al., 2018).

A RUV corresponde de 4 a 6 % da radiação solar incidente sobre a superfície terrestre (ESCOBEDO et al., 2011). A RUV é toda energia radiante dentro do intervalo de 100 a 400 nm

e está subdividida em três bandas espectrais: UVA (315 – 400 nm), UVB (280 – 315 nm) e UVC (100 – 280 nm). Esta subdivisão foi apresentada pela primeira vez na reunião de Copenhague no Segundo Congresso Internacional da Luz, realizada em agosto de 1932 (DIFFEY, 2002; ICNIRP, 2004). Entretanto, fotobiologistas ambientais e dermatológicos, geralmente, as definem como UVA (320 – 400 nm), UVB (290 – 320 nm) e UVC (200 – 290 nm) (DIFFEY, 2002). À medida que a luz solar penetra a atmosfera terrestre, 100% da radiação UVC e cerca de 90% da radiação UVB é absorvida pelo ozônio (O₃), vapor de água, oxigênio (O₂) e dióxido de carbono (CO₂). Dentre estes constituintes atmosféricos, o O₃ é o mais influente na absorção da RUV. Desta forma, a RUV que atinge a superfície terrestre é composta por uma pequena parcela da UVB e em grande parte por UVA, uma vez que esta faixa é menos absorvida pelos gases da atmosfera (OKUNO; VILELA, 2005).

A RUV diária, nas regiões tropicais (até 20° de latitude norte e sul), apresenta variabilidade sazonal de mais 25 % no verão e menos 30 % no inverno quando comparados com a primavera/outono. Na zona temperada (em torno de 40°), esta variação é superior a 70 % e inferior a 70 % entre verão/inverno e primavera/outono, respectivamente (DIFFEY, 1991; OKUNO; VILELA, 2005). Assim, o fluxo da RUV diminui ao se afastar do Equador (para altas latitudes) e, com o aumento na altitude, o fluxo da RUV aumenta em torno de 6 % a cada quilômetro (DIFFEY, 1991; OKUNO; VILELA, 2005). Além disso, fatores tais como hora do dia, estação do ano, nuvens e albedo superficial também influenciam na quantidade da RUV que atinge a superfície terrestre (KUMAR; HÄDER, 2012).

Dados esses fatores que influenciam na quantidade da RUV que chega em superfície, e que esta foi classificada em 2009 pela Agência Internacional de Pesquisa do Câncer (IARC) como cancerígena para os seres humanos, foi desenvolvido o Índice Solar Ultravioleta Global (IUV) e revisado conforme indica Gies et al. (2018). O IUV exprime os fluxos de RUV biologicamente ativos (RUV-B) capazes de desenvolver o eritema na pele humana (DIFFEY et al., 1997). Este índice é tratado como uma grandeza adimensional categorizada em níveis de possíveis danos à saúde, relativos à exposição a RUV, os quais são: Baixo (IUV < 3); Moderado (3 ≤ IUV < 6); Alto (6 ≤ IUV < 8); Muito Alto (8 ≤ IUV < 11) e Extremo (IUV ≥ 11) (GIES et al., 2018; WHO, 2002).

No Brasil, são poucos os veículos de comunicação que divulgam o IUV e, desta maneira, a população permanece, em sua maioria, desinformada acerca desta variável. No

website do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) são disponibilizados os IUVs horários, os quais são monitorados apenas para as capitais e, além do mais, não são apresentados em tempo real. Por outro lado, apesar das limitações, as informações publicadas no referido site promovem orientações acerca dos conceitos da RUV e do IUV, bem como transmite numa linguagem acessível, a relação que há entre radiação solar e os efeitos na saúde humana, o que figura pontos positivos (INPE, 2020a). Alguns estudos têm contribuído para uma melhor descrição desta variável em termos climatológicos e, sobretudo, apresentam a relação que há entre ela e os efeitos vinculados à saúde humana.

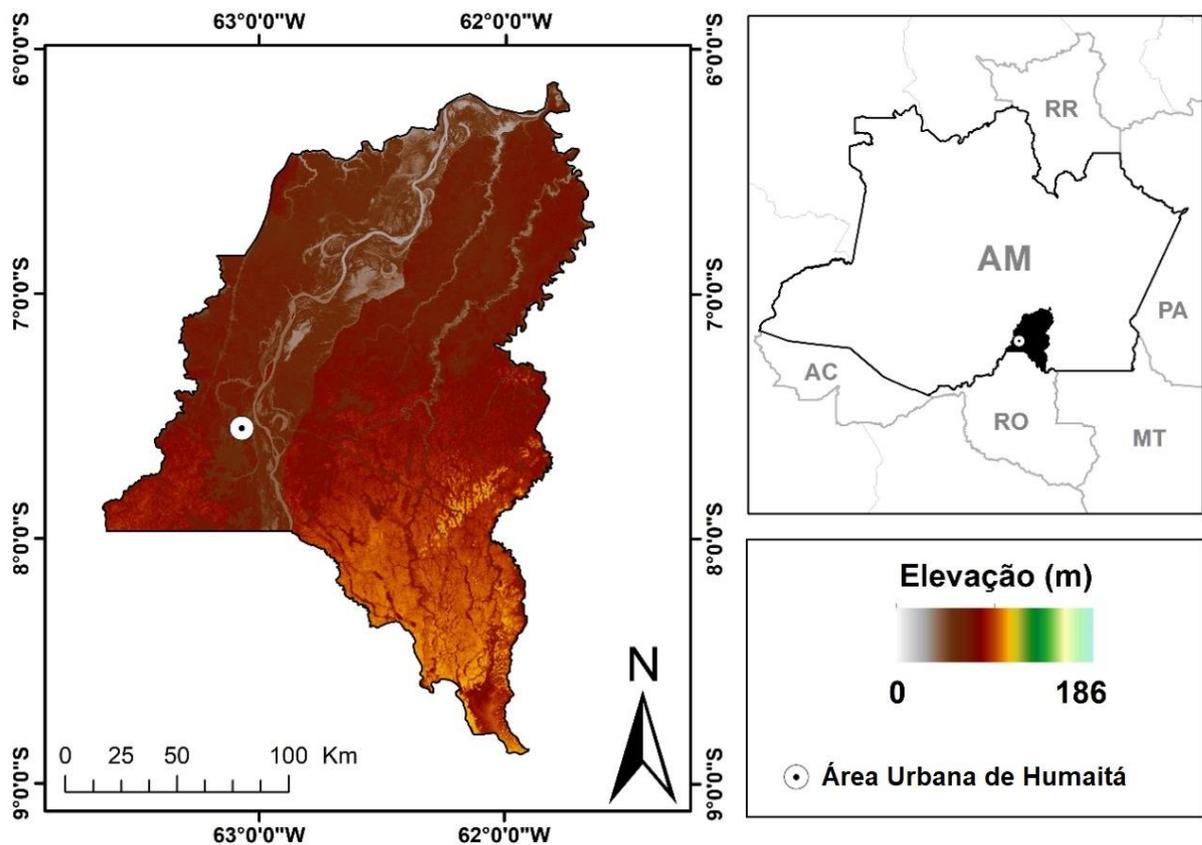
Teramoto et al. (2020) compararam alguns modelos de estimativas da RUV e concluíram que utilizar Máquinas de Vetores de Suporte é uma excelente alternativa para preencher as lacunas em torno de informações acerca da RUV, pois esta técnica exige apenas uma variável de entrada no processo. Num cenário mais amplo, Corrêa (2015) apresentou um resumo das medidas da RUV realizadas no Brasil, as quais se apresentam com valores que atingem a parte superior da escala de IUV recomendadas pela Organização Mundial da Saúde (WHO, 2002). Por exemplo, nas regiões Norte e Nordeste, IUVs com níveis altos podem ser verificados antes mesmo das 9 h da manhã. Nas regiões Sul e Sudeste, os IUVs variam de intensidades média e alta no inverno à extrema no verão. Além dos altos níveis da RUV, Oliveira (2013) aponta que fatores relacionados a questões socioeconômicas e culturais, à desinformação da população relativas a adoção de precauções à exposição ao Sol respondem pelas altas taxas do câncer de pele no Brasil. Nesta direção, Lima et al. (2021) através de um levantamento dos fatores de risco para o desenvolvimento do câncer de pele, verificaram que, no Brasil, a prevalência dos casos de câncer de pele, apesar da incidência solar anual ser mais intensa nas Regiões Nordeste e Centro-Oeste do país, três Estados da Região Sul são os que revelam a maior prevalência e maior número de óbitos por tumores cutâneos. Ainda, segundo os autores, isso se dá devido à grande taxa de ocupação de pessoas de pele clara, vinculado, é claro, a possíveis hábitos de exposição solar contínua em virtude do trabalho rural (LIMA et al., 2021).

Assim, o objetivo deste estudo foi descrever a sazonalidade anual e a variabilidade horária mensal do Índice Ultravioleta para a cidade de Humaitá-AM.

1.1. Localização e Climatologia da Área de Estudo

Humaitá está localizada ao sul do estado do Amazonas, às margens do rio Madeira, no entroncamento das Rodovias BR 319 (Porto Velho – Manaus) e BR 230 (Transamazônica). Distante 678,6 Km da capital, com área territorial de 33.072 km², limita-se com os municípios de Canutama, Tapauá, Manicoré e com o estado de Rondônia (Figura 1).

Figura 1 – Localização do município de Humaitá, Amazonas e local do experimento.



Fonte: Acervo dos autores (2021).

A classificação climática estabelecida para Humaitá, de acordo com Thornthwaite e Mather (1955), é B4 W A' a' (MARTINS, 2019). Ou seja, Humaitá tem clima úmido, cujo índice de umidade varia de 80 a 100 %, com moderada deficiência hídrica no inverno e evapotranspiração potencial anual (ETP) de 1140 mm. O clima é composto por um período seco e um chuvoso, característico do clima amazônico. O período seco compreende os meses de junho a agosto com precipitação média de 58,5 mm. Os totais pluviométricos no período seco variam de 0 mm a 100 mm, enquanto no chuvoso, que ocorre entre outubro e abril, os totais pluviométricos chegam próximos dos 326 mm mensais (INMET, 2009). Os

meses de maio e setembro compõem a transições do período chuvoso para o seco e seco para o chuvoso, respectivamente (VIDOTTO et al., 2007).

Com relação a nebulosidade classificada pelo índice de claridade, o qual varia segundo a quantidade de nuvens e aerossóis na atmosfera, em Humaitá, o céu se apresenta como parcialmente nublado em praticamente o ano todo (MARTINS et al., 2014).

2. METODOLOGIA

2.1. Aquisição, Processamento e Análise Exploratória dos Dados

Os valores do IUV foram coletados entre outubro de 2019 e setembro de 2020, por um sistema alternativo e de baixo custo formado por um Sensor UVM-30A (200 - 370 nm), conectado a uma plataforma Arduino Uno R3 que atuou como datalogger para monitorar o IUV (ALVES et al., 2020). O Sensor UVM-30A já vem calibrado de fábrica com exatidão de ± 1 UV *Index* e tempo de resposta menor de 0,5 segundos, conforme especificações do fabricante¹. As leituras do IUV pelo sensor foram realizadas a cada 10 segundos e as médias armazenadas a cada 10 minutos em um módulo SD.

A variabilidade média horária mensal do IUV foi apresentada em gráficos do tipo boxplot plotados no software livre R, versão 3.6.1, com interface R-Studio (R CORE TEAM, 2019). O boxplot permite uma análise exploratória da posição, dispersão, simetria, caudas e valores discrepantes (outliers) da distribuição dos IUVs e, portanto, fornece um meio complementar para descrever a dinâmica dos dados.

3. DESENVOLVIMENTO

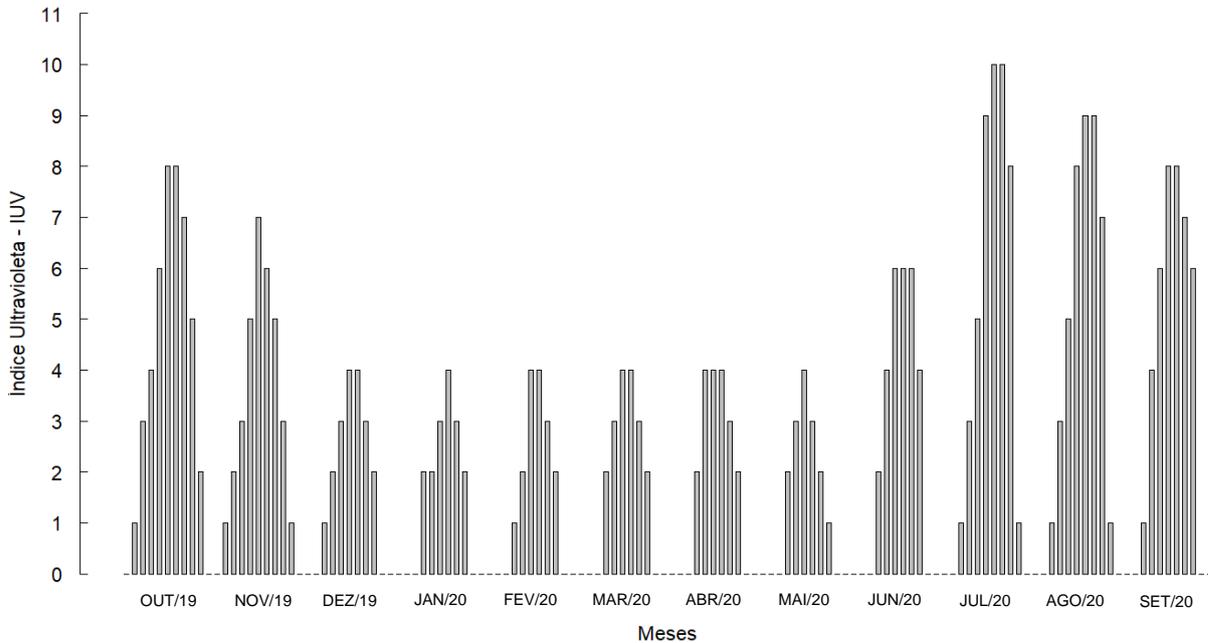
3.1. Sazonalidade do Índice Solar Ultravioleta

Os IUVs verificados nos meses da primavera apresentaram maiores registros no mês de outubro (IUV = 8), seguidos de 7 e 4 para os meses seguintes. Nos meses de verão, o IUV médio máximo alcançado foi igual a 4. No outono, mantém a média máxima em quatro até o mês de maio, com maiores registros da estação no mês de junho, onde atinge 6. No inverno,

¹ <https://cdn.awsli.com.br/945/945993/arquivos/UVM-30A.pdf>

verifica-se que os IUVs mais intensos da série ocorreram em julho (IUV = 10) e em agosto (IUV = 9), registrando ainda em setembro IUV = 8 (Figura 2).

Figura 2 – Sazonalidade anual da média horária mensal do Índice Ultravioleta (IUV) na cidade de Humaitá, Amazonas.



Fonte: Acervo dos autores (2020).

Observa-se que o IUV médio máximo observado em outubro pode estar relacionado com a declinação solar, pois, neste mês, o Hemisfério Sul encontra-se na estação da primavera. Nesta estação, o Sol cruzou o Equador em seu movimento aparente, deslocando-se em direção aos 23,45° ao Sul. Nas estações de verão e outono, os IUVs médios máximos observados foram constantes até o mês de maio sofrendo elevação no mês de junho (BEDAQUE; BRETONES, 2020; PARRA et al., 2019; TAN et al., 2018).

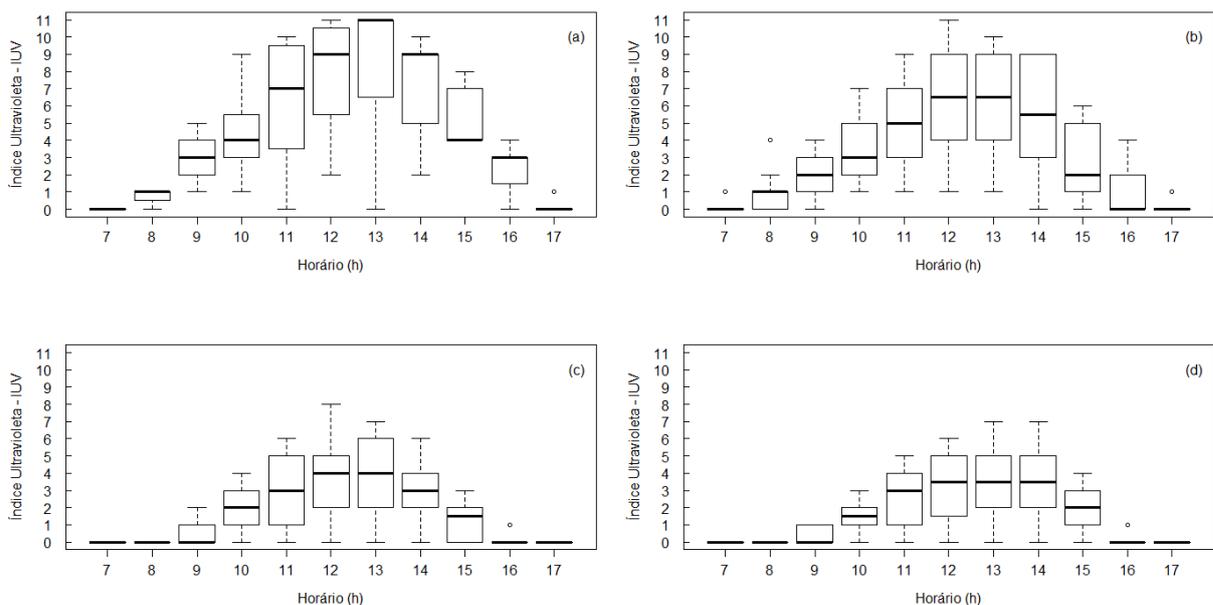
Em junho, por volta do dia 21, inicia-se o inverno no hemisfério sul e a Terra encontra-se próximo ao afélio, máxima distância entre a Terra e o Sol. A combinação destes dois fatores implicará em um maior caminho óptico atmosférico que a radiação terá que percorrer para atingir a superfície, pois quanto maior o caminho óptico, maior será a energia dissipada na atmosfera terrestre e, portanto, espera-se menor incidência da RUV (VAREJÃO, 2007). Entretanto, observa-se que as médias máximas para o IUV crescem para o mês de julho e diminuem à medida que o Sol se desloca para o hemisfério sul. Assim, a dinâmica do IUV está minimamente relacionada com declinação solar e com a distância Terra-Sol e,

portanto, a sazonalidade do IUV está mais relacionada com os períodos hidrológicos da região.

3.2. Variabilidade Horária Mensal do IUV no Período Chuvoso

Os valores observados para o IUV apresentam dispersão horária entre 8 e 16 h (outubro e novembro) e de 9 às 15 h (dezembro e janeiro) (Figura 3). Em outubro, verificou-se que a evolução temporal do segundo quartil se dá de forma ascendente até as 13 h, na qual é registrado o IUV máximo. Após, a evolução é descendente (Figura 3a). Ainda em outubro, nota-se que às 11 h apresenta-se a maior amplitude interquartil em torno da mediana igual a 7. Além disso, às 13 h é observado que 25 % da amostra compreende IUVs entre 0 e 6,5 e os demais 75 % representam IUVs entre 6,5 e 11. Neste caso, observou-se uma distribuição com assimetria negativa. Há também uma mudança abrupta para os IUVs medidos entre 14 e 15 h. De fato, 50 % dos valores observados às 14 h estão entre 5 e 9, cuja mediana é igual a 9 numa distribuição com assimetria negativa. Por outro lado, às 15 h, a amostra apresenta-se com assimetria positiva, na qual 75 % dos valores correspondem a IUVs entre 4 e 7 em torno da mediana igual a 4 (Figura 3a).

Figura 3 - Variabilidade horária mensal do Índice Ultravioleta (IUV) na cidade de Humaitá, Amazonas. Em (a): outubro de 2019; (b): novembro de 2019; (c) dezembro de 2019 e (d) janeiro de 2020.



Fonte: Acervo dos autores (2020).

Para os meses de novembro e dezembro, as dispersões horárias intercorrem das 8 às 16 h e das 9 às 15 h, respectivamente (Figuras 3b, 3c). A dinâmica do segundo quartil, para os meses em questão, é governada também de forma crescente e limitada a 6,5 (novembro) e 4 (dezembro) observados às 12 h. Entretanto, a dinâmica dos IUVs verificados em novembro é, necessariamente, composta por valores menores quando comparados aos do mês de outubro. Em novembro, a maior amplitude interquartílica se manifesta às 14 h onde 75 % dos IUVs estão entre 3 e 9 em torno da mediana igual a 5,5, com boa aproximação. Além disso, o IUV máximo observado para novembro ocorre às 12 h, onde 25 % da amostra registram IUVs entre 9 e 11 (Figura 3b). Em dezembro é observável a redução dos IUVs e, portanto, menor intensidade da RUV medidos em superfície. Neste caso, o IUV máximo ocorre às 12 h onde há o registro de IUVs maiores ou iguais a 5 e menores ou iguais a 8, os quais correspondem a 25 % da amostra. A maior amplitude interquartil ocorreu às 11 h com IUVs entre 1 e 5 com repetição às 13 h com $2 \leq \text{IUV} \leq 6$ (Figura 3c).

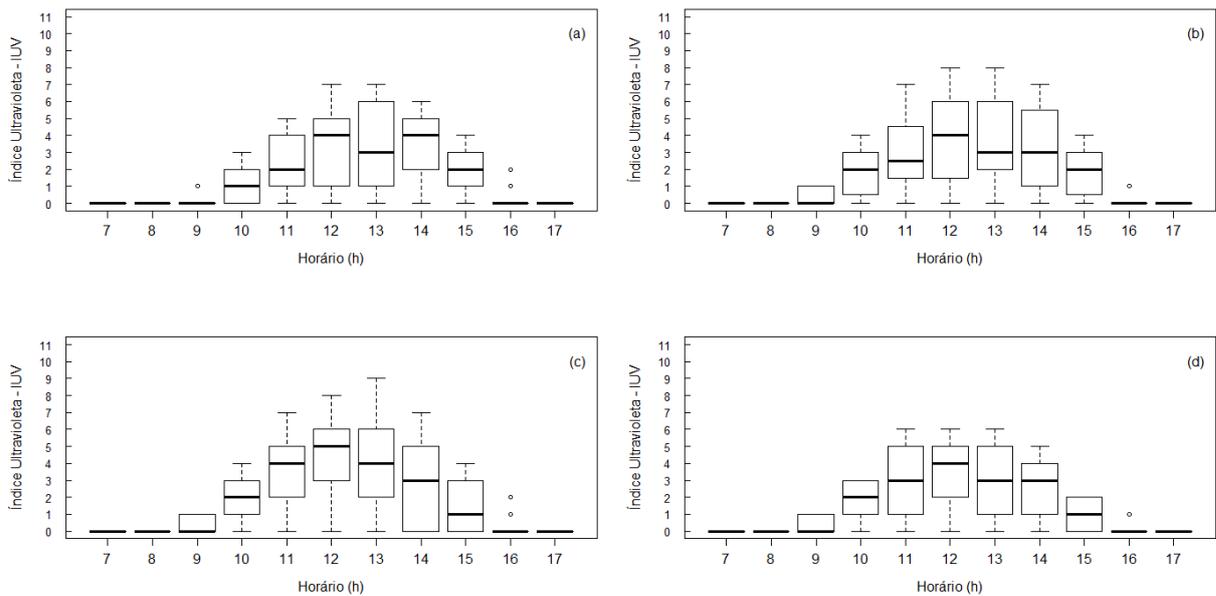
Os resultados apresentados acima se desdobraram desta forma, pois os meses de outubro, novembro e parte de dezembro compreendem os meses da primavera austral. Esta estação é marcada pela atuação de atividades convectivas que se intensificam no período da tarde, aumentam concentração de nuvens e, por vezes, podendo potencializar episódios de precipitação acima de 50 mm h^{-1} (PEDREIRA JUNIOR et al., 2018). Na primavera, a precipitação tem maior concentração no período da tarde e no princípio da noite. Entre 10 e 12 h, apresenta a menor frequência. A Intensidade das Chuvas caracteriza-se de chuvas fracas, seguidas de moderadas, fortes e apenas 0,3 % de ocorrência de chuvas muito fortes (PEDREIRA JUNIOR et al., 2018).

No mês de janeiro, observa-se que a evolução temporal do segundo quartil se dá de forma ascendente até as 12 h, a qual permanece constante até as 14 h, passando a diminuir após isso (Figura 3d). A variabilidade horária inicia às 9 h e se estende até as 15 h. A maior variação interquartil ocorre às 12 h, registrando $1,5 \leq \text{IUV} \leq 5$, correspondendo a 50 % da amostra. Além disso, às 13 h é atingido o IUV máximo que se estende de modo igual até as 14 h onde, em ambas as horas, 25 % dos IUVs registrados estão entre 5 e 7 (Figura 3d).

Em fevereiro, nota-se que a variabilidade horária do IUV tem início às 10 h e perdura até as 15 h (Figura 4a). A dinâmica para o segundo quartil segue em crescimento até as 12 h, sofrendo uma queda às 13h e, retornando o crescimento às 14 h. Após, segue a tendência

de decrescimento. O IUV máximo é obtido logo às 12 h com 25 % dos IUV's sendo medidos entre 5 e 7. Neste caso, a mediana obtida numa amostra de 50 % dos dados refere-se a 4. Às 13 h, observa-se a maior amplitude interquartil, a qual abrange IUVs de 1 a 6 numa porção de 50 % da amostra, com tendência central igual a 3 (Figura 4a).

Figura 4 - Variabilidade horária mensal do Índice Ultravioleta (IUV) na cidade de Humaitá, Amazonas. Em (a): fevereiro de 2020; (b) março de 2020; (c) abril de 2020 e (d) maio de 2020.



Fonte: Acervo dos autores (2020).

No mês de março, os dados mostram que a dispersão horária começa às 9 h e se estende até as 15 h (Figura 4b). A mediana, por sua vez, evolui no tempo de maneira crescente até as 12 h. Após o meio dia, ela passa a decrescer. Há duas amplitudes interquartis máximas equivalentes, uma às 12 e outra às 14 h, nas quais 50 % dos IUVs observados, compreendem de 1,5 a 6 e 1 a 5,5, respectivamente. O IUV máximo é alcançado às 12 h, se repetindo de forma similar às 13 h (Figura 4b).

Os meses de janeiro, fevereiro e março constituem o verão austral que compõe o período chuvoso no sul do Amazonas. (GAN et al., 2004). Este período é regido principalmente pela atuação dos fenômenos de Zona de Convecção do Atlântico Sul (ZCAS), dos Sistemas de Monção da América do Sul (SMAS) e atuação da Alta da Bolívia. Nessa estação, a precipitação ao longo do dia se configura de forma mais uniforme, onde são verificadas as maiores frequências à 1 h e 7 h com máxima frequência às 4 h da manhã. Por outro lado, no intervalo da tarde, entre 13 e 15 h, ocorrem as frequências secundárias. As

menores frequências acontecem às 12 h. Além disso, no verão, a intensidade de chuvas configura-se como fraca, seguida por chuvas de intensidade moderada e forte, sem registro de eventos de intensidade muito forte (PEDREIRA JUNIOR et al., 2018).

Assim, o comportamento horário do IUV é fortemente influenciado pelo período e pela frequência relativa de chuvas da região, o qual é regido fundamentalmente pela incursão do SMAS, pela ZCAS e pela Alta da Bolívia (AB) (GAN et al., 2004). Ou seja, a entrada da RUV sofre interferência devido a formação de nuvens de tempestades, as quais dão origem às chuvas convectivas e, conseqüentemente, menores valores de radiação solar e de IUV (MARTINS et al., 2014).

Nos meses de abril e maio, a tendência central do IUV é também crescente para ambos. No mês de abril, cresce até as 12 h e, logo em seguida, decai. A variabilidade horária tem início às 9 h e se propaga até as 15 h. A maior flutuação para este mês se dá às 14 h com amplitude interquartil variando de 0 a 5. Além disso, tem o IUV máximo registrado às 13 h onde 25 % dos IUVs medem entre 6 e 9 (Figura 4c). Em maio (Figura 4d), observa-se que às 11 e 13 h apresentam a maior flutuação interquartil variando de 1 a 5, as quais são iguais. Neste mês, o IUV máximo é alcançado às 11 h onde são observados IUVs entre 5 e 6, que totalizam 25 % da amostra. Este máximo é constante até as 13h.

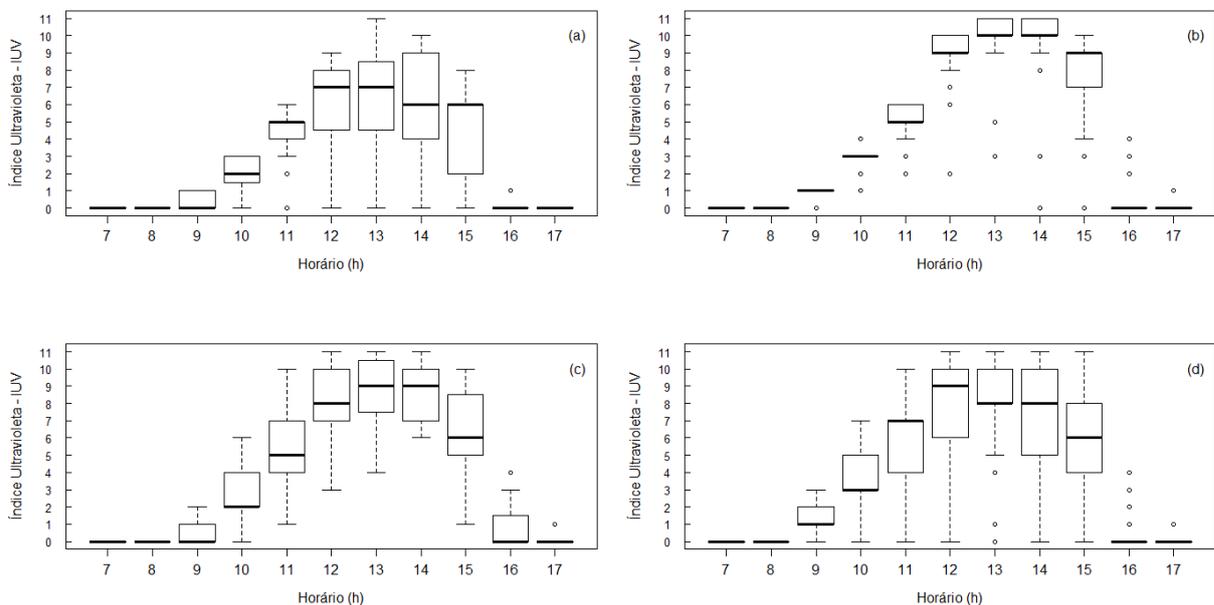
Ainda na Figura 4, observa-se que as flutuações interquartis verificadas até as 13 h do mês de abril são menores que as do mês de março. Por outro lado, as do mês de maio são menores ou iguais às do mês de abril. Esse comportamento verificado para os IUVs nos meses de abril e maio sofre influência da formação de Sistemas Convectivos de Mesoescalas (SCM). Tais SCMs surgem da sistematização da convecção local que carregam propriedades cumuliformes, encobrendo extensa área espacial e desencadeando chuvas moderadas (TOTA et al., 2000).

Pedreira Junior et al. (2018) verificaram que a precipitação no outono é mais frequente no final da madrugada e início do período da manhã. As menores frequências no outono ocorrem das 9 às 13 h, com mínimas às 12 h. Ainda segundo os autores, no outono cerca de 62 % da série registra predominância de chuvas com intensidade fraca, enquanto que os eventos com categoria moderada figuram 36 %, e de forte intensidade, apenas 2 %.

3.3. Variabilidade Horária Mensal do IUV no Período Seco

O mês de junho encerra o outono e dá início ao período seco na região sul do Amazonas. Na Figura 5a pode-se observar que até por volta das 10 h o IUV sofre ainda influência da precipitação originada pela formação de SCMs (TOTA et al., 2000). Contudo, a partir do mês de junho, verifica-se níveis mais elevados para o IUV depois do longo período chuvoso. A evolução temporal da mediana em junho se dá de forma crescente até as 13 h que, logo em seguida, sofre decaimento. O IUV máximo ocorre às 13 h, quando 25 % dos IUVs observados representam índices entre 8,5 e 11. Às 14 h, observa-se a maior amplitude interquartil com mediana igual a 6 numa distribuição com assimetria positiva. Além disso, às 15 h, tem-se uma distribuição com assimetria negativa onde 75 % dos dados observados para esta hora estão entre 0 e 6. Nesta distribuição, a tendência central é igual a 6. Às 16 h, o IUV se reduz abruptamente quando, praticamente, 100 % da amostra traduz índices iguais a 0 (Figura 5a).

Figura 5 - Variabilidade horária mensal do índice UV na cidade de Humaitá, Amazonas. Em (a): junho de 2020; (b) julho de 2020; (c) agosto de 2020 e (d) setembro de 2020.



Fonte: Acervo dos autores (2020).

Os meses de julho, agosto e setembro integram o período seco no sul do Amazonas e compõem o inverno austral. Nesse período, constatou-se uma evolução temporal crescente do segundo quartil até as 13 h com exceção para setembro que vai até as 12 h. Observa-se

uma queda abrupta ao passar das 15 para as 16 h para ambos os meses. O IUV máximo marcado para cada mês do período é igual a 11, sendo que: (i) em julho (Figura 5b), 75 % das observações realizadas às 13 h compreendem IUVs entre 10 e 11, repetindo-se às 14 h; (ii) em agosto (Figura 5c), 25 % representam IUVs entre 10 e 11 às 12 h, 10,5 e 11 às 13 h e 10 e 11 às 14 h; (iii) em setembro (Figura 5d), 25 % das medidas dos IUVs estão entre 10 e 11 das 12 às 14 h e entre 8 e 11 às 15 h.

Ainda na Figura 5, a variabilidade horária tem início às 11 h e se estende até as 15 h para o mês de julho (Figura 5b). Em agosto, esta variação se propaga das 9 às 16 h (Figura 5c). Já em setembro, entre 9 e 15 h, é observada a variabilidade horária (Figura 5d). O mês de julho apresenta a menor variabilidade horária, onde a maior amplitude interquartil acontece às 15 h abrangendo IUVs de 7 a 9. Em agosto e setembro, as variações interquartílicas são maiores comparadas às de julho (Figura 5).

Assim, os IUVs foram mais elevados para o período seco comparado aos observados no período chuvoso. Segundo Pedreira Junior et al. (2018), a predominância da precipitação no inverno ocorre no intervalo da tarde entre as 15 e 16 h. Os eventos secundários se dão às 7 e 8 h. Essas baixas frequências estão associadas à circulação da baixa troposfera que se movimenta mais ao norte do cavado equatorial provocando o deslocamento do ramo descendente da Célula de Hadley sobre a Amazônia, dada à máxima convecção tropical dirigir-se para a América Central nesta época do ano (SOUZA et al., 2005; FISCH, 1999). Além disso, há também eventos de precipitação originadas por convecção local devido ao forte aquecimento superficial, isso, geralmente, quando ocorre, se dá por volta das 15 e 16 h. Assim, justifica-se, por exemplo, as quedas abruptas nos índices observados entre 15 e 16 h.

Um ponto que cabe destaque está vinculado à mínima dispersão horária dos IUVs medidos em julho (Figura 5b). De fato, mesmo na presença de outliers, fica evidente que a tendência central sofre, minimamente, influência na presença destes. Contudo, são pontos observáveis e que se justificam pela passagem de nuvens que interferem na trajetória da radiação até o sensor, visto que nesta época do ano a formação e concentração de nuvens é menos frequente. Por outro lado, surgem ligeiramente questionamentos relativos a maior variabilidade horária para o IUV neste período, para os meses seguintes.

Um fator que pode contribuir e, portanto, explicar esta variabilidade é a emissão de partículas de aerossóis devido à prática de queimadas na Amazônia ser mais frequente neste

período. Isto conduz a emissões extremas desencadeando altas concentrações de material particulado na atmosfera e formando padrão típico de transporte de plumas de aerossóis de queimadas originadas na Amazônia (PAULIQUEVIS et al., 2007).

Os aerossóis provenientes de queimadas interagem diretamente com a radiação solar e, portanto, atenuam severamente a quantidade de radiação solar que atinge à superfície. De acordo com Procopio et al. (2004), em determinadas condições de contorno, os aerossóis originados de queimada chegam a minimizar em até 50 % a radiação fotossinteticamente ativa. Por outro lado, em altas concentrações de poluição atmosférica na China durante a estação seca, a RUV é atenuada em até 62 %, por volta do meio dia (DENG et al., 2012). Kylling et al. (1998) verificaram uma redução da RUV de 5 a 35 % se comparado a uma atmosfera limpa, o que causa redução do IUV.

A Região Amazônica vem sofrendo mudanças no padrão de uso do solo decorrentes de um processo de ocupação desestruturado. O estado de Rondônia, norte do Mato Grosso, sul e leste do Pará, e Tocantins representam o famoso "arco do desflorestamento", pois é o espaço no qual essa alteração é mais evidenciada devido à expansão de áreas agrícolas, de pastagem e, também, pela exploração madeireira (PAULIQUEVIS et al., 2007).

De acordo com o monitoramento operacional de focos de fogo ativo de queimadas e de incêndios florestais detectados pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, foram registrados para 2020 no Amazonas, nos meses de julho, agosto e setembro, nesta ordem, cerca de 2.119, 8.030 e 4.270 focos ativos (INPE, 2020b). Para a Região Norte, foram registrados 6.941, 27.304 e 26.828, respectivos, em julho, agosto e setembro também deste ano. Para o bioma amazônico, registraram-se 6.803 (julho), 29.307 (agosto) e 32.017 (setembro) focos ativos (INPE, 2020b). Assim, é possível que os IUVs obtidos nesta pesquisa possam até estar sendo subestimados, pois o recorte temporal da série obtida está contido no período em que foram observados os maiores picos de queimadas na Amazônia brasileira. Contudo, não minimiza em nada na importância do mesmo, pois este vem agregar informações extremamente relevantes para o meio científico e, sobretudo para subsidiar políticas públicas voltadas para a adoção de precauções ao se expor aos raios solares.

A RUV sofre forte influência dos aerossóis provenientes de queimadas, conforme destacado nos trabalhos de Deng et al. (2012) e Kylling et al. (1998). Num cenário mais geral, um efeito da presença intensa de aerossóis na atmosfera é reduzir significativamente a

irradiância, implicando em reduções prováveis no aquecimento superficial e, portanto, formando plumas de fumaça que podem se deslocar por grandes distâncias (ECK et al., 1998).

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O IUV na cidade de Humaitá durante o período observado (outubro de 2019 e setembro de 2020) apresentou maiores valores no inverno e depois na primavera, onde em junho e julho alcança IUV extremo às 13 h e, em outubro e novembro, entre 12 e 13 h. No verão e no outono, os índices UV são considerados de ação moderada. Assim, entre 7 e 9 h não há riscos de exposição a RUV ao longo do ano, não requerendo precauções ao se expor ao Sol. Contudo, recomenda-se à população que tenha a necessidade em se expor aos raios solares entre 10 e 14 h, que adote medidas tais como: usar camisa, protetor solar, chapéu, sendo que o ideal mesmo seria evitar exposição a RUV neste intervalo. Por fim, entre 15 e 17 h, há a necessidade de precaução indispensável apenas para os meses de junho a outubro.

Ressalta-se a necessidade por mais estudos que abarquem esta temática, pois é necessário dar maior sustentação na descrição desta variável, na qual residem inúmeras dificuldades em torno de seu monitoramento devido a escassez de sensores apropriados, por exemplo, as quais dificultam medidas com recorte temporal mais amplo permitindo, portanto, uma descrição mais detalhada.

AGRADECIMENTOS

Agradecemos o apoio da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas – FAPEAM através do incentivo à qualificação por meio do Edital Nº 012/2021 – POSGFE e a Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) - Código de Financiamento 001.

REFERÊNCIAS

ALVES, Péricles Vale; REIS, Luis Henrique Souza; Querino, Carlos Alexandre Santos; MOURA, Marcos Antônio Lima; FEITOSA JÚNIOR, Adalcir Araújo; MARTINS, Paulo André da Silva. Uso do Arduíno como um sistema alternativo para medir radiação solar global e práticas educacionais. **Revista Brasileira de Ensino de Física**, São Paulo, v. 42, p. 1-7, 2020.

BEDAQUE, Paulo. O sol está sempre a pino ao meio-dia? **Revista Brasileira de Ensino de Física**, v. 42, p. 1-13, 2020.

BORNMAN, Janet F.; BARNES, Paul W.; ROBSON, T. Matthew; ROBINSON, Sharon A.; JANSEN, Marcel A. K.; BALLARÉ, Carlos L.; FLINT, Stephan D. Linkages between stratospheric ozone, UV radiation and climate change and their implications for terrestrial ecosystems. **Photochemical & Photobiological Sciences**, v. 18, n. 3, p. 681-716, 2019.

CORRÊA, Marcelo de Paula. Solar ultraviolet radiation: properties, characteristics and amounts observed in Brazil and South America, **An Bras Dermatol**, v. 90, n. 3, p. 297-313, 2015.

DENG, XueJiao; ZHOU, XiuJi; TIE, XueXi; WU, Dui; LI, Fei; TAN, HaoBo; DENG, Tao. Attenuation of ultraviolet radiation reaching the surface due to atmospheric aerosols in Guangzhou. **Chinese Science Bulletin**, Springer, v. 57, n. 21, p. 2759–2766, 2012.

DIFFEY, Brian. Solar ultraviolet radiation effects on biological systems. **Physics in medicine & biology**, IOP Publishing, v. 36, n. 3, p. 299, 1991.

DIFFEY, Brian. Sources and measurement of ultraviolet radiation. **Methods**, Elsevier, v. 28, n. 1, p. 4–13, 2002.

DIFFEY, Brian; JANSÉN, C T; URBACH, F; WULF, H C. The standard erythema dose: a new photobiological concept. **Photodermatology, photoimmunology & photomedicine**, Wiley Online Library, v. 13, n. 1-2, p. 64–66, 1997.

ECK, Thomas F.; HOLBEN, Brent N.; SLUTSKER, ILYA; SETZER, Alberto. Measurements of irradiance attenuation and estimation of aerosol single scattering albedo for biomass burning aerosols in Amazonia. **Jour. Geophys. Res.**,103 (D-24), 31865-31878, 1998.

ESCOBEDO, João. Francisco; Gomes, Eduardo Nardini; OLIVEIRA, Amauri Pereira de; SOARES, Jacyra. Ratios of UV, PAR and NIR components to global solar radiation measured at Botucatu site in Brazil. **Renewable Energy**, Elsevier, v. 36, n. 1, p. 169–178, 2011.

FISCH, Gilberto. Camada limite amazônica: aspectos observacionais e de modelagem. **Revista Brasileira de Geofísica**, SciELO Brasil, v. 17, n. 1, p. 85–86, 1999.

GAN, Manoel Alonso; KOUSKY, Vernon; ROPELEWSKI, Chester. The South America monsoon circulation and its relationship to rainfall over west-central Brazil. **Journal of Climate**, v. 17, n. 1, p. 47–66, 2004.

GIES, Peter; DEVENTER, Emilie van; GREEN, Adèle; SINCLAIR, Craig; TINKER, Rick. Review of the global solar uv index 2015 workshop report. **Health Physics**, Wolters Kluwer Health, v. 114, n. 1, p. 84-90, 2018.

GÓMEZ, Jenny Marcela Rodríguez; CARLESSO, Franciele.; VIEIRA, Luis Eduardo Antunes; SILVA, L. da. A irradiância solar: conceitos básicos. **Revista Brasileira de Ensino de Física**. Vol. 43, n. 3, p. e3312, 2018.

ICNIRP, INTERNATIONAL COMMISSION ON NON-IONIZING RADIATION PROTECTION. Guidelines on limits of exposure to ultraviolet radiation of wavelengths between 180 nm and 400 nm (incoherent optical radiation). **Health Physics**, v. 87, n. 2, p. 171-186, 2004.

INMET – Instituto Nacional de Meteorologia. **Normais Climatológicas do Brasil 1961–1990**. Brasília, DF, p. 465, 2009.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Radiação UV e Saúde Humana**. 2020a. Disponível em: <<http://satelite.cptec.inpe.br/uv/>>. Acesso em: 12 de jan. de 2020.

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Queimadas e Incêndios Florestais - Monitoramento Orbital e Risco de Fogo**. 2020b. Disponível em: <http://queimadas.dgi.inpe.br/queimadas/portalstatic/estatisticas_estados/>. Acesso em: 20 de out. de 2020.

KUMAR, Har D; HÄDER, Donat-P. **Global aquatic and atmospheric environment**. Springer Science & Business Media, 2012.

KYLLING, Arve; BAIS, Alkiviadis; BLUMTHALER, M.; SCHREDER, J.; ZEREFOS, C. S.; KOSMIDIS, E. Effect of aerosols on solar UV irradiances during the photochemical activity and solar ultraviolet radiation campaign. **Journal of Geophysical Research: Atmospheres**, Wiley Online Library, v. 103, n. D20, p. 26051–26060, 1998.

LEAL, Matheus; MANIESI, Vanderlei. Dinâmica de desflorestamento nos assentamentos extrativistas do município de Humaitá, Amazonas. **Revista de Geografia e Ordenamento do Território**. n. 14, p. 251-266, 2018.

LIMA, Nayara Almeida; ROMÃO, Thamires; MURARA, Pedro. Estudo preliminar sobre o câncer de pele no Brasil a partir de uma perspectiva geográfica. **HYGEIA - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde**, v. 17, p. 71 - 80, 4 abr. 2021

MARTINS, Paulo André da Silva. **Normais climatológicas, balanço hídrico e classificação climática para a mesorregião sul do Amazonas**. 2019. Dissertação (Mestrado em Ciências Ambientais) – Instituto de Educação, Agricultura e Ambiente, Universidade Federal do Amazonas, Amazonas, 2019.

MARTINS, Paulo André da Silva; QUERINO, Carlos Alexandre Santos; PAVÃO, Vagner Marques; QUERINO, Juliane Kayse Albuquerque da Silva; MACHADO, Nadja Gomes; BIUDES, Marcelo Sacardi. Verificação da turbidez atmosférica em Humaitá-AM. **EDUCAmazônia**, v. 12, n. 1, p. 86–98, 2014.

MAUCERI, Steffen; PILEWSKIE, Peter; RICHARD, Erik; CODDINGTON, Odele; HARDER, Jerald; WOODS, Tom. Revision of the sun’s spectral irradiance as measured by SORCE SIM. **Solar Physics**, Springer, v. 293, n. 12, p. 1-23, 2018.

MOURA, Aryanne Resende de Melo; QUERINO, Carlos Alexandre Santos; QUERINO, Juliane Kayse Albuquerque da Silva; PEDREIRA JUNIOR, Altemar Lopes; SANTOS, Luiz Octavio Fabricio dos; MACHADO, Nadja Gomes; BIUDES, Marcelo Sacardi. Impact of a dam construction on the surface biophysical parameters in amazonia. **Remote Sensing Applications: Society and Environment**. Vol. 15, n.100243, 2019.

NEVES, Alana Kasahara; KÖRTING, Thales Sehn; FONSECA, Leila Maria Garcia; ESCADA, Maria Isabel Sobral. Assessment of TerraClass and MapBiomas data on legend and map agreement for the Brazilian Amazon biome. **Acta Amazônica**. v. 50, n. 2, p. 170-182, 2020.

OKUNO, Emico.; VILELA, Maria Aparecida Constantino. **Radiação ultravioleta: características e efeitos**. Editora Livraria da Física, 2005.

OLIVEIRA, Marcia Maria Fernandes de. Radiação Ultravioleta/Índice Ultravioleta e câncer de pele no Brasil: Condições ambientais e vulnerabilidades sociais. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 13, n. 9, Curitiba, jul./dez. 2013.

PARRA, René; CADENA, Eliana; FLORES, Camila. Maximum UV index (2010-2014) in Quito (Ecuador) and its trend inferred from remote sensing data (1979-2018). **Atmosphere**, v. 10, 787, p. 1-17, 2019.

PAULIQUEVIS, Theotonio; ARTAXO, Paulo; OLIVEIRA, Paulo Henrique; PAIXÃO, Melina. O papel das partículas de aerossol no funcionamento do ecossistema amazônico. **Ciência e Cultura**, São Paulo, v. 59, n. 3, p. 48-50, 2007.

PEDREIRA JUNIOR, Altemar Lopes; QUERINO, Carlos Alexandre Santos; QUERINO, Juliane Kayse Albuquerque da Silva; SANTOS, Luiz Octavio Fabricio dos; MOURA, Aryanne Resende de Melo; MACHADO, Nadja Gomes; BIUDES, Marcelo Sacardi. Variabilidade horária e intensidade sazonal da precipitação no município de Humaitá-AM. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 22, p. 463-475, 2018.

PONTES, Raimundo Vitor Ramos; NORONHA, Marconde Carvalho de; PONTE, Kelem Rodrigues de Melo. Desflorestamento no sul do Amazonas: embate entre o desenvolvimento econômico e a conservação ambiental. **Parcerias Estratégicas**, Brasília, DF, Vol. 21, n. 42, p. 61-88, 2016.

PROCOPIO, Aline Sarmiento; ARTAXO, Paulo; KAUFMAN, Yoram; REMER, Lorraine; SCHAFER, Joel; HOLBEN, Brent. Multiyear analysis of Amazonian biomass burning smoke radiative forcing of climate. **Geophysical Research Letters**, Wiley Online Library, v. 31, n. 3, p. 1-4, 2004.

R CORE TEAM. R: A Language and Environment for Statistical Computing. Vienna, Austria, 2019. Disponível em: <<https://www.R-project.org/>>.

RAI, Kshama; AGRAWAL, S. B. Effects of UV-B radiation on morphological, physiological and biochemical aspects of plants: an overview. **J Sci Res**, v. 61, p. 87-113, 2017.

SALATI, Eneas; SANTOS, Ângelo Augusto dos; KLABIN, Israel. Relevant environmental issues. **Estudos Avançados**. Vol. 21, n. 56, p. 107-127, 2007.

SOUZA, Everaldo Barreiros de; KAYANO, Mary Toshie; AMBRIZZI, Tércio. Intraseasonal and submonthly variability over the eastern amazon and northeast brazil during the autumn rainy season. **Theoretical and Applied Climatology**, Springer, Áustria v. 81, n. 3-4, p. 177-191, 2005.

TAN, Kok Chooi; LIM, Hwee San; JAFRI, Mphd Zubir Mat. Study on solar ultravioleta erythemal dose distribution over Peninsular Malaysia using ozone monitoring instrument. **The Egyptian Journal of Remote Sensing and Space Sciences**, v. 21, p. 105-110, 2018.

TERAMOTO, Érico Tadao; SANTOS, Cícero Manoel dos; ESCOBEDO, João Francisco; PAI, Alexandre Dal; SILVA, Silvia Helena Modenese Gorla da. 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.

THORNTHWAITE, C. W.; MATHER, J. R. The water balance. publ. **Climatology-Drexellnst. of Tech., Lab. of Clim**, v. 8, n. 1, p. 104, 1955.

TOTA, Julio; FISCH, José Fuentes; OLIVEIRA, Paulo Jorge de; GARSTANG, Michael; HEITZ, Ryan; SIGLER, Jeffrey. Análise da variabilidade diária da precipitação em área de pastagem para a época chuvosa de 1999 - projeto TRMM/LBA. **Acta Amazônica**, SciELO Brasil, v. 30, n. 4, p. 629–629, 2000.

VAREJÃO, Mário Adelmo Silva. **Meteorologia e climatologia**. Brasília: INMET, 2000.

VIDOTTO, E.; PESSEDA, L. C. R.; RIBEIRO, A.S.; FREITAS, H. A.; BENDASSOLLI, J. A. Dinâmica do ecótono floresta-campo no sul do estado do Amazonas no Holoceno, através de estudos isotópicos e fitossociológicos. **ACTA Amazônica**, v. 37, p. 385–400, 2007.

WHO, World Health Organization. **Global solar UV index: a practical guide**, 2002.