

Construction of a new solar radiation profile and air temperature from known weather patterns for the city of Belém-PA

Construção de um novo perfil de radiação solar e temperatura do ar a partir de padrões climáticos conhecidos para a cidade de Belém-PA

Article Info:

Article history: Received 2023-01-08 / Accepted 2023-02-17 / Available online 2023-02-17

doi: 10.18540/jcecv19iss2pp15352-01e



Larissa dos Santos Borges

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-7809-978X>

Universidade Federal do Pará - UFPA, Brazil

E-mail: larissa.borges@ananindeua.ufpa.br

Jean Carlos de Almeida Nobre

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-8291-5092>

Universidade Federal do Pará - UFPA, Brazil

E-mail: jean.nobre@ananindeua.ufpa.br

David Lohan Pereira de Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6911-0377>

Universidade Federal do Pará - UFPA, Brazil

E-mail: david.sousa@ananindeua.ufpa.br

Luiz Claudio Fialho Andrade

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-1390-5661>

Universidade Federal do Pará - UFPA, Brazil

E-mail: lfialho@ufpa.br

Resumo

Nesta pesquisa manipulam-se cinco bases de dados diferentes, para obtenção de um novo perfil climático a partir de uma análise estatística da média, mínima, máxima e desvio padrão das variáveis de radiação solar e temperatura do ar para a cidade de Belém-PA. Existe um período de catalogação para cada arquivo climático, sendo quatorze anos de coleta de dados no TMY (2007-2021), vinte e quatro anos no SWERA (1973-1997), treze anos no IWEC (1982-1995), um ano no TRY (1964) e no INMET (2010). A variabilidade da coleta amostral, permitiu realizar uma simulação mais precisa dos valores médios das variáveis estudadas. A disposição dos dados climatológicos no acervo dos arquivos utilizados necessita de um tratamento estatístico a fim de viabilizar o seu uso em pesquisas e simulações na área de desempenho térmico e eficiência energética. Nessa área, uma das dificuldades enfrentadas pelos pesquisadores é a escolha do arquivo climático, desse modo, foi feita a análise de fontes distintas de coleta e extraído um novo conjunto de dados. Foi simulado com auxílio do *software OpenStudio*, o comportamento das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido e das taxas de radiação solar direta e difusa para cada arquivo climático, no intuito utilizar medidas de centralidade e dispersão como parâmetros na obtenção e validação estatística do novo perfil.

Palavras-chave: Arquivos climáticos, *OpenStudio*, Radiação solar, Bulbo seco, Bulbo úmido.

Abstract

In this research, five different databases are manipulated to obtain a new climate profile based on a statistical analysis of the average, minimum, maximum and standard deviation of the variables of solar radiation and air temperature for the city of Belém-PA. There is a cataloging period for each

climate file, in TMY (2007-2021). There are fourteen years of data collection, SWERA (1973-1997) twenty-four years, IWEC (1982-1995) thirteen years, TRY (1964) one year and INMET (2010) one year. The variability of sample collection allowed a more accurate simulation of the mean values of the studied variables. The provision of climatological data in the collection of files used requires statistical treatment in order to enable its use in research and simulations in the area of thermal performance and energy efficiency. In this area, one of the difficulties faced by the researchers is the choice of the climate file, thus, the analysis of different sources of collection was carried out and a new set of data was extracted. The behavior of dry bulb and wet bulb temperatures and direct and diffuse solar radiation rates for each climate file was simulated using the OpenStudio software, in order to use centrality and dispersion measures as parameters in obtaining and statistically validating the new profile.

Keywords: Climatic archives, OpenStudio, Solar radiation, Dry bulb, Wet bulb.

1. Introdução

Belém é a capital do estado do Pará e tem uma área de 1.064,918 km². O clima característico da região é o equatorial úmido, que possui altas temperaturas e altos índices pluviométricos. Tal aspecto reflete em uma discussão acerca dos níveis de satisfação térmica na capital.

A determinação quantitativa dos fenômenos climáticos urbanos e as peculiaridades térmicas de uma cidade, seu paralelismo com inúmeros outros fatores internos e externos, dá subsídio a projetos de planejamento urbano, favorecendo a melhoria da qualidade de vida de seus habitantes (Oke, 1987). O presente estudo, visa analisar os aspectos climatológicos dessa região através do tratamento estatístico a fim de viabilizar as pesquisas que utilizam esses dados em simulações termo energéticas e implementações de sistemas de condicionamento de ar.

O conhecimento das condições climáticas externas é indissociável do estudo de desempenho térmico de edificações. Porém, um dos obstáculos enfrentados por pesquisadores da área, está relacionado à seleção do arquivo climático. Algumas imprecisões na coleta de dados podem ser constatadas por diversos fatores, quando a estação climática está localizada nos aeroportos das cidades o registro pode ser comprometido pela necessidade de análise do microclima da região. A interrupção repentina da coleta dos dados e possíveis defeitos nos equipamentos de medição, também são fatores que prejudicam a confiabilidade dos dados (SCHELLER et al., 2015).

Ao utilizar diferentes arquivos climáticos, é possível obter resultados precisos e confiáveis que são fundamentais para a tomada de decisões no projeto. Nesse estudo, foram utilizados cinco arquivos climáticos para extração de novos perfis de temperatura do ar e radiação solar na cidade de Belém-PA, o *Typical Meteorological Year* (TMY), os projetos *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA), *International Weather for Energy Calculations* (IWEC), as bases coletadas do *Test Reference Year* (TRY) e do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET).

O novo perfil foi validado estatisticamente por meio da análise comparativa entre o novo conjunto de informações e os dados climáticos do *Climate-Data.Org* que possui mais de 220 milhões de pontos de dados e conta com uma resolução de 30 segundos de arco (LIMA E OLIVEIRA, 2021). Essa plataforma utiliza dados climatológicos de todo o mundo cuja coleta foi realizada durante trinta anos. A comparação foi obtida através da observação da regressão linear média, a fim de obter o índice de correlação entre o novo modelo climático deste estudo e o do *Climate-Data*, que fornece informações precisas e confiáveis sobre as condições climáticas em todo o mundo. A plataforma reúne dados de diversas fontes, incluindo estações meteorológicas, satélites, boias oceânicas, entre outras, e os disponibiliza em formato digital. Esses dados são geralmente coletados por meio de instrumentos de medição precisos e calibrados, o que garante a sua confiabilidade. Além disso, eles são registrados em intervalos regulares, permitindo criação de séries temporais que podem ser usadas para avaliar tendências e padrões climáticos ao longo do tempo.

2. Referencial teórico

2.1 Arquivos climáticos

Consistem em bancos de dados climáticos cujo conhecimento é importante, pois configura o requisito básico para elaboração de qualquer projeto bioclimático. O banco de dados é um arranjo organizado de informações - ou dados - estruturadas, geralmente armazenadas eletronicamente em sistemas computacionais (ORACLE, 2014). Os arquivos climáticos são dados meteorológicos coletados ao longo do tempo, que incluem informações sobre temperatura, umidade, velocidade do vento, radiação solar e outras variáveis climáticas.

TMY: O *Typical Meteorological Year* (TMY) é uma base de dados amplamente aplicada na área de energia solar, principalmente no dimensionamento de plantas de geração fotovoltaica. Os arquivos TMY, são usados em muitos setores para realizar pesquisas que requerem a manipulação de dados climatológicos, nas quais, o cálculo envolvendo muitos anos de coleta seria bastante demorado e trabalhoso. No entanto, tem-se à disposição *softwares* gratuitos e de código aberto como o *EnergyPlus* e o *OpenStudio* que realizam esses cálculos de maneira eficaz.

SWERA: O projeto *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA) teve início em 2001 com intuito de prestar informações solares e de vento. Hodiernamente, associado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) e o Laboratório de Energia Solar da Universidade Federal de Santa Catarina (LABSOLAR/UFSC), disponibiliza arquivos climáticos próprios e com extensão TMY.

Sousa, Nobre e Andrade (2022) realizaram tratamento estatístico e simulação térmica na cidade de Belém-PA utilizando o arquivo climático do projeto SWERA fazendo comparações com os dados da *Climate-Data* e obtiveram pouca variação – abaixo de 2° C – entre as bases, fato que indicou boa confiabilidade no projeto.

IWEC: O *International Weather for Energy Calculations* (IWEC) é resultado de um Projeto de Pesquisa - ASHRAE 1015 - conduzido pela *Numerical Logics and Bodycote Materials Testing*. Os dados IWEC são arquivos climáticos típicos adequados para utilização em programas de simulação de termoenergética para 227 locais fora dos EUA e Canadá (LBNL, 2015).

TRY: As séries de dados TRYs (*Test Reference Year*) correspondem a um ano de dados médios para determinado local. Esses arquivos têm a propriedade de assistir comparações de desempenho de diferentes tipos de sistemas de energia, configurações e locais. Projetistas e instaladores de sistemas de energia e ar-condicionado o utilizam com muito mais facilidade. Atualmente, encontram-se à disposição arquivos climáticos TRY para quatorze cidades brasileiras: Belém, Brasília, Curitiba, Florianópolis, Fortaleza, Maceió, Natal, Porto Alegre, Recife, Rio de Janeiro, Salvador, São Luís, São Paulo e Vitória.

INMET: Esta coleção de arquivos foi desenvolvida por Maurício Roriz, baseada na observação de horários específicos, registrados em 411 estações climatológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) entre os anos de 2000 e 2010 (RORIZ, 2012). Os arquivos originais da base INMET disponibilizam as seguintes variáveis: temperatura do ar, umidade relativa, temperatura do ponto de orvalho, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, pluviosidade e irradiância global sobre o plano horizontal. Os dados medidos nas estações automáticas do INMET são apresentados ao público no *site* do Instituto.

2.2 Softwares de simulação e análise estatística

OpenStudio: Consiste em um leque de ferramentas multiplataformas fornecidas pela *National Renewable Energy Laboratory* (NREL). Nesta análise, foi utilizado o *OpenStudio Application* que permite realizar a leitura de arquivos climáticos nas extensões “.epw” e “.ddy”, a fim de simular o comportamento termoenergético das regiões.

Past: O *PaSt* (*Palaeontological Statistics*) é um *software* de análise estatística desenvolvido por Oyvind Hammer, da Universidade de Oslo (Noruega) e colaboradores. O programa é gratuito e constantemente atualizado. Sua interface é bastante intuitiva para realizar a manipulação de dados e plotagem, entres outras funções.

3. Caracterização do território

A cidade de Belém está situada no estado do Pará, pertencente à região Norte do Brasil, suas coordenadas geográficas são: latitude 01° 27' 21" S, longitude 48° 30' 16" W e altitude de 10 m. O clima da região é quente e úmido, a precipitação média anual alcança os 2.834 mm. Encontra-se na zona climática “Afi” (Cf. Classificação de *Koppen* (1948)), que coincide com o clima de floresta tropical, continuamente úmido, não possui estação fria e a temperatura do mês menos quente está acima de 18 °C (BELÉM, 2012). A localização da Estação Meteorológica do território é mostrada na Figura 1.

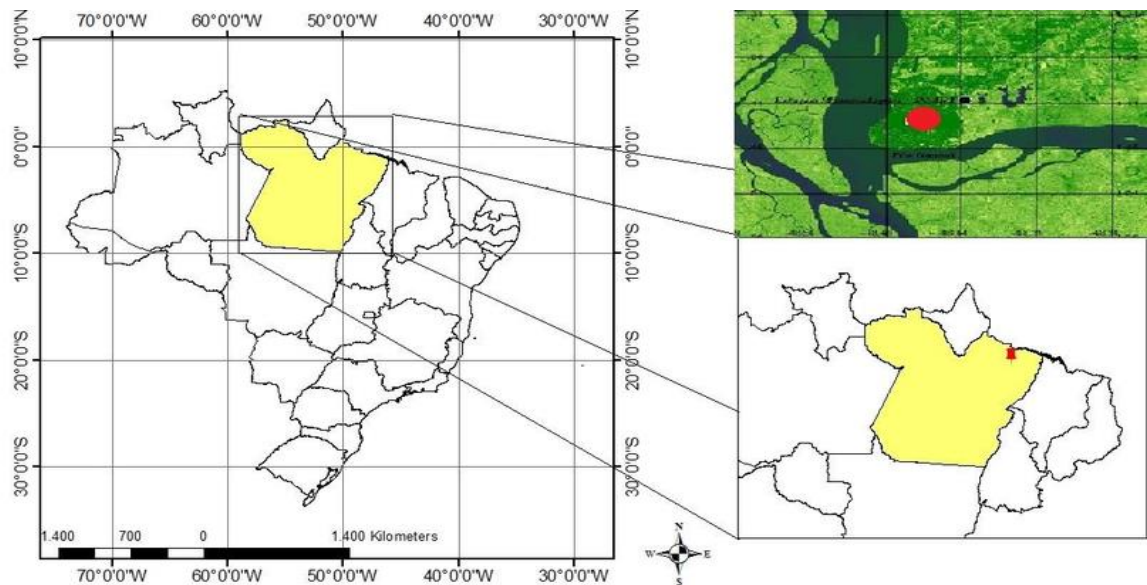


Figura 1 – Localização geográfica da estação meteorológica de Belém-PA. Fonte: (Santos et al., 2012).

4. Metodologia

Os arquivos climáticos analisados (TMY, SWERA, IWEC, TRY e INMET) foram baixados de forma *online* nos endereços *web* do *EnergyPlus* – SWERA e IWEC – e do Laboratório de Eficiência Energética em Edificações (LabEEE) no caso dos arquivos TRY, TMY e INMET. A simulação foi feita com o *software OpenStudio* na versão mais recente (*v3.5.1*), com os arquivos lidos em extensões “.*epw*” e “.*ddy*” na aba *site* do programa.

O tratamento estatístico é realizado através do cálculo da média horária, diária, mensal e anual segundo a disposição dos dados expressos em cada arquivo climático. O *software PaSt* na versão 4.10, auxiliou no cálculo da média para geração do novo perfil, sua escolha se deu pela possibilidade de manipular estatisticamente uma grande quantidade de dados numéricos gerando resultados rápidos e precisos. A disposição dos dados expressos em cada arquivo climático é fundamental para a realização do tratamento estatístico adequado. Os dados precisam ser organizados de uma forma que permita aos pesquisadores a identificação de informações relevantes e remoção de “outliers” para calcular as médias de forma precisa. As médias para os novos perfis foram calculados através da Eq 1.

$$M = \frac{\sum_{i=1}^n Xi}{n} \quad (1)$$

Na Equação 1, X_i corresponde ao somatório dos termos numéricos e n é o número total de termos. A interface do programa é bastante intuitiva e fácil de utilizar, conforme a Figura 2.

| Type | Color | Symbol | Name | Estações | Média | Mínima | Máxima | Desvio Padrão |
|-----------|------------|---------|-----------|----------|---------|---------|---------|---------------|
| Name | Black | Dot | Mês | Estações | Média | Mínima | Máxima | Desvio Padrão |
| Janeiro | Darkorange | Image 1 | Janeiro | V | 26.2351 | 21.5 | 33.4083 | 2.6177 |
| Fevereiro | Darkorange | Image 1 | Fevereiro | V | 26.052 | 22.5 | 33.6417 | 2.4674 |
| Março | Limegreen | Image 3 | Março | O | 26.4061 | 23.9 | 31.4167 | 1.6379 |
| Abril | Limegreen | Image 3 | Abril | O | 26.7316 | 23.9417 | 31.2833 | 1.6219 |
| Maio | Limegreen | Image 3 | Maio | O | 26.8716 | 23.2917 | 33.1667 | 2.6495 |
| Junho | Blue | Image 2 | Junho | I | 27.0919 | 22.7 | 33 | 2.9388 |
| Julho | Blue | Image 2 | Julho | I | 27.1097 | 22.5833 | 32.85 | 2.8669 |
| Agosto | Blue | Image 2 | Agosto | I | 27.3951 | 22.825 | 33.6833 | 2.9703 |
| Setembro | Red | Image 4 | Setembro | P | 27.752 | 23.5833 | 34.6417 | 3.0143 |
| Outubro | Red | Image 4 | Outubro | P | 27.574 | 23 | 33.8917 | 3.0638 |
| Novembro | Red | Image 4 | Novembro | P | 28.0925 | 23.0833 | 34.2 | 2.874 |
| Dezembro | Darkorange | Image 1 | Dezembro | V | 27.1649 | 22.7 | 33.5833 | 2.7249 |
| Anual | | Dot | Anual | A | 27.0433 | 21.5 | 34.6417 | 2.7285 |

Figura 2 – Interface do software PaSt. Fonte: Autores, (2023).

O tratamento estatístico foi realizado a partir dos resultados gerados pelo software *OpenStudio* para os períodos mensais e anuais correspondentes a cada base de coleta. Os dados extraídos diretamente do programa são desorganizados e confusos visualmente, sendo necessário um filtro rigoroso dos termos numéricos. Os novos perfis foram extraídos das variáveis de saída predefinidas durante a simulação no software: temperatura de bulbo seco, temperatura de bulbo úmido, fluxo de radiação solar difusa do local por área e fluxo de radiação solar direta do local por área.

Para medir o grau de dispersão dos dados numéricos, foi calculado o desvio padrão para cada mês, essa variável indica o quanto determinada série é uniforme. Logo, nos resultados de radiação direta e difusa, os valores do desvio padrão são elevados devido à heterogeneidade dos dados. A Equação 2 descreve essa medida.

$$DP = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - M)^2}{n}} \quad (2)$$

Na Equação 2, \sum indica a soma de todos os termos, desde a primeira posição ($i=1$) até a posição n , x_{i0} é valor na posição i , M é a média aritmética e n a quantidade de dados. Após a obtenção do novo perfil, os valores de temperatura média, mínima e máxima foram comparados com as referências da plataforma do banco de dados climáticos mundiais: *Climate-Data Org*. O confronto objetiva estabelecer um índice de correlação entre os dados, para isso foi feita uma análise regressão linear média, executada no software *PaSt* descrita pela Equação 3.

$$Y = a + b \cdot x \quad (3)$$

Na Equação 3, Y é a variável dependente a ser estimada, o coeficiente a é o intercepto, b é a inclinação, e x é a variável independente.

5. Resultados e discussões

5.1 Apuração dos resultados TMY

Após o procedimento estatístico equivalente a quatorze anos de coleta de dados (2007-2021), projetou-se os perfis climáticos da base de dados TMY para cada mês do ano na cidade de Belém-PA. A Tabela 1 mostra as temperaturas médias, mínimas e máximas de bulbo seco – que é a

temperatura indicada por um termômetro comum – em °C e o desvio padrão referente a esses dados. Observa-se no perfil anual, uma média de 27,04 °C, mínima de 21,50 °C, máxima de 34,64 °C e desvio padrão de 2,73 °C.

Tabela 1 – Temperatura de bulbo seco ao longo de 14 anos.

| Mês Ref. | Média(°C) | Mínima(°C) | Máxima(°C) | Desvio Padrão(°C) |
|-----------|-----------|------------|------------|-------------------|
| Janeiro | 26,23 | 21,50 | 33,40 | 2,61 |
| Fevereiro | 26,05 | 22,50 | 33,64 | 2,46 |
| Março | 26,40 | 23,90 | 31,41 | 1,63 |
| Abril | 26,73 | 23,94 | 31,28 | 1,62 |
| Mai | 26,87 | 23,29 | 33,16 | 2,64 |
| Junho | 27,09 | 22,70 | 33,00 | 2,93 |
| Julho | 27,10 | 22,58 | 32,85 | 2,86 |
| Agosto | 27,39 | 22,82 | 33,68 | 2,97 |
| Setembro | 27,75 | 23,58 | 34,64 | 3,01 |
| Outubro | 27,57 | 23,00 | 33,89 | 3,06 |
| Novembro | 28,09 | 23,08 | 34,20 | 2,87 |
| Dezembro | 27,16 | 22,70 | 33,58 | 2,72 |
| Anual | 27,04 | 21,50 | 34,64 | 2,73 |

Fonte: Autores, (2023).

A Tabela 2 mostra as temperaturas de bulbo úmido – que reflete as propriedades físicas de um sistema formado pela evaporação da água no ar – em °C e o desvio padrão. Nota-se em abrangência anual um perfil com média de 24,27 °C, mínima de 20,61 °C, máxima de 27,62 °C e desvio padrão de 1,05 °C.

Tabela 2 – Temperatura de bulbo úmido ao longo de 14 anos.

| Mês Ref. | Média(°C) | Mínima(°C) | Máxima(°C) | Desvio Padrão(°C) |
|-----------|-----------|------------|------------|-------------------|
| Janeiro | 23,99 | 20,61 | 26,80 | 1,15 |
| Fevereiro | 24,17 | 21,95 | 26,93 | 0,93 |
| Março | 24,67 | 23,04 | 26,76 | 0,76 |
| Abril | 24,95 | 23,39 | 26,92 | 0,70 |
| Mai | 24,43 | 22,49 | 26,76 | 0,93 |
| Junho | 23,74 | 21,64 | 26,80 | 0,93 |
| Julho | 23,91 | 21,65 | 26,79 | 1,06 |
| Agosto | 23,83 | 21,73 | 26,89 | 0,99 |
| Setembro | 23,93 | 22,34 | 26,40 | 0,92 |
| Outubro | 24,88 | 22,02 | 27,62 | 1,22 |
| Novembro | 24,23 | 22,29 | 26,65 | 0,91 |
| Dezembro | 24,37 | 21,85 | 26,78 | 1,04 |
| Anual | 24,27 | 20,61 | 27,62 | 1,05 |

Fonte: Autores, (2023).

A Tabela 3 mostra os valores, médios e máximos do fluxo de radiação solar difusa em W/m² e o desvio padrão para cada mês. A média de radiação difusa anual foi de 68,34 W/m² e a máxima de 396,92 W/m² e o desvio padrão de 86,58 W/m². Sob influência do pôr do sol, os fluxos de radiação solar direta e difusa tendem a zero (logo, o fluxo mínimo de 24 horas é de 0 W/m²).

Tabela 3 – Radiação solar difusa ao longo de 14 anos.

| Mês Ref. | Média(W/m ²) | Máxima(W/m ²) | Desvio Padrão (W/m ²) |
|-----------|--------------------------|---------------------------|-----------------------------------|
| Janeiro | 79,45 | 385,00 | 97,98 |
| Fevereiro | 76,77 | 360,66 | 95,72 |
| Março | 86,53 | 363,16 | 109,28 |
| Abril | 85,41 | 396,91 | 107,70 |
| Maio | 65,99 | 326,83 | 83,54 |
| Junho | 55,33 | 289,75 | 68,39 |
| Julho | 55,52 | 315,50 | 68,49 |
| Agosto | 55,18 | 233,50 | 65,17 |
| Setembro | 60,80 | 334,50 | 74,24 |
| Outubro | 64,07 | 347,08 | 77,40 |
| Novembro | 66,25 | 362,41 | 81,80 |
| Dezembro | 69,53 | 374,25 | 87,04 |
| Anual | 68,34 | 396,92 | 86,58 |

Fonte: Autores, (2023).

Na Tabela 4 ilustra-se o fluxo de radiação solar direta em W/m² e o desvio padrão. A média anual foi de 200,74 W/m², a máxima de 893,17 W/m² e o desvio padrão de 258,50 W/m².

Tabela 4 – Radiação solar direta ao longo de 14 anos.

| Mês Ref. | Média(W/m ²) | Máxima(W/m ²) | Desvio Padrão(W/m ²) |
|-----------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Janeiro | 158,63 | 767,91 | 208,09 |
| Fevereiro | 144,67 | 830,25 | 215,31 |
| Março | 104,10 | 650,50 | 159,24 |
| Abril | 111,44 | 715,33 | 158,12 |
| Maio | 186,76 | 789,00 | 239,06 |
| Junho | 232,26 | 802,16 | 274,80 |
| Julho | 240,18 | 825,58 | 281,15 |
| Agosto | 266,09 | 848,41 | 301,51 |
| Setembro | 259,03 | 868,50 | 298,85 |
| Outubro | 250,40 | 854,41 | 287,75 |
| Novembro | 247,74 | 893,16 | 283,78 |
| Dezembro | 203,82 | 849,16 | 261,01 |
| Anual | 200,74 | 893,17 | 258,50 |

Fonte: Autores, (2023).

5.2 Apuração dos resultados SWERA

Realizado o tratamento estatístico dos respectivos vinte e quatro anos (1973-1997), gerou-se os perfis climáticos do projeto SWERA para cada mês do ano na cidade de Belém-PA. A Tabela 5 mostra as temperaturas médias, mínimas e máximas de bulbo seco e o desvio padrão alusivo a este conjunto de informações numéricas. No perfil anual, foi obtida uma média de 26,47 °C, mínima de 21,92 °C, máxima de 35,54 °C e desvio padrão de 2,53 °C.

Tabela 5 – Temperatura de bulbo seco ao longo de 24 anos.

| Mês Ref. | Média(°C) | Mínima(°C) | Máxima(°C) | Desvio Padrão(°C) |
|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| Janeiro | 26,07 | 21,91 | 33,50 | 2,23 |
| Fevereiro | 25,53 | 22,00 | 31,58 | 1,95 |
| Março | 25,84 | 22,76 | 32,00 | 2,04 |
| Abril | 25,89 | 23,00 | 32,58 | 1,98 |
| Mai | 26,16 | 23,00 | 32,66 | 2,16 |
| Junho | 26,85 | 23,00 | 32,75 | 2,66 |
| Julho | 26,65 | 22,00 | 33,08 | 2,89 |
| Agosto | 26,76 | 22,41 | 35,54 | 2,81 |
| Setembro | 26,73 | 23,00 | 32,91 | 2,76 |
| Outubro | 27,15 | 22,00 | 33,12 | 2,76 |
| Novembro | 26,87 | 23,00 | 33,00 | 2,76 |
| Dezembro | 26,95 | 23,00 | 34,11 | 2,43 |
| Anual | 26,47 | 21,92 | 35,54 | 2,53 |

Fonte: Autores, (2023).

A Tabela 6 mostra as temperaturas de bulbo úmido em °C e o desvio padrão mensal e anual. No período anual, a média foi de 24,46 °C, a mínima de 19,36 °C, a máxima de 28,65 °C e o desvio padrão de 1,01 °C.

Tabela 6 – Temperatura de bulbo úmido ao longo de 24 anos.

| Mês Ref. | Média(°C) | Mínima(°C) | Máxima(°C) | Desvio Padrão(°C) |
|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| Janeiro | 24,55 | 21,61 | 27,80 | 1,02 |
| Fevereiro | 24,26 | 22,00 | 26,49 | 0,85 |
| Março | 24,40 | 22,27 | 26,70 | 0,81 |
| Abril | 24,49 | 22,27 | 26,74 | 0,80 |
| Mai | 24,65 | 22,69 | 27,74 | 0,94 |
| Junho | 24,45 | 21,87 | 27,14 | 0,86 |
| Julho | 24,22 | 21,28 | 27,87 | 1,07 |
| Agosto | 24,10 | 22,11 | 26,94 | 0,96 |
| Setembro | 24,44 | 20,07 | 26,80 | 1,01 |
| Outubro | 24,38 | 21,58 | 27,56 | 1,08 |
| Novembro | 24,32 | 19,35 | 26,56 | 1,07 |
| Dezembro | 25,17 | 22,90 | 28,64 | 1,09 |
| Anual | 24,46 | 19,36 | 28,65 | 1,01 |

Fonte: Autores, (2023).

A Tabela 7 apresenta o fluxo de radiação solar difusa em W/m² e o desvio padrão gerado. A média de radiação difusa anual foi de 117,20 W/m², a máxima de 625,50 W/m² e o desvio padrão de 147,86 W/m².

Tabela 7 – Radiação solar difusa ao longo de 24 anos.

| Mês Ref. | Média(W/m ²) | Máxima(W/m ²) | Desvio Padrão(W/m ²) |
|-----------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Janeiro | 127,90 | 617,58 | 160,74 |
| Fevereiro | 132,99 | 566,16 | 165,41 |
| Março | 130,65 | 548,25 | 163,33 |
| Abril | 119,86 | 564,75 | 151,14 |
| Mai | 113,70 | 510,50 | 142,25 |
| Junho | 97,93 | 482,16 | 122,89 |
| Julho | 97,31 | 517,91 | 121,07 |
| Agosto | 104,17 | 489,75 | 131,06 |
| Setembro | 115,12 | 607,50 | 143,73 |
| Outubro | 120,67 | 609,66 | 151,49 |
| Novembro | 123,01 | 556,41 | 153,84 |
| Dezembro | 124,27 | 625,50 | 154,91 |
| Anual | 117,20 | 625,50 | 147,86 |

Fonte: Autores, (2023).

A Tabela 8 mostra o fluxo de radiação solar direta em W/m² e o desvio padrão do arquivo SWERA. A média anual foi de 128,95 W/m², a máxima de 810,50 W/m² e o desvio padrão de 182,95 W/m².

Tabela 8 – Radiação solar direta ao longo de 24 anos.

| Mês Ref. | Média(W/m ²) | Máxima(W/m ²) | Desvio Padrão(W/m ²) |
|-----------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Janeiro | 93,78 | 704,33 | 140,71 |
| Fevereiro | 82,44 | 683,33 | 125,38 |
| Março | 86,89 | 690,75 | 134,02 |
| Abril | 98,08 | 735,00 | 150,69 |
| Mai | 117,82 | 759,00 | 172,36 |
| Junho | 154,76 | 755,25 | 204,04 |
| Julho | 169,41 | 730,16 | 218,68 |
| Agosto | 174,74 | 761,41 | 220,34 |
| Setembro | 154,64 | 810,50 | 202,70 |
| Outubro | 154,11 | 808,91 | 200,52 |
| Novembro | 140,10 | 720,66 | 190,39 |
| Dezembro | 117,22 | 704,25 | 163,70 |
| Anual | 128,95 | 810,50 | 182,95 |

Fonte: Autores, (2023).

5.3 Apuração dos resultados IWEC

Após a análise estatística realizada no período de treze anos (1982-1995), extraiu-se os perfis climáticos do projeto IWEC para a Belém-PA. A Tabela 9 exibe as temperaturas de bulbo seco e o desvio padrão relativo à coleta amostral. No plano anual, foi obtida uma média de 26,53 °C, mínima de 19,92 °C, máxima de 35,50°C e desvio padrão de 2,59 °C.

Tabela 9 – Temperatura de bulbo seco ao longo de 13 anos.

| Mês Ref. | Média(°C) | Mínima(°C) | Máxima(°C) | Desvio Padrão(°C) |
|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| Janeiro | 26,23 | 22,00 | 32,58 | 2,38 |
| Fevereiro | 25,58 | 22,00 | 31,23 | 2,06 |
| Março | 25,83 | 22,00 | 32,00 | 2,13 |
| Abril | 26,14 | 23,00 | 35,50 | 2,17 |
| Mai | 26,58 | 23,00 | 33,23 | 2,51 |
| Junho | 26,85 | 19,91 | 32,70 | 2,96 |
| Julho | 26,56 | 22,00 | 33,00 | 2,86 |
| Agosto | 26,78 | 22,75 | 33,00 | 2,84 |
| Setembro | 26,73 | 22,00 | 32,00 | 2,66 |
| Outubro | 27,14 | 22,65 | 33,00 | 2,70 |
| Novembro | 26,96 | 21,58 | 33,46 | 2,59 |
| Dezembro | 26,90 | 22,58 | 32,75 | 2,44 |
| Anual | 26,53 | 19,92 | 35,50 | 2,59 |

Fonte: Autores, (2023).

A Tabela 10 mostra as temperaturas de bulbo úmido em °C e o desvio padrão referente a cada mês. A média anual foi de 24,36 °C, a mínima de 19,92 °C, a máxima de 27,77 °C e o desvio padrão de 0,98 °C.

Tabela 10 – Temperatura de bulbo úmido ao longo de 13 anos.

| Mês Ref. | Média(°C) | Mínima(°C) | Máxima(°C) | Desvio Padrão(°C) |
|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|--------------------------|
| Janeiro | 24,52 | 22,00 | 26,90 | 1,02 |
| Fevereiro | 24,17 | 21,57 | 26,80 | 0,90 |
| Março | 24,44 | 21,79 | 27,48 | 1,01 |
| Abril | 24,64 | 22,83 | 27,76 | 0,82 |
| Mai | 24,61 | 22,86 | 26,81 | 0,83 |
| Junho | 24,27 | 19,91 | 26,54 | 1,03 |
| Julho | 23,92 | 20,88 | 25,91 | 0,94 |
| Agosto | 24,06 | 22,05 | 26,72 | 0,94 |
| Setembro | 24,25 | 21,50 | 26,70 | 1,09 |
| Outubro | 24,40 | 22,16 | 26,93 | 0,94 |
| Novembro | 24,44 | 21,17 | 26,57 | 0,96 |
| Dezembro | 24,56 | 22,45 | 26,72 | 0,89 |
| Anual | 24,36 | 19,92 | 27,77 | 0,98 |

Fonte: Autores, (2023).

Os fluxos de radiação solar difusa em W/m² e o desvio padrão gerado pelo arquivo climático IWEC encontram-se na Tabela 11. A média de radiação difusa anual foi de 122,45 W/m², a máxima de 579,33 W/m² e o desvio padrão de 156,39 W/m².

Tabela 11 – Radiação solar difusa ao longo de 13 anos.

| Mês Ref. | Média(W/m ²) | Máxima(W/m ²) | Desvio Padrão(W/m ²) |
|-----------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Janeiro | 128,95 | 522,16 | 162,09 |
| Fevereiro | 138,06 | 579,33 | 175,03 |
| Março | 139,03 | 576,58 | 174,07 |
| Abril | 132,42 | 541,83 | 166,96 |
| Maio | 116,15 | 486,58 | 149,39 |
| Junho | 103,66 | 495,91 | 132,39 |
| Julho | 102,83 | 475,16 | 129,46 |
| Agosto | 105,39 | 533,08 | 135,98 |
| Setembro | 121,49 | 480,25 | 152,21 |
| Outubro | 126,81 | 556,91 | 161,94 |
| Novembro | 127,38 | 550,25 | 161,32 |
| Dezembro | 128,77 | 546,25 | 163,21 |
| Anual | 122,45 | 579,33 | 156,39 |

Fonte: Autores, (2023).

Os fluxos de radiação solar direta em W/m² e o desvio padrão dessa seleção estão organizadas na Tabela 12. A média anual, em W/m², foi de 116,46 W/m², a máxima de 897,25 W/m² e o desvio padrão de 193,19 W/m².

Tabela 12 – Radiação solar direta ao longo de 13 anos.

| Mês Ref. | Média(W/m ²) | Máxima(W/m ²) | Desvio Padrão(W/m ²) |
|-----------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Janeiro | 70,58 | 748,83 | 149,21 |
| Fevereiro | 48,61 | 598,41 | 99,48 |
| Março | 61,66 | 643,25 | 127,36 |
| Abril | 66,31 | 613,91 | 125,74 |
| Maio | 112,36 | 884,08 | 197,11 |
| Junho | 144,90 | 834,25 | 219,75 |
| Julho | 166,33 | 809,25 | 226,69 |
| Agosto | 185,38 | 897,25 | 246,85 |
| Setembro | 161,23 | 777,66 | 215,32 |
| Outubro | 143,36 | 873,08 | 207,87 |
| Novembro | 124,35 | 789,83 | 193,32 |
| Dezembro | 106,97 | 829,75 | 178,99 |
| Anual | 116,46 | 897,25 | 193,19 |

Fonte: Autores, (2023).

5.4 Apuração dos resultados TRY

Para o arquivo TRY foi tratado estatisticamente um conjunto de dados numéricos correspondente ao período de um ano (1964), os perfis climáticos foram fornecidos para cada variável de temperatura do ar e radiação solar. A Tabela 13 elenca as temperaturas de bulbo seco e o desvio padrão relativo a esses dados. Anualmente, nas 8760 horas foi obtida uma média de 26,04 °C, mínima de 20,38 °C, máxima de 34,73 °C e desvio padrão de 2,93 °C.

Tabela 13 – Temperatura de bulbo seco ao longo de 1 ano.

| Mês Ref. | Média(°C) | Mínima(°C) | Máxima(°C) | Desvio Padrão(°C) |
|-----------|-----------|------------|------------|-------------------|
| Janeiro | 25,57 | 21,64 | 34,73 | 2,43 |
| Fevereiro | 25,35 | 22,02 | 31,45 | 2,14 |
| Março | 25,50 | 21,88 | 31,65 | 2,24 |
| Abril | 25,56 | 22,38 | 31,68 | 2,26 |
| Mai | 25,79 | 22,10 | 32,88 | 2,49 |
| Junho | 26,31 | 21,41 | 32,60 | 2,99 |
| Julho | 26,67 | 21,44 | 33,10 | 3,22 |
| Agosto | 26,68 | 21,44 | 33,65 | 3,48 |
| Setembro | 25,97 | 21,20 | 32,99 | 3,20 |
| Outubro | 26,16 | 20,78 | 32,79 | 3,27 |
| Novembro | 26,51 | 20,38 | 33,09 | 3,34 |
| Dezembro | 26,23 | 21,61 | 33,10 | 3,08 |
| Anual | 26,04 | 20,38 | 34,73 | 2,93 |

Fonte: Autores, (2023).

A Tabela 14 mostra as temperaturas de bulbo úmido em °C e o desvio padrão relacionado ao arquivo TRY. A média anual foi de 23,94 °C, a mínima de 19,85 °C, a máxima de 28,52 °C e o desvio padrão de 1,22 °C.

Tabela 14 – Temperatura de bulbo úmido ao longo de 1 ano.

| Mês Ref. | Média(°C) | Mínima(°C) | Máxima(°C) | Desvio Padrão(°C) |
|-----------|-----------|------------|------------|-------------------|
| Janeiro | 24,16 | 21,59 | 27,14 | 1,02 |
| Fevereiro | 24,06 | 21,67 | 28,00 | 1,04 |
| Março | 24,15 | 21,76 | 26,77 | 0,98 |
| Abril | 24,10 | 22,02 | 26,33 | 0,95 |
| Mai | 24,21 | 21,69 | 26,64 | 0,95 |
| Junho | 23,96 | 21,04 | 26,44 | 1,02 |
| Julho | 24,09 | 21,21 | 28,52 | 1,39 |
| Agosto | 24,08 | 21,16 | 28,09 | 1,53 |
| Setembro | 23,66 | 20,84 | 26,20 | 1,24 |
| Outubro | 23,47 | 20,37 | 26,37 | 1,31 |
| Novembro | 23,52 | 19,85 | 26,34 | 1,30 |
| Dezembro | 23,70 | 20,41 | 26,91 | 1,26 |
| Anual | 23,94 | 19,85 | 28,52 | 1,22 |

Fonte: Autores, (2023).

Os índices de radiação solar difusa em W/m² e o desvio padrão para os dados TRY encontram-se na Tabela 15. A média de radiação difusa anual foi de 114,29 W/m², a máxima de 457,83 W/m² e o desvio padrão de 144,90 W/m².

Tabela 15 – Radiação solar difusa ao longo de 1 ano.

| Mês Ref. | Média(W/m ²) | Máxima(W/m ²) | Desvio Padrão(W/m ²) |
|-----------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Janeiro | 121,56 | 440,08 | 151,22 |
| Fevereiro | 129,09 | 455,00 | 159,60 |
| Março | 131,96 | 457,83 | 161,41 |
| Abril | 129,07 | 452,41 | 157,98 |
| Maio | 122,80 | 432,66 | 149,09 |
| Junho | 108,44 | 411,75 | 135,30 |
| Julho | 99,70 | 414,33 | 126,26 |
| Agosto | 102,18 | 442,58 | 130,17 |
| Setembro | 92,41 | 446,16 | 123,29 |
| Outubro | 108,10 | 444,83 | 142,39 |
| Novembro | 115,56 | 440,41 | 147,23 |
| Dezembro | 111,77 | 423,91 | 143,46 |
| Anual | 114,29 | 457,83 | 144,90 |

Fonte: Autores, (2023).

Os índices de radiação solar direta em W/m² e o desvio padrão desta seleção estão elencados na Tabela 16. A média anual, em W/m², foi de 144,22 W/m², a máxima de 941,08 W/m² e o desvio padrão de 206,41 W/m².

Tabela 16 – Radiação solar direta ao longo de 1 ano.

| Mês Ref. | Média(W/m ²) | Máxima(W/m ²) | Desvio Padrão(W/m ²) |
|-----------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Janeiro | 125,18 | 831,25 | 178,50 |
| Fevereiro | 120,43 | 809,25 | 167,88 |
| Março | 121,78 | 815,41 | 174,95 |
| Abril | 116,38 | 922,75 | 172,77 |
| Maio | 93,090 | 666,00 | 145,17 |
| Junho | 109,36 | 687,25 | 174,57 |
| Julho | 149,95 | 677,58 | 205,62 |
| Agosto | 183,47 | 709,75 | 230,87 |
| Setembro | 250,68 | 941,08 | 306,31 |
| Outubro | 186,92 | 816,50 | 241,38 |
| Novembro | 138,26 | 619,50 | 179,42 |
| Dezembro | 134,20 | 727,58 | 195,06 |
| Anual | 144,22 | 941,08 | 206,41 |

Fonte: Autores, (2023).

5.5 Apuração dos resultados INMET

Para a base de dados do INMET foi tratado estatisticamente um conjunto de dados numéricos correspondente ao período de um ano (2010), os perfis climáticos foram gerados para cada variável pré-selecionada. A Tabela 17 apresenta as temperaturas de bulbo seco em °C e o desvio padrão correspondente. A média anual foi de 27,16°C, a mínima de 22,16 °C, a máxima de 34,18 °C e o desvio padrão de 2,78 °C.

Tabela 17 – Temperatura de bulbo seco ao longo de 1.

| Mês Ref. | Média(°C) | Mínima(°C) | Máxima(°C) | Desvio Padrão (°C) |
|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| Janeiro | 26,51 | 22,15 | 33,16 | 2,58 |
| Fevereiro | 26,98 | 23,20 | 33,72 | 2,72 |
| Março | 27,36 | 23,80 | 34,07 | 2,58 |
| Abril | 26,62 | 23,68 | 32,85 | 2,36 |
| Maio | 27,19 | 23,54 | 33,11 | 2,58 |
| Junho | 27,08 | 22,52 | 32,74 | 2,87 |
| Julho | 27,18 | 22,90 | 32,81 | 2,94 |
| Agosto | 27,39 | 22,75 | 33,77 | 2,98 |
| Setembro | 27,73 | 23,04 | 34,17 | 2,95 |
| Outubro | 27,51 | 22,68 | 33,57 | 2,92 |
| Novembro | 27,48 | 22,51 | 33,80 | 2,87 |
| Dezembro | 26,83 | 23,15 | 32,85 | 2,56 |
| Anual | 27,16 | 22,16 | 34,18 | 2,78 |

Fonte: Autores, (2023).

As temperaturas de bulbo úmido em °C e o desvio padrão relacionados ao arquivo INMET estão exemplificadas na Tabela 18. A média anual foi de 24,30 °C, a mínima de 21,40 °C, a máxima de 27,80 °C e desvio padrão de 1,01°C.

Tabela 18 – Temperatura de bulbo úmido ao longo de 1 ano.

| Mês Ref. | Média(°C) | Mínima(°C) | Máxima(°C) | Desvio Padrão (°C) |
|-----------------|------------------|-------------------|-------------------|---------------------------|
| Janeiro | 24,16 | 21,39 | 26,69 | 1,02 |
| Fevereiro | 24,62 | 22,51 | 27,13 | 1,03 |
| Março | 24,78 | 23,05 | 27,55 | 0,87 |
| Abril | 24,67 | 22,66 | 27,09 | 0,87 |
| Maio | 24,86 | 22,43 | 27,79 | 0,96 |
| Junho | 24,03 | 21,92 | 26,41 | 0,97 |
| Julho | 23,93 | 21,76 | 26,08 | 0,91 |
| Agosto | 23,99 | 21,64 | 26,47 | 0,99 |
| Setembro | 24,10 | 21,80 | 26,70 | 1,01 |
| Outubro | 24,11 | 21,44 | 26,42 | 0,98 |
| Novembro | 24,20 | 21,64 | 26,64 | 0,96 |
| Dezembro | 24,06 | 22,01 | 27,04 | 0,88 |
| Anual | 24,30 | 21,40 | 27,80 | 1,01 |

Fonte: Autores, (2023).

Os valores de radiação solar difusa em W/m² e o desvio padrão para essa série encontram-se na Tabela 19. A média de radiação difusa ao longo de um ano foi de 103,65 W/m², a máxima de 447,50W/m² e o desvio padrão de 140,83 W/m².

Tabela 19 – Radiação solar difusa ao longo de 1 ano.

| Mês Ref. | Média(W/m ²) | Máxima(W/m ²) | Desvio Padrão(W/m ²) |
|-----------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Janeiro | 110,84 | 434,33 | 146,87 |
| Fevereiro | 108,93 | 447,50 | 148,45 |
| Março | 111,76 | 443,16 | 150,78 |
| Abril | 103,83 | 434,50 | 144,23 |
| Maio | 95,87 | 413,16 | 133,89 |
| Junho | 85,71 | 389,58 | 119,36 |
| Julho | 87,14 | 390,83 | 123,14 |
| Agosto | 96,54 | 429,83 | 131,11 |
| Setembro | 108,95 | 441,00 | 146,17 |
| Outubro | 116,31 | 443,91 | 149,15 |
| Novembro | 113,76 | 432,50 | 147,39 |
| Dezembro | 104,69 | 419,50 | 141,50 |
| Anual | 103,65 | 447,50 | 140,83 |

Fonte: Autores, (2023).

Os indicadores de radiação solar direta em W/m² e o desvio padrão desse repertório são mostrados na Tabela 20. A média anual foi de 63,28 W/m², a máxima de 726,33 W/m² e o desvio padrão de 128,25 W/m².

Tabela 20 – Radiação solar direta ao longo de 1 ano.

| Mês Ref. | Média(W/m ²) | Máxima(W/m ²) | Desvio Padrão(W/m ²) |
|-----------|--------------------------|---------------------------|----------------------------------|
| Janeiro | 51,81 | 648,58 | 110,14 |
| Fevereiro | 53,59 | 569,25 | 112,42 |
| Março | 65,32 | 721,83 | 131,91 |
| Abril | 47,15 | 723,16 | 107,82 |
| Maio | 48,46 | 606,50 | 103,92 |
| Junho | 65,22 | 553,91 | 131,06 |
| Julho | 68,06 | 554,25 | 133,29 |
| Agosto | 85,41 | 688,08 | 159,17 |
| Setembro | 83,48 | 702,25 | 154,32 |
| Outubro | 70,76 | 726,33 | 136,04 |
| Novembro | 64,47 | 683,16 | 124,76 |
| Dezembro | 54,91 | 632,83 | 112,27 |
| Anual | 63,28 | 726,33 | 128,25 |

Fonte: Autores, (2023).

5.6 Novo perfil climático

A partir do rearranjo estatístico executado entre as cinco bases de dados climáticos distintas (TMY, SWERA, IWEC, TRY e INMET), foi originado o novo perfil para as temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido (em °C) e para os fluxos de radiação solar direta e difusa (em W/m²). A Figura 5 elenca os resultados gerados pela compilação dessas informações, na qual, percebe-se que a temperatura média anual de bulbo seco foi de 26,65 °C, a mínima de 21,17 °C, a máxima de 34,92 °C e o desvio padrão de 2,71 °C. As maiores e menores temperaturas estão relacionadas, respectivamente, aos meses de agosto e janeiro.

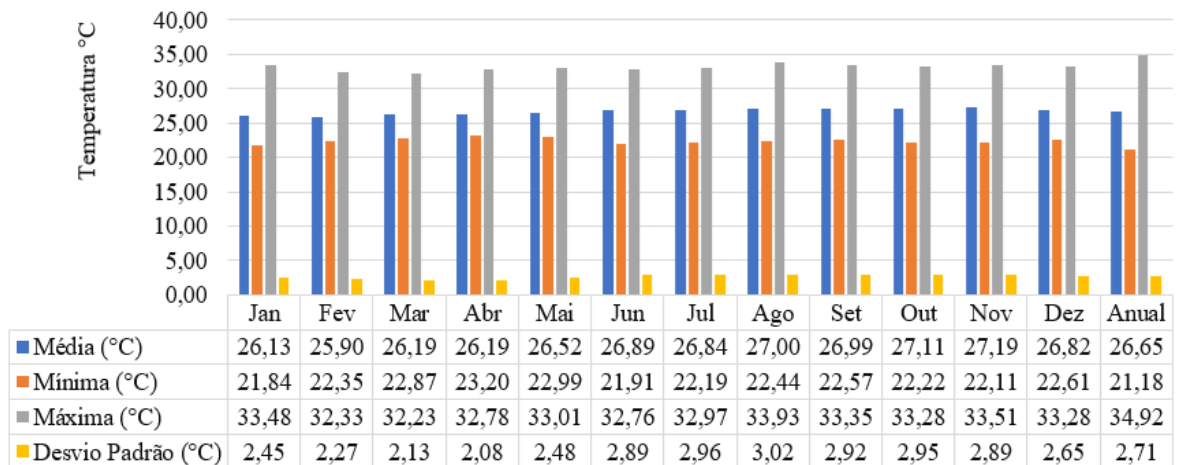


Figura 5 – Resultados da variável de bulbo seco para o novo perfil. Fonte: Autores, (2023).

As temperaturas de bulbo úmido e o desvio padrão refletidos pelo novo perfil estão dispostos na Figura 6. A média anual foi de 24,26 °C, a mínima de 20,23 °C, a máxima de 28,07 °C e o desvio padrão de 1,05 °C. As maiores e menores temperaturas estão relacionadas, respectivamente, aos meses de dezembro e novembro.

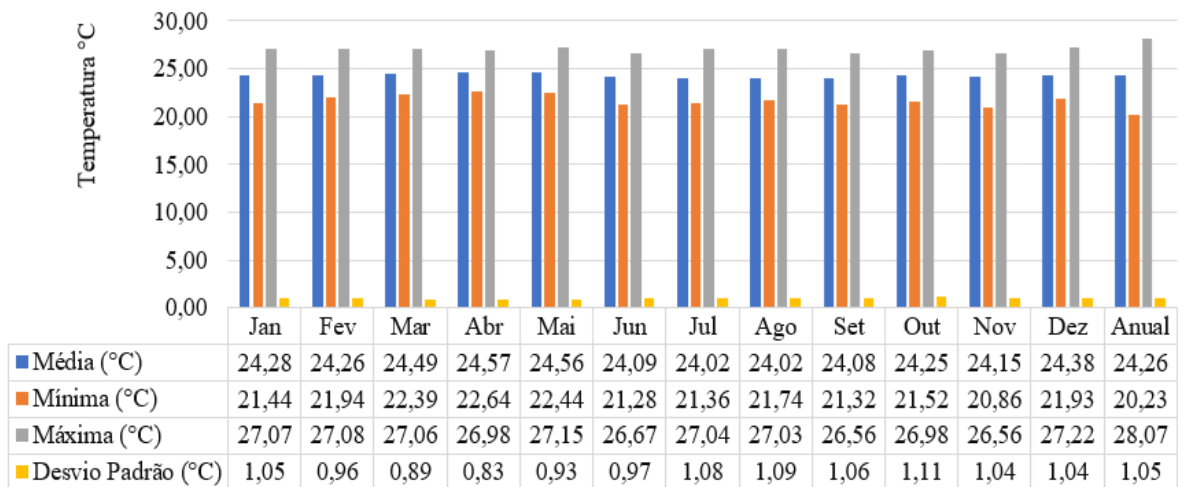


Figura 6 – Resultados da variável de bulbo úmido para o novo perfil. Fonte: Autores, (2023).

Os fluxos de radiação solar difusa em W/m^2 e o desvio padrão para a nova série encontram-se na Figura 7. O valor médio de radiação difusa gerado foi de 105,19 W/m^2 , o máximo de 501,42 W/m^2 e o desvio padrão de 135,31 W/m^2 . O mês de fevereiro destacou-se com o maior fluxo de radiação solar difusa: 481,73 W/m^2 . Vale ressaltar, que os valores mínimos de radiação tendem a zero.

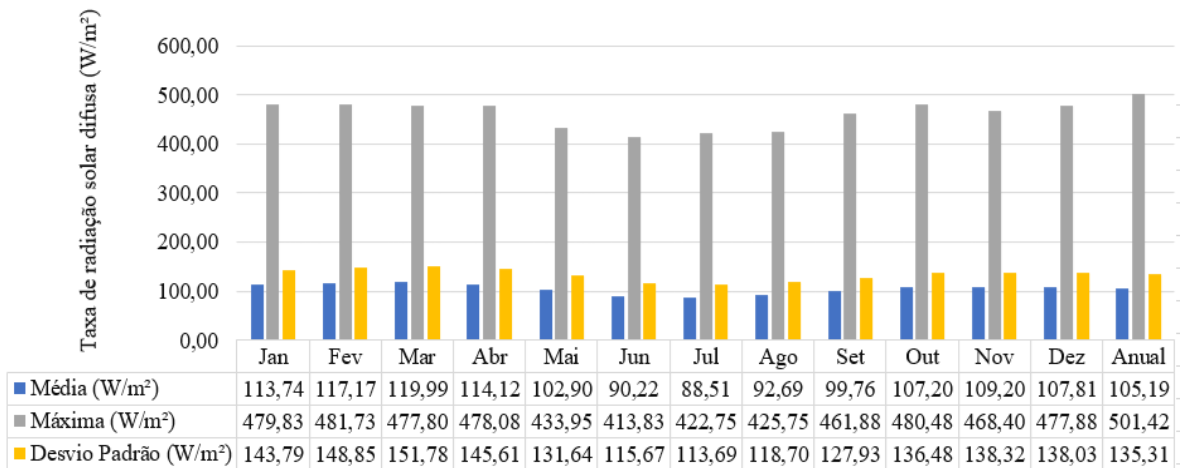


Figura 7 – Resultados da radiação solar difusa para o novo perfil. Fonte: Autores, (2023).

Os valores de radiação solar direta em W/m² e o desvio padrão do novo conjunto de dados são mostrados na Figura 8. A média anual foi de 130,73 W/m², máxima de 853,67 W/m² e desvio padrão de 193,86 W/m². O mês de setembro ficou em evidência com o maior fluxo de radiação solar direta (820 W/m²).

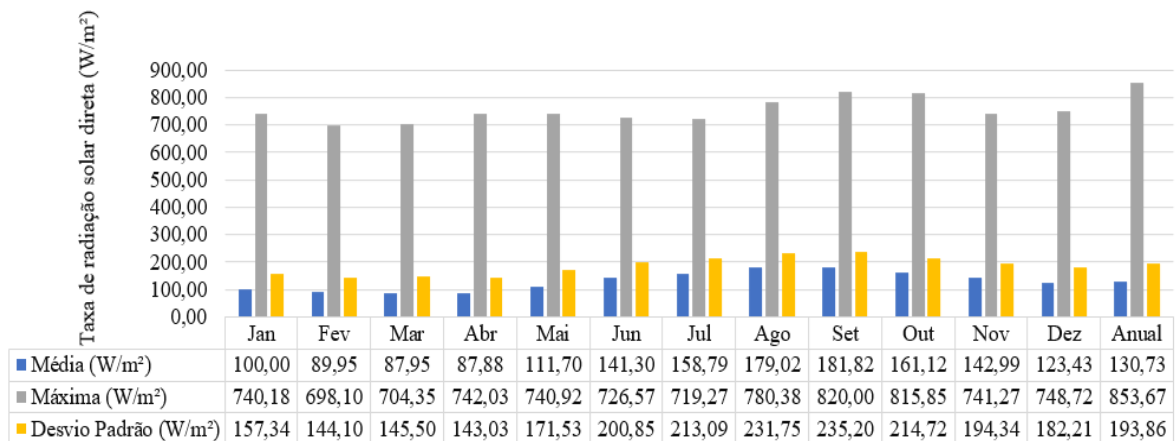


Figura 8 – Resultados da radiação solar direta para o novo perfil. Fonte: Autores, (2023).

Na regressão linear, Y varia em função de bx somado a um valor constante a . O coeficiente b indica a taxa com que o Y aumenta em relação a X , ou seja, a partir de um conjunto de dados é possível estimar os valores dos coeficientes a e b e os erros associados a estes parâmetros. Ao fazer isso, é possível traçar a reta que melhor se adequa aos dados de referência. A investigação de regressão média anual entre os dados de temperatura máxima, mínima e média do *Climate-Datae* aqueles do novo perfil indicam valores de $r = 0,8243$ (índice de correlação) e $R^2 = 0,67947$ que indica o quanto (em porcentagem) a regressão é capaz de explicar a variação dos dados observados. Esses valores foram obtidos a partir da equação $Y = 1,9819 - 26,104 x$, com intervalo de 95% de confiança. A associação individual entre os parâmetros é disposta na Tabela 21.

Tabela 21 – Parâmetros da regressão e coeficientes de determinação entre os dados do *Climate-Data* e o novo perfil.

| Parâmetro | <i>a</i> | <i>b</i> | <i>R</i> ² |
|--------------------|----------|----------|-----------------------|
| Temperatura Média | 1,9819 | 26,104 | 0,67947 |
| Temperatura Mínima | -0,8998 | 44,677 | 0,08275 |
| Temperatura Máxima | 2,8359 | -63,715 | 0,52856 |

Fonte: Autores, (2023).

O índice de correlação *r* no intervalo de 0,7 a 0,9 aponta um nível de proximidade bastante alto entre as séries (HOPKINS, 2000). Tal indicador admite uma boa correlação entre os dados climáticos do novo perfil e aqueles do *Climate-Data*. Isto pode ser visualizado, na Figura 9.

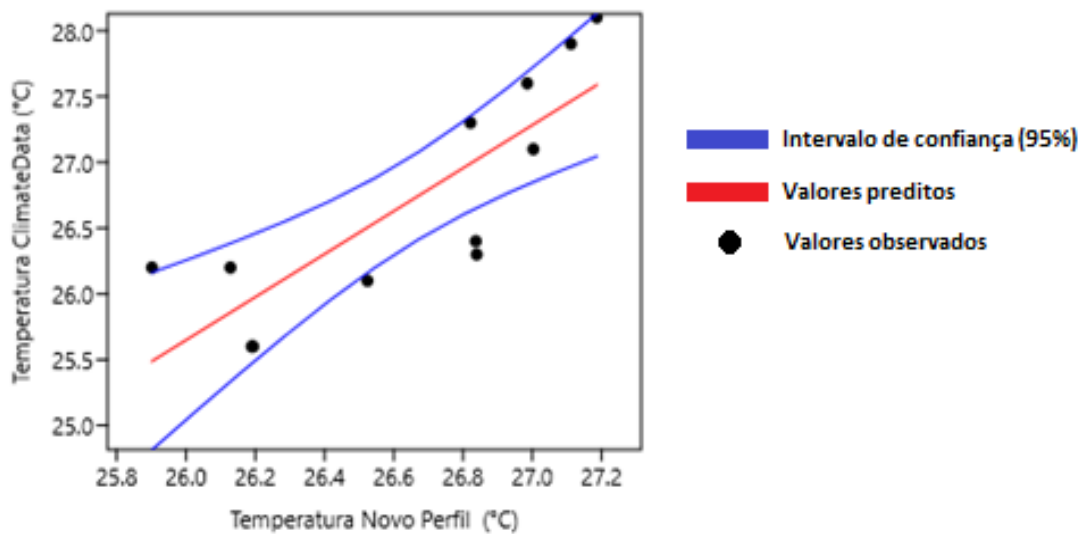


Figura 9 – Dispersão das médias de temperatura entre o novo perfil e o *Climate-Data*. Fonte: Autores, (2023).

6. Considerações finais

A compilação de cinco bases climáticas distintas proporcionou resultados mais precisos para os valores das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido e dos fluxos de radiação solar direta e difusa que foram submetidos a um filtro estatístico a partir de coletas amostrais diversas. Essa abordagem permitiu estimar valores mais representativos do sistema real, usando medidas de centralidade e dispersão como parâmetros. Devido à dificuldade na escolha do arquivo climático, foram realizados cruzamentos de dados para obter novas informações climáticas, obtendo um bom índice de correlação com os dados disponíveis na plataforma *Climate-Data*.

O novo perfil climático pode ser explorado para criar um arquivo climático específico para a cidade de Belém-PA. Essa iniciativa visa garantir a compatibilidade com *softwares* de simulação termo energética, instalação de sistemas de condicionamento de ar e projetos bioclimáticos, possibilitando pesquisas de alta qualidade na área de conforto térmico em edificações. Esses estudos são fundamentais para melhorar a qualidade de vida dos habitantes da região, visto que o conforto térmico é um aspecto crucial para o bem-estar e saúde das pessoas.

Dessa forma, o uso de um filtro estatístico rigoroso e a combinação de dados provenientes de diversas fontes permitiu a obtenção de informações climáticas mais precisas e confiáveis. Esses dados são de extrema importância para o desenvolvimento de pesquisas científicas e projetos que

visam melhorar a qualidade de vida das pessoas e evidenciam a análise estatística e o uso de tecnologias modernas na área de clima e meio ambiente.

Agradecimentos

À revista *The Journal of Engineering and Exact Sciences* (jCEC) e aos respectivos avaliadores pelo empenho e dedicação na revisão e publicação deste artigo. Seu trabalho é essencial para garantir a qualidade da pesquisa científica e contribuir para o avanço do conhecimento.

Referências

- Belém, A. E. D. M. (2012). Prefeitura Municipal de Belém, Secretaria Municipal de Coordenação Geral de Planejamento e Gestão–SEGEP.
- Climate Data. Clima Belém (Brasil). (2022, maio 01). *climate-data.org*. Recuperado em janeiro 30, 2023, em <https://pt.climate-data.org/americado-sul/brasil/para/belem-4299/>
- EnergyPlus™. Arquivos Climáticos: International Weather for Energy Calculations (IWEC), Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA). (2008, maio 01). *EnergyPlus.net*. Recuperado em janeiro 30, 2023, em https://energyplus.net/weather-region/south_america_wmo_region_3/BRA
- Hammer, Ø; Harper, D. A. T; Ryan, P. D. (2023). PAST (Versão 4.10) [Software] Recuperado de *lo4d.com*: <https://past.en.lo4d.com/windows>
- Hopkins, W. G. (2000). Correlation coefficient: a new view of statistics. Recuperado de: <http://www.sportsci.org/resource/stats/correl.html>.
- Koppen, W. (1948). Climatologia: com um estudo de los climas de latierra. Fondo de Cultura Econômica. México.
- Lawrence Berkeley National Laboratory, LBNL (2015). Source Weather Data Formats.
- Lawrie, L, K; Drury, B, C. Arquivos Climáticos: Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), Test Reference Year (TRY), Typical Meteorological Year (TMY). (2022, dezembro 12). *Climate.OneBuilding.Org*. Recuperado em janeiro 30, 2023, em https://climate.onebuilding.org/WMO_Region_3_South_America/BRA_Brazil/index.html#IDPA_Para-
- Lima, M. T. V., & Oliveira, C. W. (2021). Validação estatística dos dados climáticos disponíveis na plataforma Climate-Data. Org para o Estado do Ceará. *Revista Geama*, 7(2), 13-20.
- Oke, T. R. (1987). Boundary layer climates.
- OpenStudio® is developed in collaboration by NREL, ANL, LBNL, ORNL, and PNNL. (2023). OpenStudio (Versão 3.5.1) [Software] Recuperado de *openstudio.net*: <http://openstudio.net/downloads>
- Oracle©. O que é um Banco de Dados?. (2014). Oracle.com. Recuperado em janeiro 23, 2023, em <https://www.oracle.com/br/database/what-is-database/>
- Roriz, M., & ASSOCIAÇÃO NACIONAL DE TECNOLOGIA DO AMBIENTE CONSTRUÍDO. (2012). Arquivos climáticos de municípios brasileiros. Grupo de Trabalho sobre Conforto e Eficiência Energética de Edificações.
- Santos, S., Vitorino, M., Braga, C., Campos, T. & Santos, A. P. (2013). O Efeito de Brisas Marítimas na Cidade de Belém-PA: Utilizando análise em Multivariada. *Revista Brasileira de Geografia Física*. 5(5), 1112-1113. <https://doi.org/10.26848/rbgf.v5i5.232830>
- Scheller, C; Melo, A, P; Sorgato, M; Lamberts, R. Análise de arquivos climáticos para a simulação do desempenho energético de edificações. (2015, abril 01). *labeee.ufsc.br*. Recuperado em janeiro 30, 2023, em <https://labeee.ufsc.br/node/635>
- Sousa, D. L. P. de, Nobre, J. C. de A., & Andrade, L. C. F. (2022). Análise Térmica de Bases de Dados Climáticos da Cidade de Belém-PA. *The Journal of Engineering and Exact Sciences*, 8(3), 14208–01e. <https://doi.org/10.18540/jcecv18iss3pp14208-01e>

Apêndice A

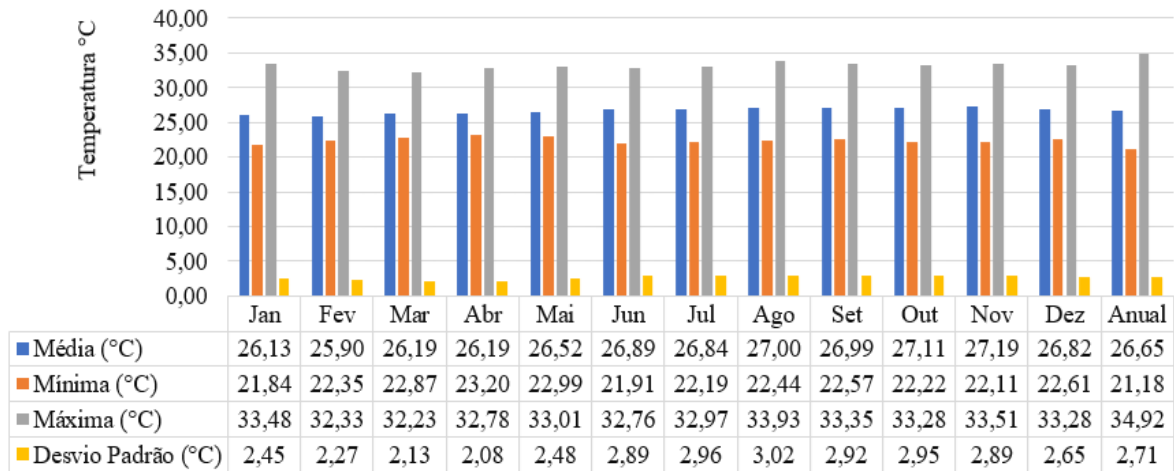


Figura A.1 - Temperatura de bulbo seco para o novo perfil.

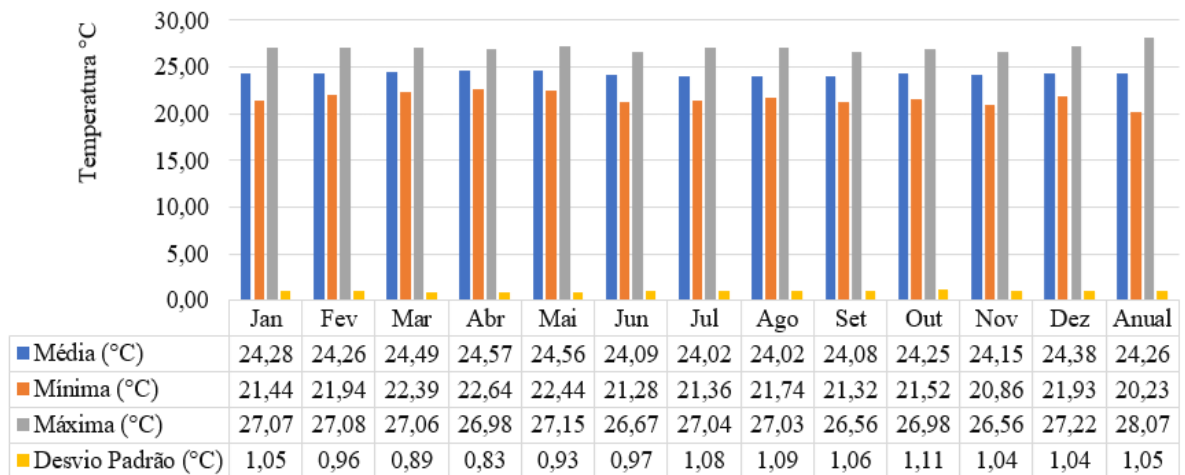


Figura A.2 - Temperatura de bulbo úmido para o novo perfil.

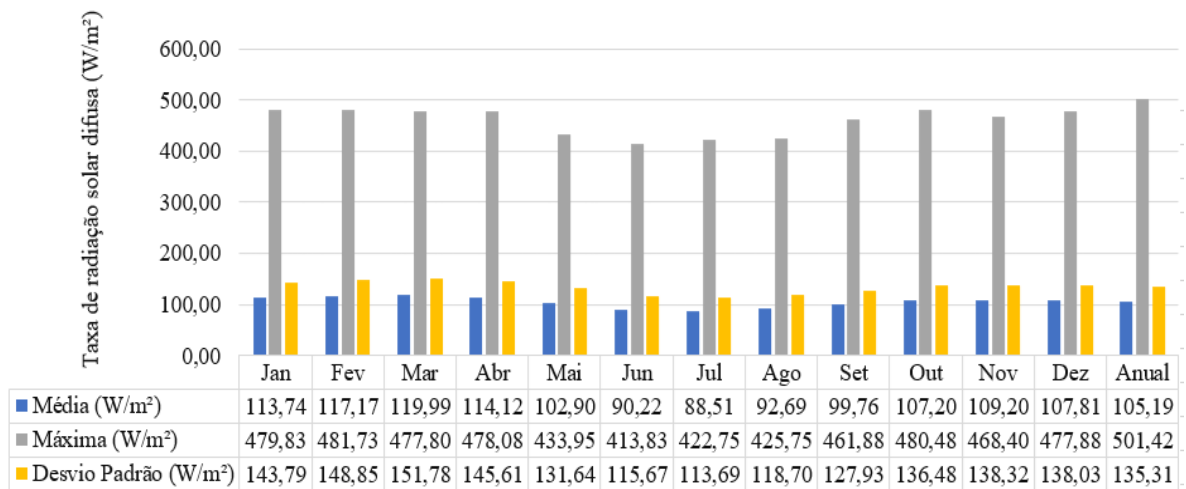


Figura A.3 – Radiação solar difusa para o novo perfil.

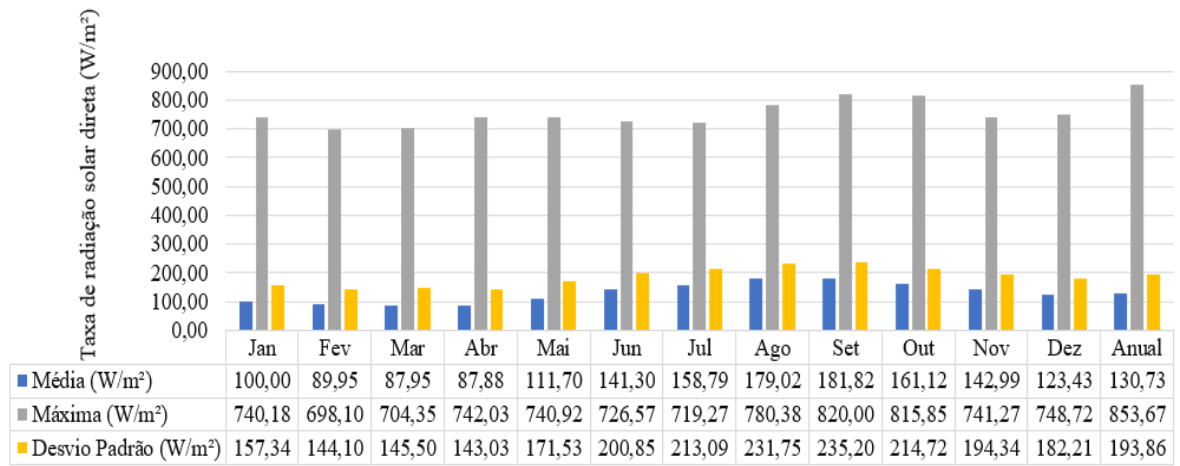


Figura A.4 – Radiação solar direta para o novo perfil.