

Use of the IWEC, SWERA, INMET, TRY and TMY Climate Archives of the City of Belém-PA for Structural Thermal Performance Analysis

Utilização dos Arquivos Climáticos IWEC, SWERA, INMET, TRY e TMY da Cidade de Belém-PA para Análise de Desempenho Térmico Estrutural

Article Info:

Article history: Received 2023-02-02 / Accepted 2023-04-08 / Available online 2023-04-08

doi: 10.18540/jcecv19iss3pp15554-01e



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

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

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

Luiz Claudio Fialho Andrade

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

Universidade Federal do Pará - UFPA, Brazil

E-mail: lfialho@ufpa.br

Jerson Rogério Pinheiro Vaz

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-6440-4811>

Universidade Federal do Pará - UFPA, Brazil

E-mail: jerson@ufpa.br

Silvio Bispo do Vale

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-9620-933X>

Universidade Federal do Pará - UFPA, Brazil

E-mail: bispo@ufpa.br

Daniel José Lima de Sousa

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7607-9067>

Universidade Federal do Pará - UFPA, Brazil

E-mail: daniellima@ufpa.br

Resumo

A pesquisa objetivou analisar o desempenho térmico de um edifício padrão na cidade de Belém-PA através de uma simulação numérica. Para isso, foram utilizados os softwares *SketchUp*, *OpenStudio*, *EnergyPlus* e *DView*, juntamente com os arquivos climáticos IWEC, SWERA, INMET, TRY e TMY. A análise das curvas de duração mostrou que o arquivo climático TRY resultou em melhor conforto térmico, com 33,8% do período anual dentro dos parâmetros definidos pela norma ISO 9241 (2011). Os resultados da simulação foram comparados com dados externos referentes à cidade de Belém-PA, disponíveis no *Climate Data*, e foi constatado que houve variações significativas nas temperaturas médias e máximas. Entre os arquivos climáticos, o arquivo climático da base INMET

apresentou as menores variações em relação aos dados reais da temperatura externa da cidade. A simulação também resultou em dados da radiação solar direta, radiação solar difusa, temperatura de bulbo seco do ar, temperatura de bulbo úmido do ar, além de variação das temperaturas médias, mínimas e máximas e desvio padrão mensais ao longo do ano de 2022. Em conclusão, a simulação numérica permite uma avaliação precisa das condições climáticas que afetam uma estrutura, e o confronto com os dados externos da cidade resultou em variações significativas nas temperaturas médias e máximas. O arquivo climático INMET foi identificado como o mais preciso em relação às cargas da cidade. A utilização desta abordagem pode ser extremamente útil para projetos de construção que visem maximizar o conforto térmico e minimizar o consumo de energia.

Palavras-chave: Desempenho Térmico. Arquivos Climáticos. *EnergyPlus*.

Abstract

The objective of this study is to analyze thermal performance of a standard building in the city of Belém-Pará-Amazon through numerical simulation. Thus, the SketchUp, OpenStudio, EnergyPlus and DView software, along with the IWEC, SWERA, INMET, TRY and TMY climate files are used. The analysis of the duration curves showed that the TRY climate file resulted in a better thermal comfort, with 33.8% of the annual period within the parameters defined by ISO 9241. The simulation results are compared with external data for the city of Belém-PA, available in the Climate Data, and it is found that there are significant variations in the average and maximum temperatures. Among the climate files, the INMET shows the lowest variations in relation to the real temperature data of the city. The simulation also determined data on direct solar radiation, diffuse solar radiation, dry-bulb air temperature, wet-bulb air temperature, as well as variations in the average, minimum and maximum temperatures, and monthly standard deviation throughout the year 2022. In conclusion, the numerical simulation allows for an accurate evaluation of the climate conditions that affect the building structure, and comparison with the city's external data resulted in significant variations in the average and maximum temperatures. The INMET climate file is identified as the most accurate in relation to the climatic loads of the city. The use of this approach can be extremely useful for construction projects that aim to maximize thermal comfort and minimize energy consumption.

Keywords: Thermal Performance. Climate Files. *EnergyPlus*.

1. Introdução

A análise térmica estrutural é uma ferramenta vital para avaliar o desempenho térmico adequado de edifícios e estruturas. A utilização de diferentes arquivos climáticos na simulação numérica permite uma avaliação mais precisa das condições climáticas que afetam uma edificação. Neste artigo, será feita uma análise térmica estrutural detalhada baseada na norma de conforto térmico ISO 9241 (2011), onde serão analisados os resultados da radiação solar direta e difusa, temperaturas de bulbo seco e úmido, comportamento da temperatura e curva de duração.

A análise do desempenho termoenergético de um edifício é uma técnica complexa que envolve a simulação de vários fatores climáticos e físicos para avaliar a condição de conforto térmico. É importante notar que a seleção adequada dos arquivos climáticos é fundamental para garantir a precisão dos resultados da análise. Além disso, a simulação numérica permite a avaliação de diferentes cenários climáticos, o que pode ser útil para avaliar o desempenho térmico de uma edificação em diferentes épocas do ano ou em diferentes regiões geográficas.

Ao utilizar diferentes arquivos climáticos, é possível obter resultados precisos e confiáveis que são fundamentais para a tomada de decisões no projeto. Neste artigo, foram utilizados cinco arquivos climáticos da cidade de Belém-PA, o *International Weather for Energy Calculations* (IWEC), *Solar and Wind Energy Resource Assessment* (SWERA), Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), *Test Reference Year* (TRY) e *Typical Meteorological Year* (TMY).

Em resumo, o objetivo deste artigo é realizar uma simulação numérica utilizando os *softwares SketchUp, OpenStudio, EnergyPlus e DView* aplicando arquivos climáticos da cidade de Belém-PA para analisar o desempenho térmico estrutural de um edifício padrão, e com isso, exibir os seguintes dados meteorológicos: (a) radiação solar direta; (b) radiação solar difusa; (c) temperatura de bulbo seco do ar; (d) temperatura de bulbo úmido do ar e (e) variação das temperaturas médias, mínimas, máximas e desvio padrão mensais ao longo do ano de 2022. Por fim, os resultados obtidos serão confrontados com as correspondentes temperaturas que constam na base de dados externos da cidade disponíveis no *Climate Data*.

2. Referencial Teórico

2.1 Conforto térmico

A norma ASHRAE Standard 55 (2010), caracteriza o conforto térmico como "a condição mental de satisfação do indivíduo com o ambiente térmico". Segundo Romero (2013), o conforto térmico é obtido quando o corpo humano encontra equilíbrio térmico com o meio ambiente.

Conforme Fanger (1972), a transferência de calor do ser humano com o meio ambiente se dá através dos métodos de condução, convecção, radiação e transferência de massa. O estado de conforto térmico é estabelecido pela influência de diversos fatores, tais como a umidade do ar, a velocidade do ar, o movimento do corpo, a radiação térmica, a roupa utilizada e a temperatura ambiente (HALAWA, VAN HOOFF E SOEBARTO, 2014).

De acordo com Santos & Andrade (2008), o bem-estar térmico é um aspecto que claramente afeta a execução de atividades e tem um impacto significativo na saúde humana. O conforto térmico é extremamente importante na vida cotidiana, já que afeta diretamente o desempenho pessoal e a produtividade, além de contribuir para o surgimento ou agravamento de doenças. Portanto, o bem-estar térmico é crucial em qualquer ambiente frequentado pelo ser humano.

Para garantir o equilíbrio entre o homem e seu meio ambiente, segundo Rivero (1986), é preciso garantir o conforto térmico em qualquer espaço habitado, seja interno ou externo, e é uma preocupação tanto para arquitetos quanto para planejadores urbanos.

Sousa (2022), realizou simulações computacionais com o *software EnergyPlus* para analisar o desempenho térmico de um edifício institucional da Universidade Federal do Pará localizado em Ananindeua-PA. Foram determinadas características do edifício, incluindo elementos construtivos, perfil de atividades, consumo de energia dos equipamentos elétricos e sistema de iluminação. Os resultados mostraram-se coerentes com as condições climáticas de Belém-PA, demonstrando a boa capacidade do *software EnergyPlus*.

Nobre (2022), usou o *software* livre *EnergyPlus* para simular e analisar a temperatura do ar no auditório do *campus* Ananindeua da Universidade Federal do Pará. A análise foi realizada para diferentes meses do ano, usando dados climáticos de Belém-PA, variáveis meteorológicas, estruturais e fisiológicas foram consideradas, a análise de conforto térmico foi realizada de acordo com a ISO 9241 (2011).

Borges (2022), desenvolveu um estudo com o objetivo de avaliar a performance térmica de um edifício simulado, construído com alguns elementos construtivos feitos de materiais alternativos, enquanto outros são de construção convencional. A simulação levou em consideração as condições climáticas da cidade de Belém-PA em 2021 utilizando o *software EnergyPlus* para prever o conforto térmico baseado na temperatura interna do ar no edifício. Os resultados mostraram uma performance térmica superior dos materiais alternativos.

2.2 Parâmetros que influenciam o conforto térmico

A sensação de conforto em relação à temperatura está ligada ao equilíbrio termo-fisiológico do ser humano e é resultado da interação entre fatores ambientais, pessoais e individuais.

2.2.1 Variáveis ambientais

O conforto térmico é influenciado por variáveis ambientais relacionadas a condições climáticas, que podem ser medidas com instrumentos. As variáveis incluem temperatura do ar, temperatura radiante média, umidade e velocidade do ar, conforme a ISO 7730 (2005).

2.2.2 Variáveis pessoais

Diferenças pessoais no que tange ao conforto térmico descrevem a ocorrência de que os habitantes podem experimentar sensações distintas, mesmo quando submetidos ao mesmo ambiente climático. Em função dessas variações individuais, é difícil encontrar uma atmosfera que alcance a satisfação térmica de todos os ocupantes. Situações que sejam confortáveis para um morador podem ser incômodas para outro (NAKANO, TANABE e KIMURA, 2002).

2.2.3 Variáveis subjetivas

Os fatores culturais também exercem influência na percepção de conforto térmico, o que significa que as condições de bem-estar térmico variam de pessoa para pessoa (GONÇALVES e BODE, 2015). As variáveis subjetivas estão ligadas às sensações, avaliações e preferências de conforto térmico.

Estes fatores, assim como as variáveis individuais, podem ser coletados através de questionários. A ISO 10551 (1995), inclui escalas de julgamento (escalas de percepção térmica, conforto térmico, preferência térmica, aceitação e escala de tolerância) para gerar dados seguros e comparativos sobre os aspectos subjetivos de conforto ou estresse térmico.

2.3 Norma ISO 9241 (2011)

Especifica que o conforto térmico é um fator importante a ser considerado na concepção de sistemas interativos. Recomenda-se que as temperaturas do ambiente sejam mantidas dentro de certos limites para garantir o conforto dos usuários, sendo eles: a temperatura ideal, no verão entre 20 °C e 24 °C e no inverno entre 23 °C e 26 °C, com umidade relativa do ar entre 40% e 80%. Além disso, a norma destaca que a temperatura do ambiente pode ser afetada por vários fatores, incluindo a temperatura da superfície do dispositivo de entrada, o fluxo de ar e a radiação térmica.

2.4 Softwares de simulação termoenergética

São projetados para simular e analisar sistemas termoenergéticos, como edifícios, sistemas de climatização e refrigeração, equipamentos industriais e sistemas que envolvem transferência de calor e energia.

2.4.1 SketchUp

É um *software* de modelagem 3D, fácil de usar e intuitivo, desenvolvido pela *Trimble Inc.* Ele é amplamente utilizado para criar modelos 3D de edifícios, móveis, paisagens, entre outros objetos. A interface gráfica do *software* permite aos usuários desenhar e modelar com precisão e facilidade. Ele oferece uma variedade de ferramentas para criar objetos 3D e personalizar suas aparências, incluindo texturas, cores e estilos de linhas. Além disso, o *SketchUp* permite a importação e exportação de dados com outros *softwares* de modelagem 3D e design, como o *AutoCAD* e *Revit*.

O *software SketchUp* é uma ferramenta que permite a criação de modelos tridimensionais com grande precisão e detalhamento. Além disso, essa ferramenta pode ser utilizada para simulações termoenergéticas, o que possibilita a avaliação do desempenho térmico de edifícios e a identificação de problemas relacionados à eficiência energética.

Uma das principais vantagens do uso do *SketchUp* na simulação é a sua interface intuitiva e amigável, o que facilita o trabalho dos projetistas e torna a modelagem mais precisa e rápida. Além disso, essa ferramenta possui uma ampla variedade de extensões e *plug-ins* que permitem a incorporação de dados climáticos, materiais de construção e sistemas de ventilação, por exemplo.

O seu uso permite a visualização de resultados em tempo real, o que possibilita a análise imediata de problemas e a realização de ajustes no projeto. Além disso, essa ferramenta também permite a realização de simulações paramétricas, o que possibilita a comparação de diversos cenários e a identificação da melhor solução para um determinado projeto.

É importante destacar que a utilização do *SketchUp* para a simulação termoenergética é uma tendência crescente no mercado, sendo cada vez mais demandada pelos clientes e instituições governamentais. Portanto, o domínio dessa ferramenta pode representar uma vantagem competitiva para os profissionais que atuam na área de eficiência energética e sustentabilidade.

2.4.2 *OpenStudio*

É um *software* de simulação de desempenho de edifícios e sistemas de energia desenvolvido pela *National Renewable Energy Laboratory* (NREL) dos Estados Unidos. Ele é uma plataforma de código aberto que fornece ferramentas para modelar, simular e avaliar o desempenho termoenergético de edifícios.

O *OpenStudio* é uma ferramenta de simulação termoenergética que possui diversas vantagens em relação a outras ferramentas disponíveis no mercado. Em primeiro lugar, ele é um *software open-source*, ou seja, é gratuito e pode ser acessado por qualquer pessoa que tenha interesse em utilizá-lo. Isso faz com que seja uma opção muito acessível e democrática para profissionais e estudantes.

Além disso, o *software* é capaz de realizar simulações termoenergéticas de alta precisão, permitindo a análise de diversos parâmetros, tais como consumo de energia, conforto térmico e qualidade do ar interior. Essa ferramenta é capaz de modelar sistemas de HVAC, iluminação, sombreamento e outras variáveis que impactam no desempenho térmico dos edifícios.

Outra grande vantagem do *OpenStudio* é sua integração com outras ferramentas de simulação termoenergética, como o *EnergyPlus* e o *Radiance*. Essa integração permite a utilização de uma ampla variedade de modelos e dados climáticos, tornando as simulações mais precisas e confiáveis. Também permite a utilização de parametrização e otimização, tornando possível a realização de análises mais avançadas e a comparação de diversas alternativas de projeto. Essa ferramenta também possui uma interface amigável e intuitiva, o que facilita o trabalho dos projetistas e aumenta a eficiência do processo de modelagem e simulação.

2.4.3 *EnergyPlus*

É um *software* de simulação de desempenho energético de edifícios desenvolvido pela *US Department of Energy* (DOE) dos Estados Unidos. Ele é uma plataforma avançada de cálculo de energia que permite modelar, simular e avaliar o desempenho energético de edifícios e sistemas de climatização e iluminação.

O *EnergyPlus* é amplamente utilizado para projetar e construir edifícios mais eficientes energeticamente e sustentáveis. Ele também é utilizado para ajudar a avaliar o impacto de políticas e regulamentações de eficiência energética em edifícios e sistemas de energia.

Com o uso do *EnergyPlus* é possível modelar de forma detalhada os sistemas de HVAC, iluminação, sombreamento, ventilação natural e outras variáveis que impactam no desempenho térmico dos edifícios. Essa ferramenta também é capaz de simular a interação entre os sistemas, permitindo a avaliação do desempenho global do edifício.

Outra grande vantagem do *software* é sua flexibilidade, que permite a criação de modelos personalizados e a utilização de uma ampla variedade de dados climáticos e de materiais de construção. Isso torna as simulações mais precisas e confiáveis, permitindo a análise de diversas alternativas de projeto e a identificação de oportunidades de economia de energia. Também permite a utilização de parametrização e otimização, tornando possível a realização de análises mais avançadas e a comparação de diversas alternativas de projeto.

2.4.4 DView

É um *software* gráfico integrado. Ele é uma ferramenta de visualização de dados que permite ao usuário analisar os resultados da simulação termoenergética, incluindo consumo de energia, temperatura interna, iluminação e outros indicadores de desempenho. Além disso, o *DView* permite aos usuários explorar os dados de simulação de diferentes perspectivas, incluindo hora do dia, estação do ano e outros indicadores relevantes.

Através do *Dview*, é possível visualizar de forma clara e objetiva os dados gráficos gerados pelas simulações, o que permite uma análise mais precisa e detalhada dos resultados obtidos. Entre as vantagens do uso do *software* para análise dos resultados de simulações termoenergéticas, podemos destacar:

- Facilidade de uso: é um *software* intuitivo e de fácil utilização, o que facilita a análise dos resultados por usuários com diferentes níveis de conhecimento técnico;
- Flexibilidade: permite a criação de gráficos customizados, o que possibilita uma análise mais detalhada e personalizada dos resultados de simulações termoenergéticas;
- Interatividade: oferece recursos interativos, como zoom e seleção de dados, que permitem ao usuário explorar os dados gráficos de forma mais precisa e detalhada;
- Compatibilidade: é compatível com diversos formatos de arquivos de saída de simulações termoenergéticas.

Em resumo, o *Dview* é uma ferramenta muito útil para a análise de resultados de simulações termoenergéticas, permitindo uma análise mais precisa e detalhada dos dados gráficos gerados pelas simulações.

2.5 Arquivos climáticos utilizados

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. Esses dados são utilizados em simulações de desempenho energético de edifícios para prever como o clima afetará o desempenho energético de um edifício.

O uso de diferentes arquivos climáticos é extremamente importante para uma simulação termoenergética precisa e confiável. Pois as condições climáticas variam de acordo com a localização geográfica, o que influencia diretamente o comportamento térmico de um edifício.

Ao utilizar um arquivo climático específico para uma determinada região, é possível obter informações mais precisas sobre a radiação solar, temperatura ambiente, umidade relativa do ar, velocidade do vento e outras variáveis climáticas que afetam o desempenho térmico do edifício.

Além disso, é importante destacar que a escolha do arquivo climático também pode afetar a eficiência energética do edifício, uma vez que o uso excessivo de sistemas de climatização pode aumentar o consumo de energia e, conseqüentemente, os custos operacionais.

Por esses motivos, é fundamental selecionar cuidadosamente o arquivo climático adequado para cada simulação termoenergética, considerando as particularidades da região em que o edifício está localizado e os objetivos da análise.

2.5.1 Typical Meteorological Year (TMY)

Representa as condições climáticas típicas de uma região geográfica em um ano específico. Ele é criado a partir de dados meteorológicos coletados ao longo de vários anos, e é normalizado para representar as condições climáticas médias de uma região.

2.5.2 Solar and Wind Energy Resource Assessment (SWERA)

Fornecer informações sobre a irradiação solar e a velocidade do vento em diferentes altitudes e direções, bem como informações sobre outros fatores climáticos relevantes, como temperatura, umidade e pressão atmosférica. Essas informações são coletadas a partir de estações meteorológicas em terra e de satélites.

2.5.3 International Weather for Energy Calculations (IWEC)

Contém dados meteorológicos anuais para mais de 7.000 locais em todo o mundo, incluindo informações sobre temperatura, pressão atmosférica, umidade, velocidade do vento e direção, além de dados de radiação solar. Esses dados são coletados a partir de estações meteorológicas em terra e de satélites, e são rigorosamente verificados e validados antes de serem incluídos no arquivo.

2.5.4 Test Reference Year (TRY)

É baseado em um ano de medições meteorológicas representativas, e é projetado para representar as condições climáticas comuns para uma determinada localização. Ele inclui informações como temperatura, umidade, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, e radiação solar.

2.5.5 Instituto Nacional de Meteorologia (INMET)

O INMET mantém um arquivo climático com dados históricos de temperatura, umidade, pressão atmosférica, velocidade e direção do vento, radiação solar e outros parâmetros meteorológicos. Esses dados são disponibilizados para fins de pesquisa e simulações de sistemas de energia renovável, bem como para estudos climáticos e ambientais.

3. Caracterização do Território

A cidade de Belém-PA é uma excelente escolha para fazer uma análise sobre desempenho termoenergético devido à sua localização geográfica e características urbanas. Com uma área territorial de 1.059,466 km² e uma população estimada em 1.506.420 pessoas, a densidade demográfica da cidade é de 1.315,26 hab/km², conforme dados da Tabela 1.

Tabela 1 – Dados da cidade de Belém-PA. Fonte: IBGE – Cidades e Estados, (2023).

Área Territorial	1.059,466 km ² [2021]
População Estimada	1.506.420 pessoas [2021]
Densidade Demográfica	1.315,26 hab/km ² [2010]
Índice de Desenvolvimento Humano Municipal (IDHM)	0,746 [2010]

A Tabela 2 apresenta a localização geográfica de Belém, que está situada a 01°27'20" de latitude sul e 48°30'15" de longitude oeste, a uma altitude de 22 metros. Sua proximidade com a linha do Equador proporciona um clima quente e úmido, com temperaturas médias anuais em torno de 26°C e índices pluviométricos elevados durante todo o ano.

Tabela 2 – Localização geográfica da cidade de Belém-PA. Fonte: CODEM, (2011).

MUNICÍPIO	LOCALIZAÇÃO GEOGRÁFICA		ALTITUDE (m)
	Latitude Sul	Longitude W-Gr	
Belém	01°27'20"	48°30'15"	22

Essas condições climáticas demandam um consumo elevado de energia para manter o conforto térmico dos ambientes, principalmente em edificações com uso comercial e de serviços.

Para melhorar a eficiência energética nas edificações da cidade de Belém-PA, é necessário realizar análises de desempenho termoenergético que permitam identificar as necessidades de adaptações e melhorias em relação ao conforto térmico e redução do consumo de energia. Nesse sentido, as informações contidas na Tabela 1 e Tabela 2 são de grande importância para o desenvolvimento de estudos e projetos voltados para a melhoria do desempenho termoenergético da cidade.

A Figura 1 mostra o mapa da Região Metropolitana de Belém conforme Lei complementar N° 027, publicado no Diário Oficial do município, em 19/10/1995.

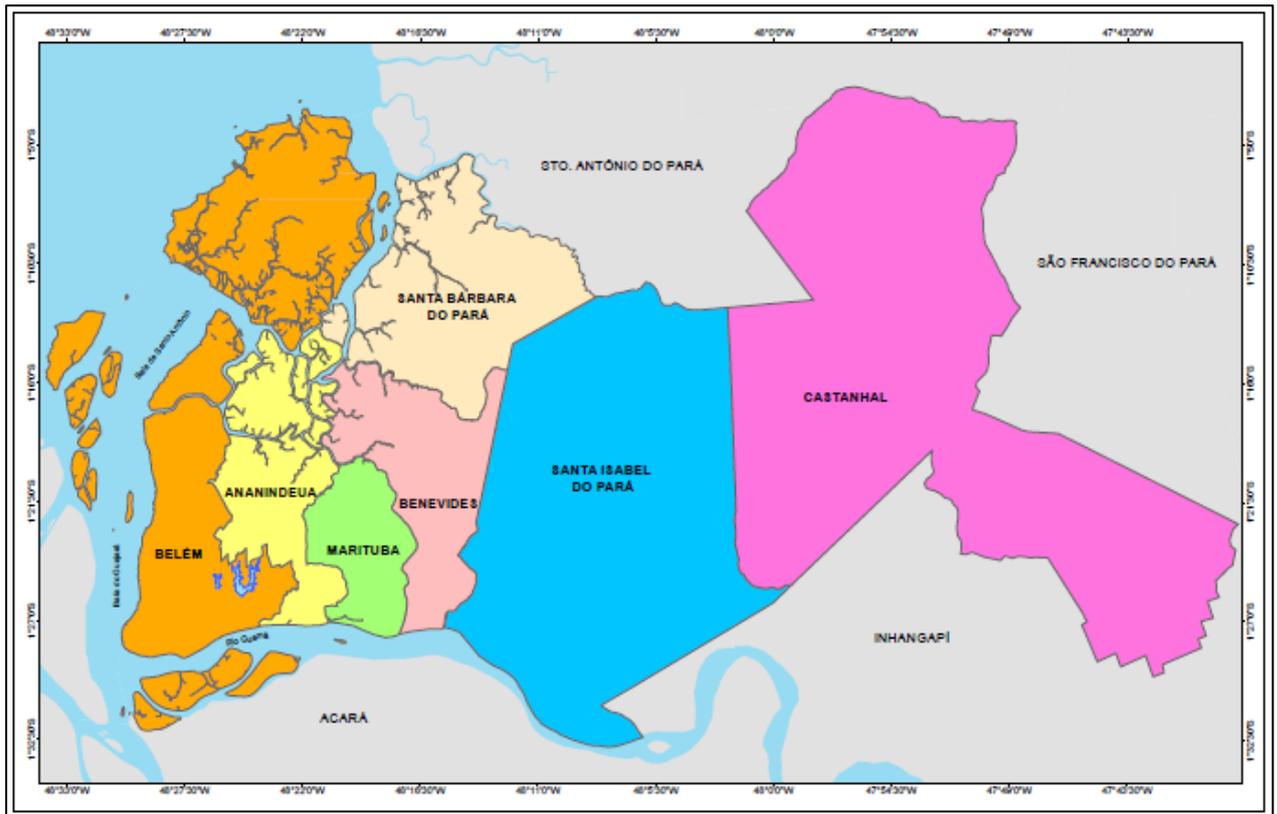


Figura 1 – Região metropolitana de Belém-PA. Fonte: (SEGEP, 2020).

A zona bioclimática de uma cidade é um fator crucial na análise de desempenho térmico, uma vez que ela indica as condições climáticas predominantes na região. As zonas bioclimáticas são determinadas com base nas características climáticas locais, como temperatura, umidade relativa do ar, velocidade do vento e radiação solar, entre outros fatores.

A Figura 2 mostra o mapa do zoneamento bioclimático brasileiro, onde a cidade de Belém-PA encontra-se na zona bioclimática 8.

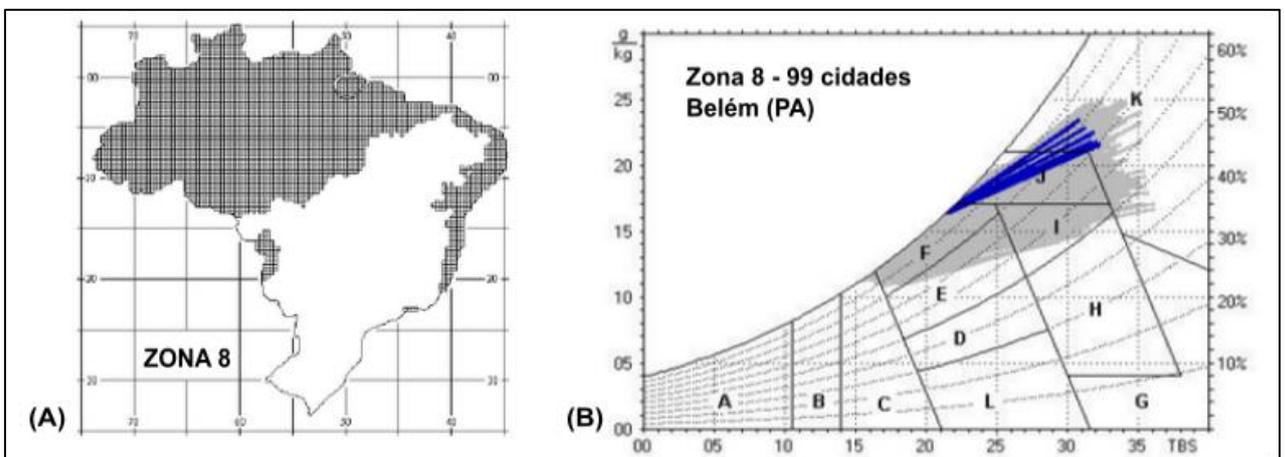


Figura 2 – (A) Zona bioclimática 8; (B) Carta bioclimática apresentando as normais climatológicas de cidades da zona 8. Fonte: (Adaptado de NBR 15220-3, 2003).

4. Metodologia

A análise de desempenho térmico do edifício será realizada por meio de simulações numéricas que utilizam diferentes arquivos climáticos da cidade de Belém-PA, fornecendo dados meteorológicos relevantes para a análise. Os resultados obtidos serão confrontados com dados de uma fonte externa confiável, o *Climate Data*. A simulação utilizando os softwares *SketchUp*, *OpenStudio*, *EnergyPlus* e *DView*, aplicando os arquivos climáticos: IWEC, SWERA, INMET, TRY e TMY da cidade de Belém-PA para analisar o desempenho térmico de um edifício, para obter os dados meteorológicos: (a) radiação solar direta; (b) radiação solar difusa; (c) temperatura de bulbo seco do ar; (d) temperatura de bulbo úmido do ar e (e) variação das temperaturas médias, mínimas, máximas e desvio padrão mensais ao longo do ano de 2022. Os resultados obtidos serão confrontados com as temperaturas da base dados externos da cidade disponíveis no *Climate Data*.

Utilizando o software *Sketchup*, foi modelado um edifício em formato 3D, de 10 m de comprimento, 6 m de largura, e 3 m de altura, com área de 60 m², conforme mostrado na Figura 3. As propriedades dos materiais construtivos do edifício foram definidas no software *OpenStudio*, e a simulação termoenergética foi realizada no software *EnergyPlus*. Os resultados obtidos foram visualizados em forma de gráficos e tabelas por meio do software *DView*.

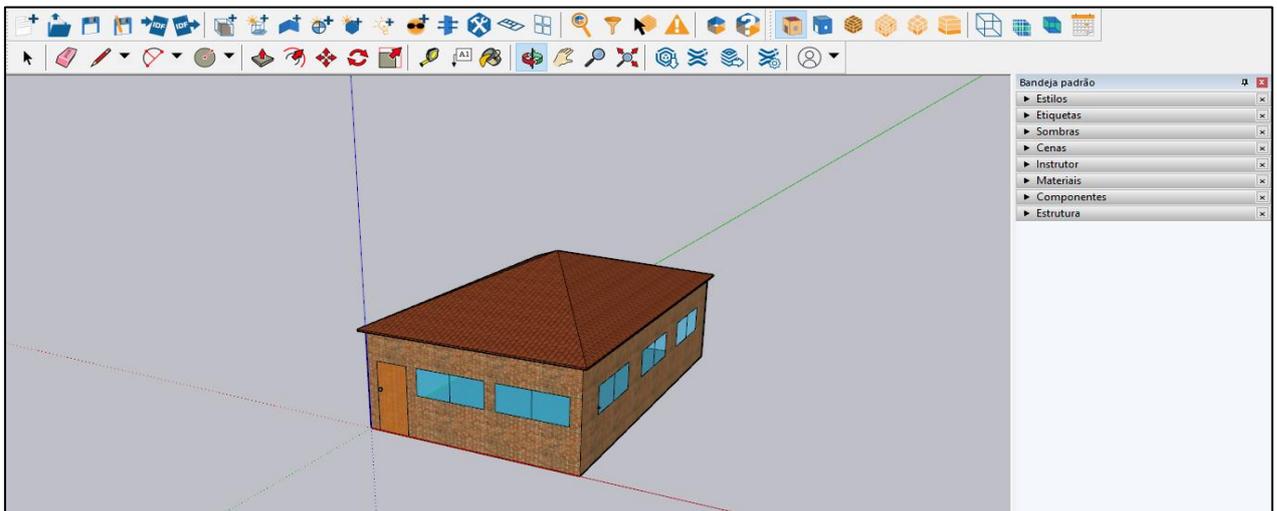


Figura 3 – Edifício padrão modelado no software *SketchUp*. Fonte: (Autores, 2023).

As dimensões do edifício simulado são: 10 m de comprimento, 6 m de largura e 3 m de altura, com uma área total de 60 m².

Os materiais construtivos do edifício e suas propriedades térmicas são mostrados na Tabela 3.

Tabela 3 – Propriedades térmicas dos materiais construtivos do edifício simulado. Fonte: ABNT NBR 15220-2: Desempenho Térmico de Edificações - Parte 2, (2003).

Material	Espessura (m)	Condutividade (W/mK)	Densidade (Kg/m ³)	Calor Específico (J/KgK)
Piso cerâmico	0,010	0,90	1.600	920
Argamassa	0,015	1,15	1.600	1.000
Reboco	0,025	1,15	1.800	1.000
Telha cerâmica	0,020	0,70	1.000	920
Porta (madeira)	0,030	0,15	614	2.300
Janela de vidro	0,003	0,90	*	*
Bloco cerâmico	0,096	0,90	1.764	920
Vidro comum	0,010	1,00	2.500	840

5. Resultados e Discussões

5.1 Resultados utilizando o arquivo climático IWEC

A Figura 4 mostra a taxa de radiação solar direta (W/m^2). A média anual foi de $116,46 \text{ W}/\text{m}^2$ e a máxima de $897,25 \text{ W}/\text{m}^2$, com um desvio padrão de $19,31 \text{ W}/\text{m}^2$. com a influência do pôr do sol, as taxas de radiação solar direta e difusa tendem a zero (a taxa mínima de 24 horas é de $0 \text{ W}/\text{m}^2$).

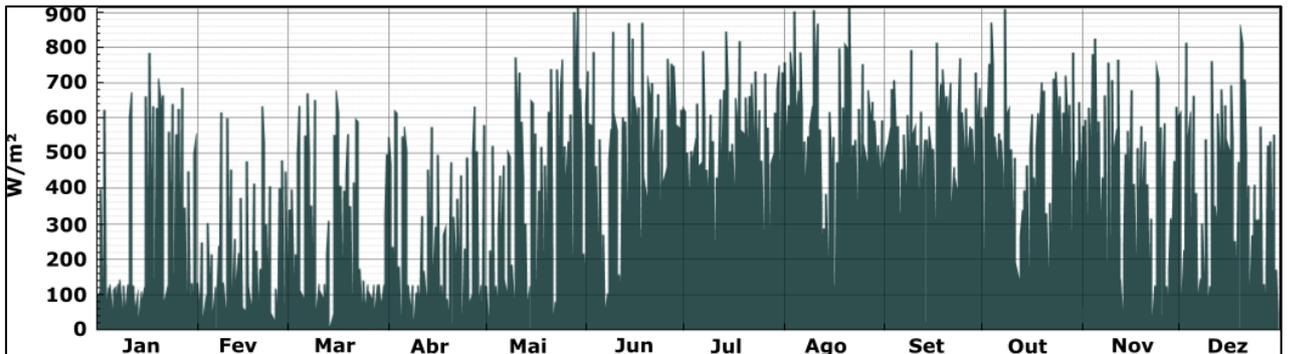


Figura 4 – Taxa de radiação solar direta (IWEC). Fonte: (Autores, 2023).

A Figura 5 mostra a taxa de radiação solar difusa (W/m^2). A média anual foi de $122,45 \text{ W}/\text{m}^2$ e a máxima de $579,33 \text{ W}/\text{m}^2$, com um desvio padrão de $15,63 \text{ W}/\text{m}^2$.

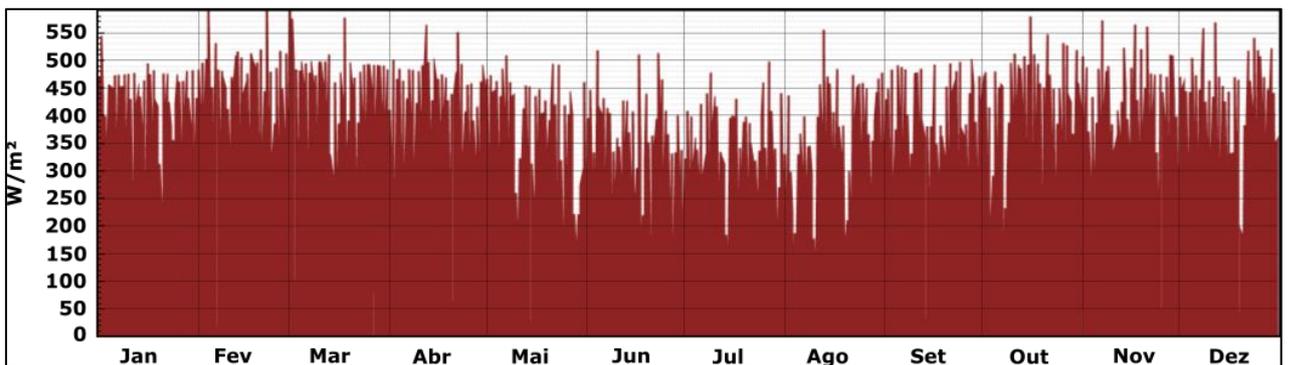


Figura 5 – Taxa de radiação solar difusa (IWEC). Fonte: (Autores, 2023).

A Figura 6 mostra a variação da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de bulbo seco do ar. A média anual é de $26,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, mínima de $19,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$, máxima de $35,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, com um desvio padrão de $2,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

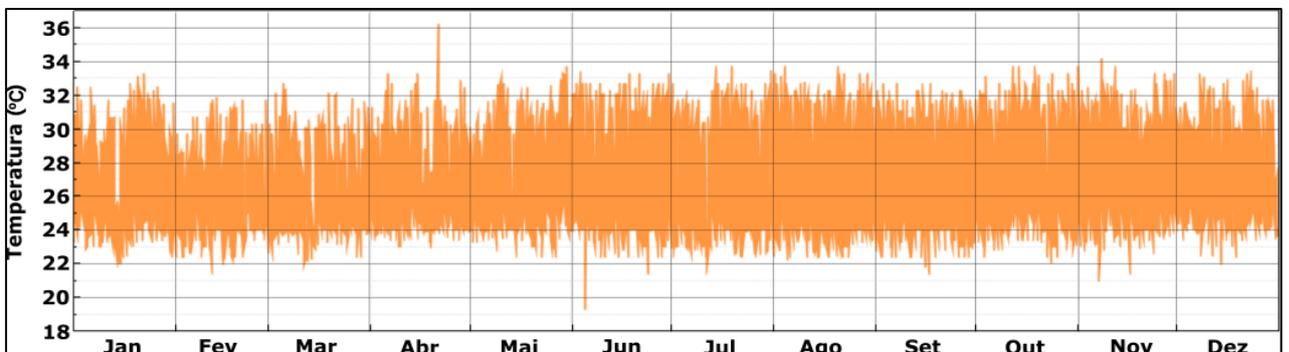


Figura 6 – Temperatura de bulbo seco do ar (IWEC). Fonte: (Autores, 2023).

A Figura 7 mostra a variação da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de bulbo úmido do ar. A média anual é de $24,3^{\circ}\text{C}$, mínima de $19,9^{\circ}\text{C}$, máxima de $27,7^{\circ}\text{C}$, com um desvio padrão de $0,9^{\circ}\text{C}$.

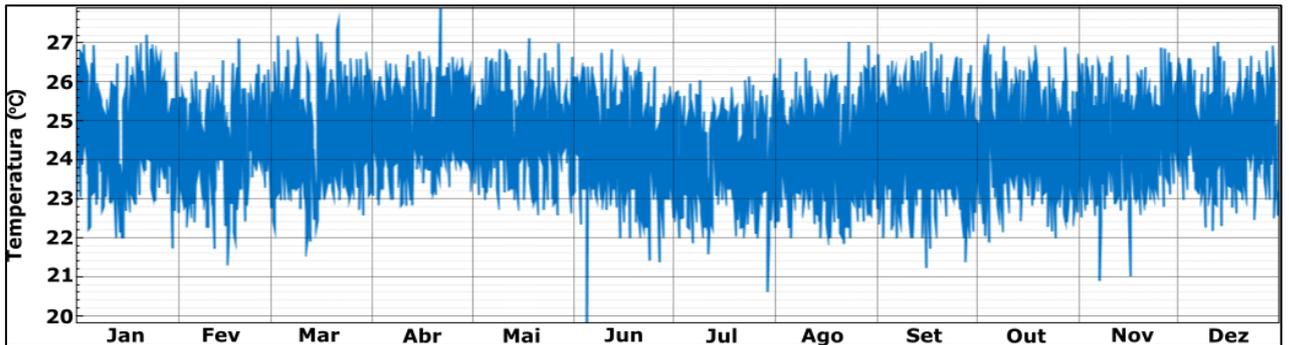


Figura 7 – Temperatura de bulbo úmido do ar (IWEC). Fonte: (Autores, 2023).

Na Figura 8 observa-se que para a zona térmica do edifício, durante 6.500 horas a temperatura está acima de 26°C , e 30 horas abaixo de 24°C , ou seja, fora dos parâmetros de conforto térmico, representando 74,5% do período anual e durante 2.230 horas a zona está dentro dos parâmetros de conforto térmico, representando 25,5% do período anual.

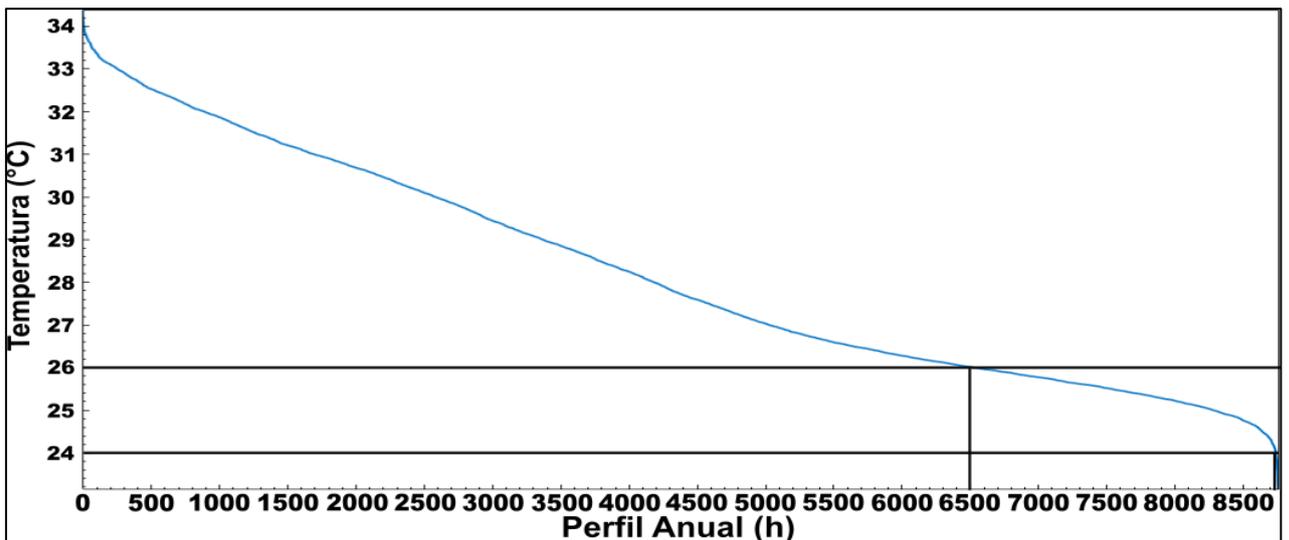


Figura 8 – Perfil anual da curva de duração (IWEC). Fonte: (Autores, 2023).

Os resultados obtidos a partir do arquivo climático IWEC mostram que a cidade de Belém-PA apresenta uma alta incidência de radiação solar direta e difusa, com médias anuais de $116,46\text{ W/m}^2$ e $122,45\text{ W/m}^2$, respectivamente. Além disso, a taxa máxima de radiação solar direta registrada foi de $897,25\text{ W/m}^2$, enquanto a taxa máxima de radiação solar difusa foi de $579,33\text{ W/m}^2$.

Em relação à temperatura do ar, os resultados indicam que a média anual de temperatura de bulbo seco foi de $26,5^{\circ}\text{C}$, com variações mínimas de $19,9^{\circ}\text{C}$ e máximas de $35,5^{\circ}\text{C}$. Já a média anual de temperatura de bulbo úmido foi de $24,3^{\circ}\text{C}$, com variações mínimas de $19,9^{\circ}\text{C}$ e máximas de $27,7^{\circ}\text{C}$, apresentando um desvio padrão relativamente baixo de $0,9^{\circ}\text{C}$.

Esses resultados são importantes para análises de desempenho térmico de edifícios e sistemas de climatização na região, permitindo o dimensionamento adequado de sistemas de refrigeração, ventilação e iluminação natural, por exemplo. O arquivo climático IWEC é uma fonte de dados útil para estudos de clima e clima urbano, permitindo análises comparativas entre diferentes regiões e cidades.

5.2 Resultados utilizando o arquivo climático SWERA

A Figura 9 mostra a taxa de radiação solar direta (W/m^2). A média anual foi de $128,95 \text{ W}/\text{m}^2$ e a máxima de $810,50 \text{ W}/\text{m}^2$, com um desvio padrão de $18,29 \text{ W}/\text{m}^2$.

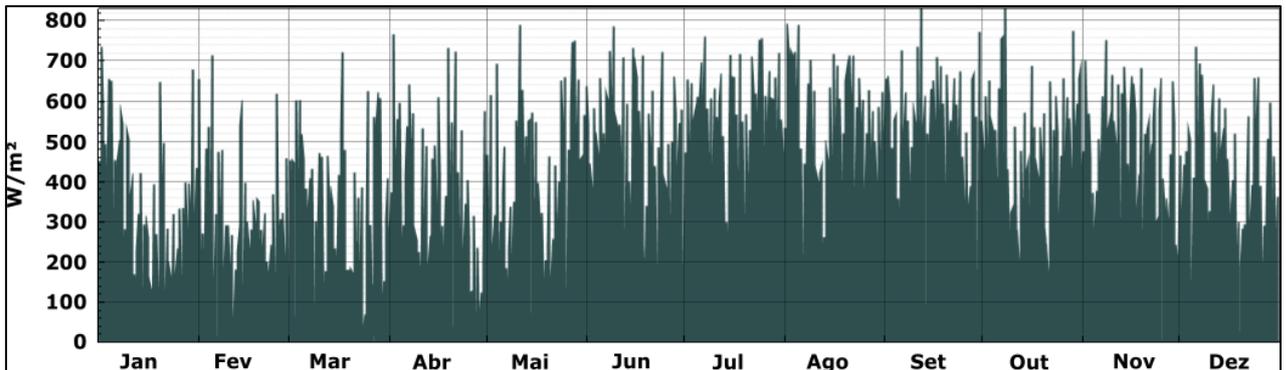


Figura 9 – Taxa de radiação solar direta (SWERA). Fonte: (Autores, 2023).

A Figura 10 mostra a taxa de radiação solar difusa (W/m^2). A média anual foi de $117,19 \text{ W}/\text{m}^2$ e a máxima de $625,50 \text{ W}/\text{m}^2$, com um desvio padrão de $14,78 \text{ W}/\text{m}^2$.

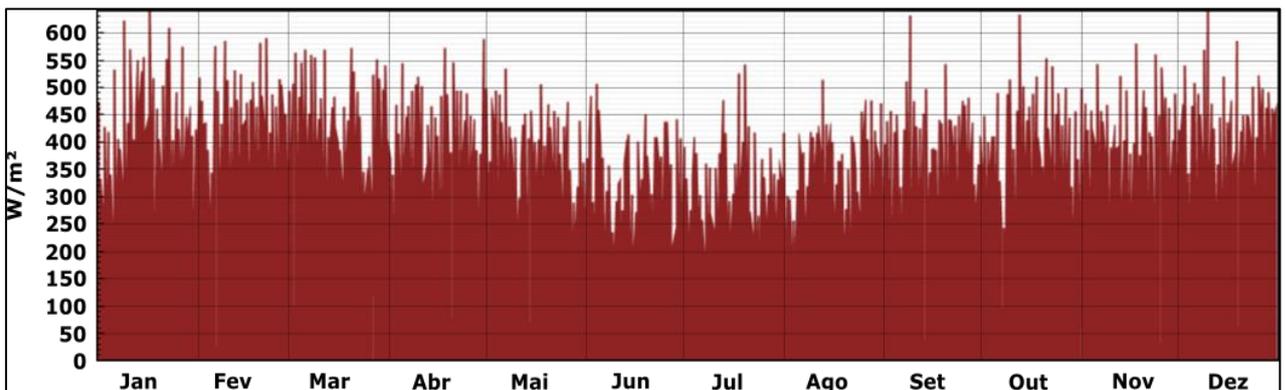


Figura 10 – Taxa de radiação solar difusa (SWERA). Fonte: (Autores, 2023).

A Figura 11 mostra a variação da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de bulbo seco do ar. A média anual é de $26,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, mínima de $21,9 \text{ }^{\circ}\text{C}$, máxima de $35,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$, com um desvio padrão de $2,5 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

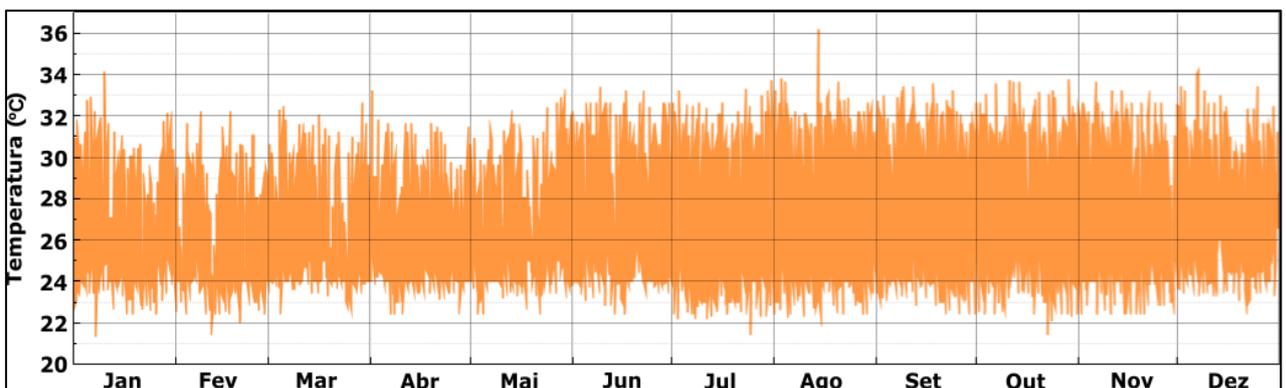


Figura 11 – Temperatura de bulbo seco do ar (SWERA). Fonte: (Autores, 2023).

A Figura 12 mostra a variação da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de bulbo úmido do ar. A média anual é de $24,4 \text{ }^{\circ}\text{C}$, mínima de $19,3 \text{ }^{\circ}\text{C}$, máxima de $28,6 \text{ }^{\circ}\text{C}$, com um desvio padrão de $1 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

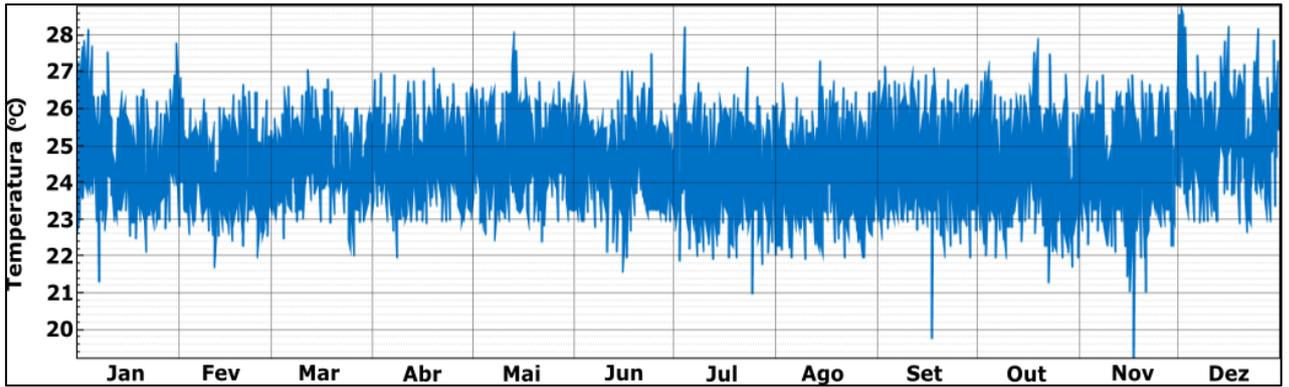


Figura 12 – Temperatura de bulbo úmido do ar (SWERA). Fonte: (Autores, 2023).

Na Figura 13 observa-se que para a zona térmica do edifício, durante 7.100 horas a temperatura está acima de 26 °C, fora dos parâmetros de conforto térmico, representando 81% do período anual e durante 1.660 horas a zona está dentro dos parâmetros de conforto térmico, representando 19% do período anual.

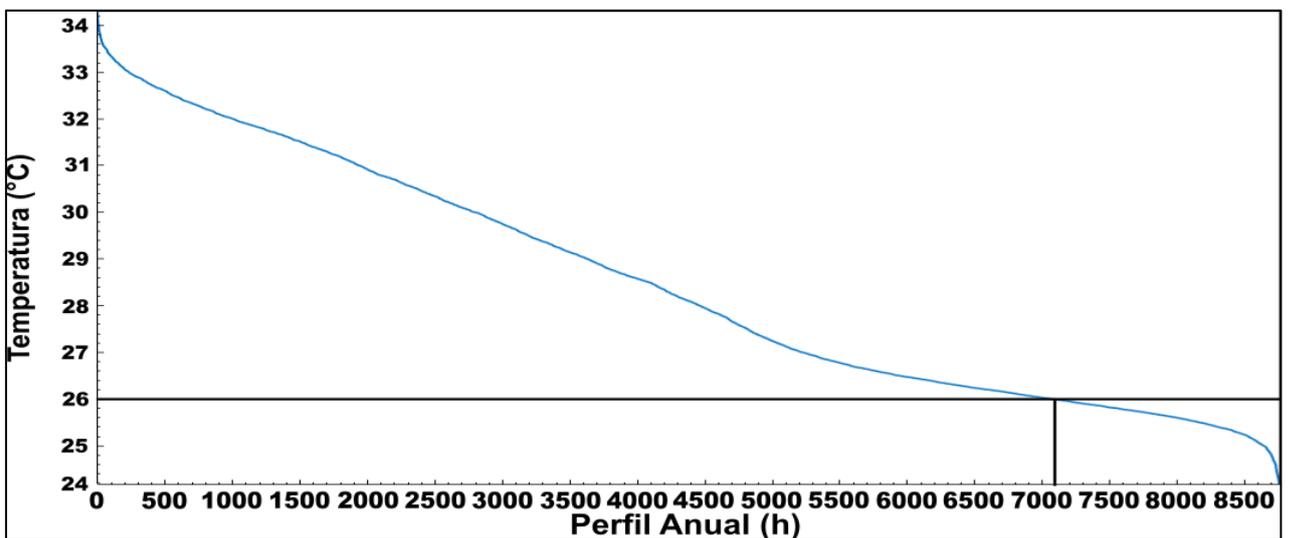


Figura 13 – Perfil anual da curva de duração (SWERA). Fonte: (Autores, 2023).

Os resultados apresentados utilizaram o arquivo climático SWERA. A Figura 9 mostra a taxa de radiação solar direta, que teve uma média anual de 128,95 W/m², indicando que a região possui boa disponibilidade de radiação solar. A Figura 10 mostra a taxa de radiação solar difusa, que teve uma média anual de 117,19 W/m², indicando uma boa quantidade de radiação solar difusa, o que pode ser interessante para aplicação de tecnologias que utilizam essa radiação, como sistemas de iluminação natural.

As Figuras 11 e 12 mostram a variação das temperaturas de bulbo seco e bulbo úmido do ar, respectivamente. A temperatura média anual de bulbo seco do ar foi de 26,4 °C, com mínima de 21,9 °C e máxima de 35,5 °C. A temperatura média anual de bulbo úmido do ar foi de 24,4 °C, com mínima de 19,3 °C e máxima de 28,6 °C. Esses valores indicam um clima quente e úmido na região, o que pode influenciar no conforto térmico das pessoas.

A Figura 13 mostra que a zona térmica do edifício apresenta desconforto térmico durante a maior parte do ano, com 81% do período anual (7.100 horas) acima dos parâmetros de conforto térmico (26 °C), o que sugere que seria necessário adotar medidas de controle térmico para tornar o ambiente interno mais confortável. Somente durante 19% do período anual (1.660 horas), a zona está dentro dos parâmetros de conforto térmico.

Estes resultados indicam um clima quente e úmido na região, com boa disponibilidade de radiação solar direta e difusa, mas que apresenta desafios para o conforto térmico em edificações. O arquivo climático SWERA forneceu informações importantes para o dimensionamento de sistemas de energia solar e para a avaliação do conforto térmico em edificações.

5.3 Resultados utilizando o arquivo climático INMET

A Figura 14 mostra a taxa de radiação solar direta (W/m^2). A média anual foi de $632,76 \text{ W/m}^2$ e a máxima de $726,33 \text{ W/m}^2$, com um desvio padrão de $12,82 \text{ W/m}^2$.

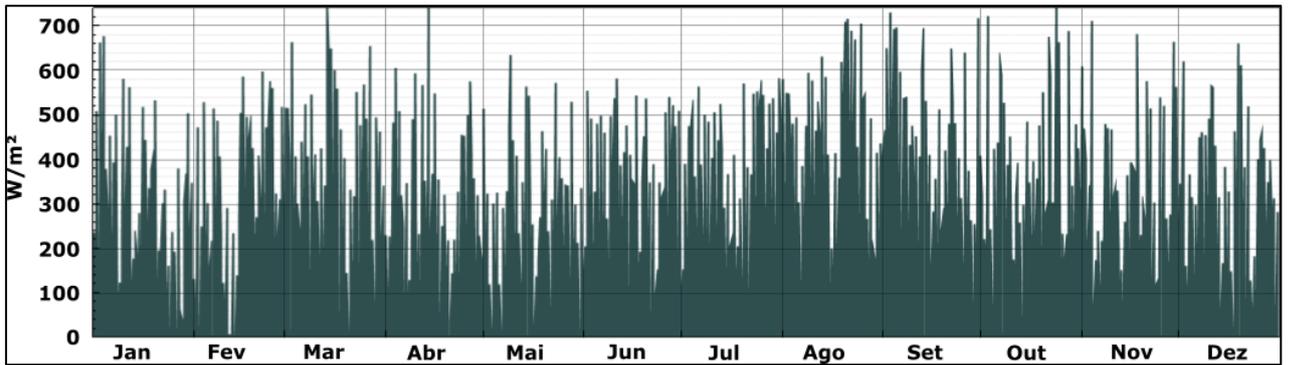


Figura 14 – Taxa de radiação solar direta (INMET). Fonte: (Autores, 2023).

A Figura 15 mostra a taxa de radiação solar difusa (W/m^2). A média anual foi de $103,64 \text{ W/m}^2$ e a máxima de $447,50 \text{ W/m}^2$, com um desvio padrão de $14,08 \text{ W/m}^2$.

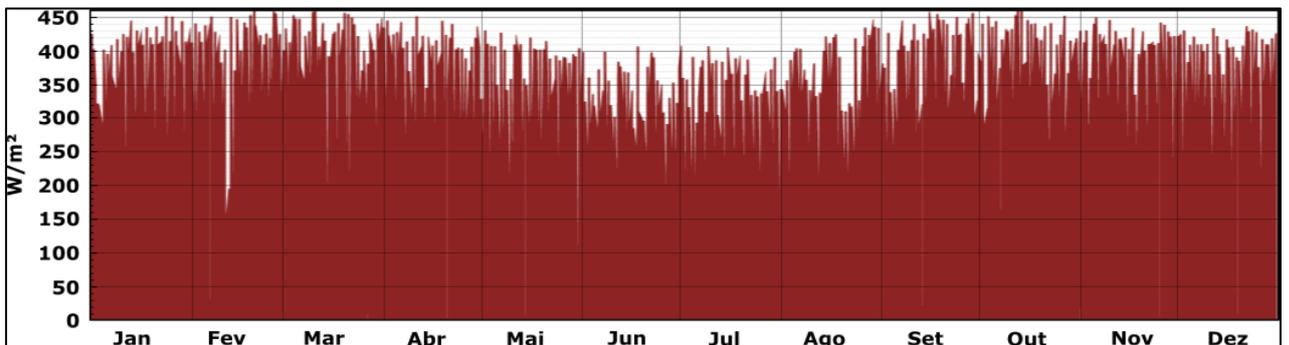


Figura 15 – Taxa de radiação solar difusa (INMET). Fonte: (Autores, 2023).

A Figura 16 mostra a variação da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de bulbo seco do ar. A média anual é de $27,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, mínima de $22,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, máxima de $34,1 \text{ }^{\circ}\text{C}$, com um desvio padrão de $2,7 \text{ }^{\circ}\text{C}$.

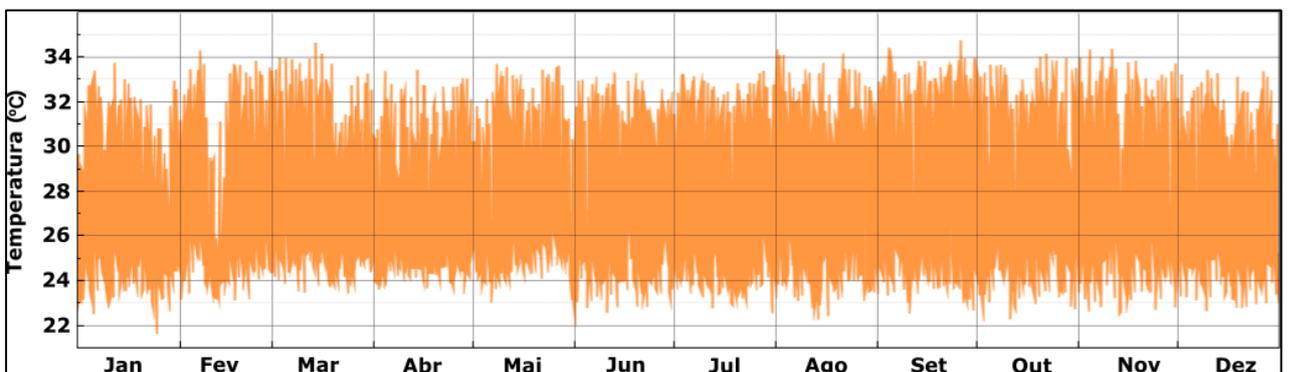


Figura 16 – Temperatura de bulbo seco do ar (INMET). Fonte: (Autores, 2023).

A Figura 17 mostra a variação da temperatura (°C) de bulbo úmido do ar. A média anual é de 24,2 °C, mínima de 21,3 °C, máxima de 27,7 °C, com um desvio padrão de 1 °C.

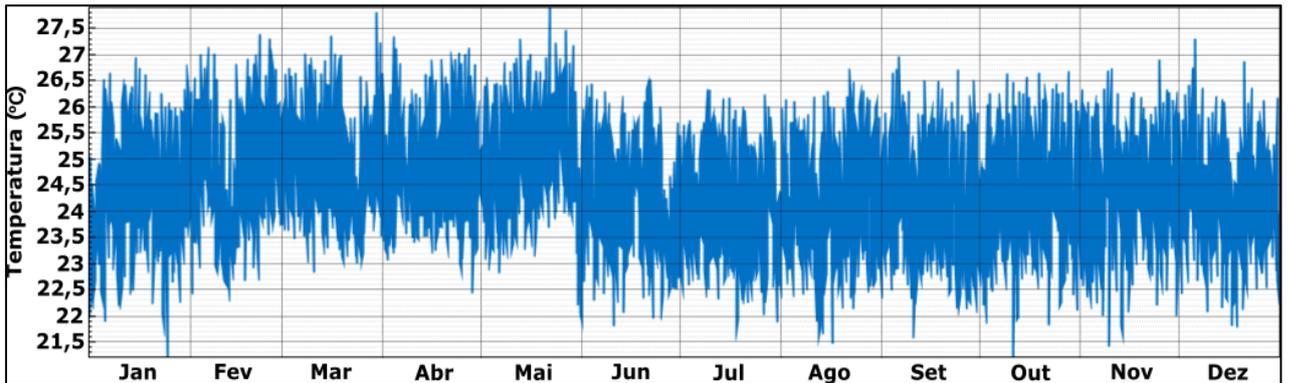


Figura 17 – Temperatura de bulbo úmido do ar (INMET). Fonte: (Autores, 2023).

Na Figura 18 observa-se que para a zona térmica do edifício, durante 6.600 h a temperatura está acima de 26 °C, e durante 30 h, abaixo de 24 °C, ou seja, fora dos parâmetros de conforto térmico, representando 75,6% do período anual e 2.130 horas a zona está dentro dos parâmetros de conforto térmico, representando 24,4% do período anual.

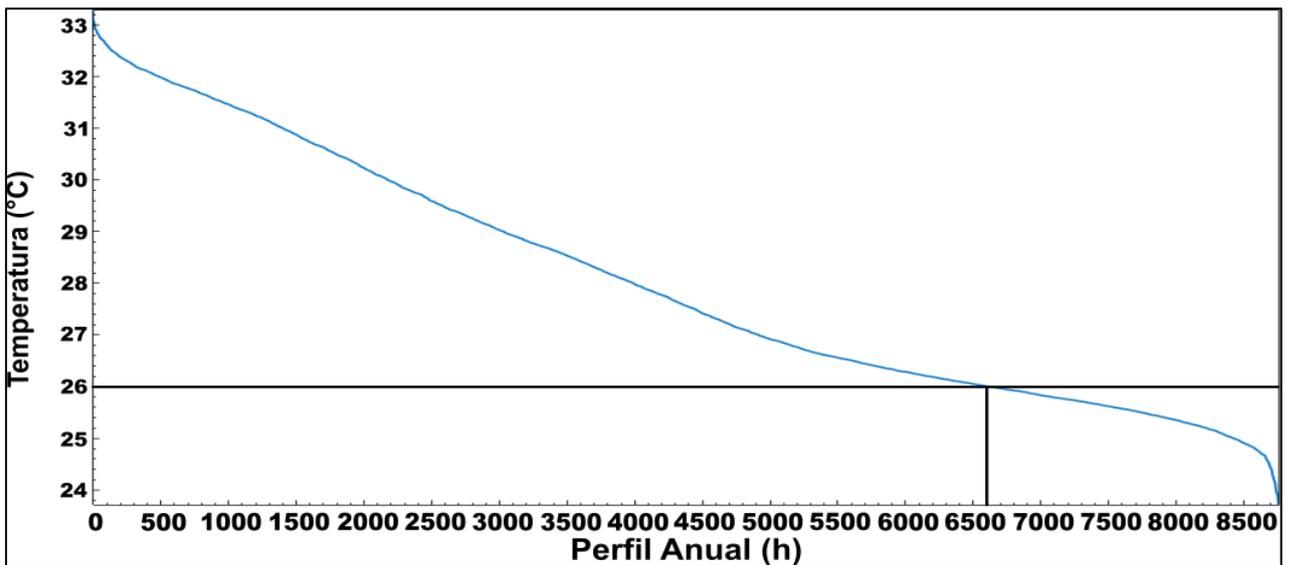


Figura 18 – Perfil anual da curva de duração (INMET). Fonte: (Autores, 2023).

Os resultados obtidos indicam que a média anual da taxa de radiação solar direta foi de 632,76 W/m², enquanto a média anual da taxa de radiação solar difusa foi de 103,64 W/m². Além disso, a temperatura de bulbo seco do ar variou entre 22,1 °C e 34,1 °C, com média anual de 27,1 °C, e a temperatura de bulbo úmido variou entre 21,3 °C e 27,7 °C, com média anual de 24,2 °C. Em relação à zona térmica do edifício, a temperatura ficou fora dos parâmetros de conforto térmico durante 75,6% do período anual, com 6.600 horas acima de 26 °C e 30 horas abaixo de 24 °C, representando apenas 24,4% do período anual dentro dos parâmetros de conforto térmico.

Os resultados indicam uma alta taxa de radiação solar direta, uma grande variabilidade na taxa de radiação solar difusa ao longo do ano e uma temperatura média anual de 27,1 °C. Além disso, a zona térmica do edifício apresentou uma grande parte do período anual fora dos parâmetros de conforto térmico, o que pode indicar a necessidade de medidas de adaptação para melhorar a performance térmica do edifício.

5.4 Resultados utilizando o arquivo climático TRY

A Figura 19 mostra a taxa de radiação solar direta (W/m^2). A média anual foi de $144,22 \text{ W}/\text{m}^2$ e a máxima de $941,08 \text{ W}/\text{m}^2$, com um desvio padrão de $20,64 \text{ W}/\text{m}^2$.

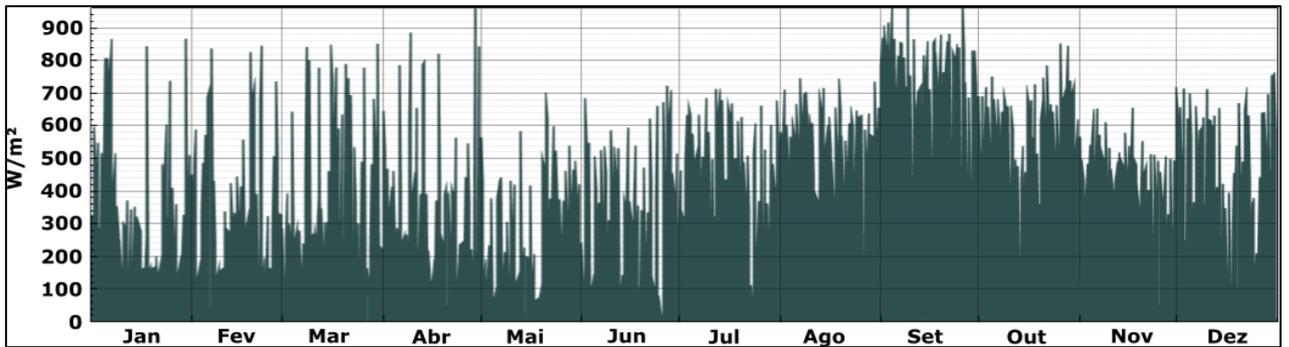


Figura 19 – Taxa de radiação solar direta (TRY). Fonte: (Autores, 2023).

A Figura 20 mostra a taxa de radiação solar difusa (W/m^2). A média anual foi de $114,28 \text{ W}/\text{m}^2$ e a máxima de $457,83 \text{ W}/\text{m}^2$, com um desvio padrão de $14,48 \text{ W}/\text{m}^2$.

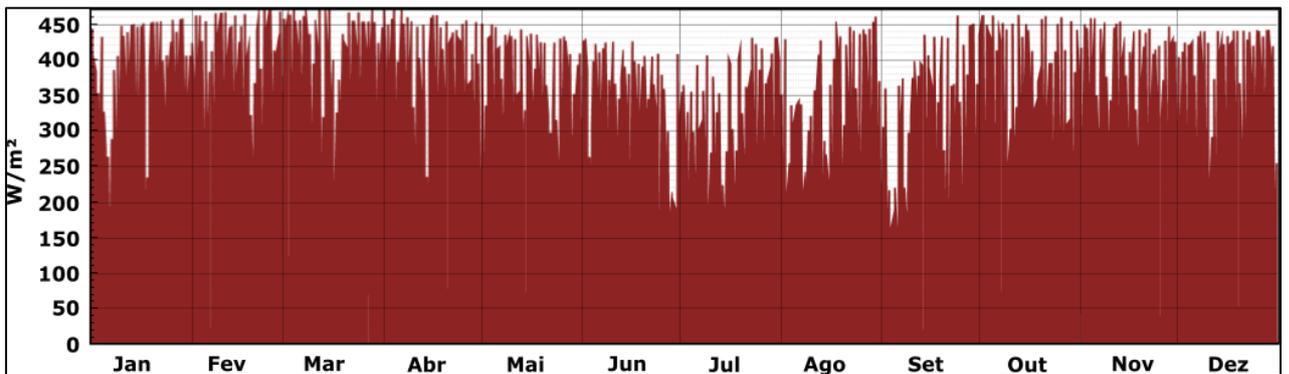


Figura 20 – Taxa de radiação solar difusa (TRY). Fonte: (Autores, 2023).

A Figura 21 mostra a variação da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de bulbo seco do ar. A média anual é de 26°C , mínima de $20,3^{\circ}\text{C}$, máxima de $34,7^{\circ}\text{C}$, com um desvio padrão de $2,9^{\circ}\text{C}$.

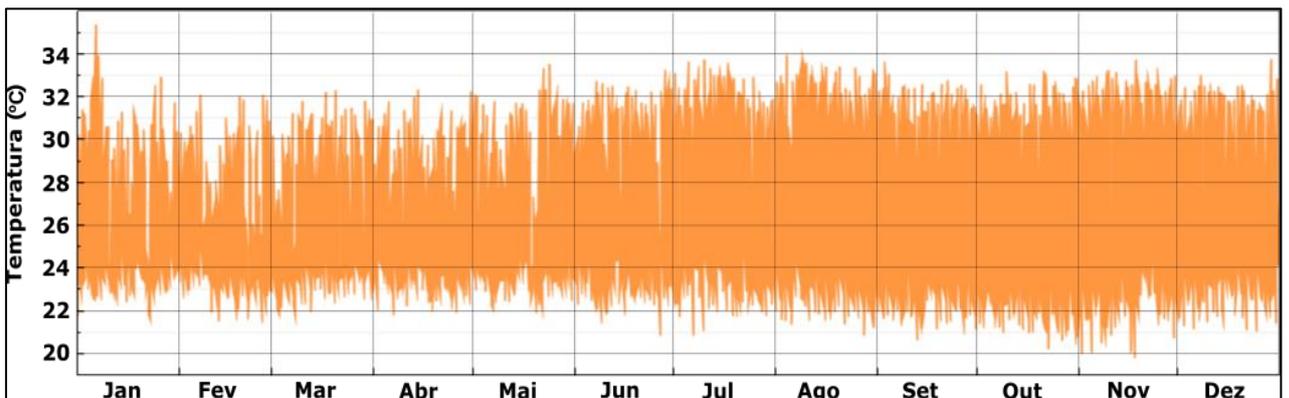


Figura 21 – Temperatura de bulbo seco do ar (TRY). Fonte: (Autores, 2023).

A Figura 22 mostra a variação da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de bulbo úmido do ar. A média anual é de $23,9^{\circ}\text{C}$, mínima de $19,8^{\circ}\text{C}$, máxima de $28,5^{\circ}\text{C}$, com um desvio padrão de $1,2^{\circ}\text{C}$.

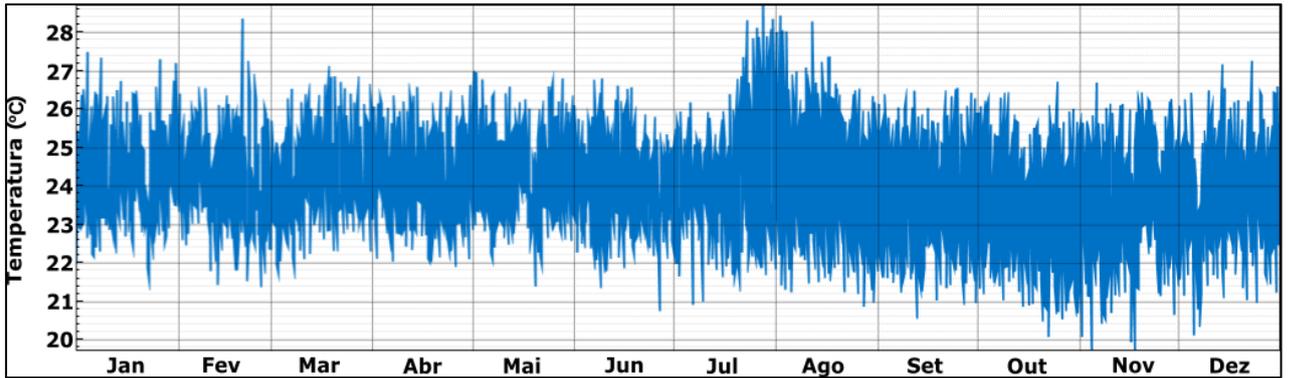


Figura 22 – Temperatura de bulbo úmido do ar (TRY). Fonte: (Autores, 2023).

Na Figura 23 observa-se que para a zona térmica do edifício, durante 5.800 horas a temperatura está acima de 26 °C, fora dos parâmetros de conforto térmico, representando 66,2% do período anual durante 2.960 horas a zona está dentro dos parâmetros de conforto térmico, representando 33,8% do período anual.

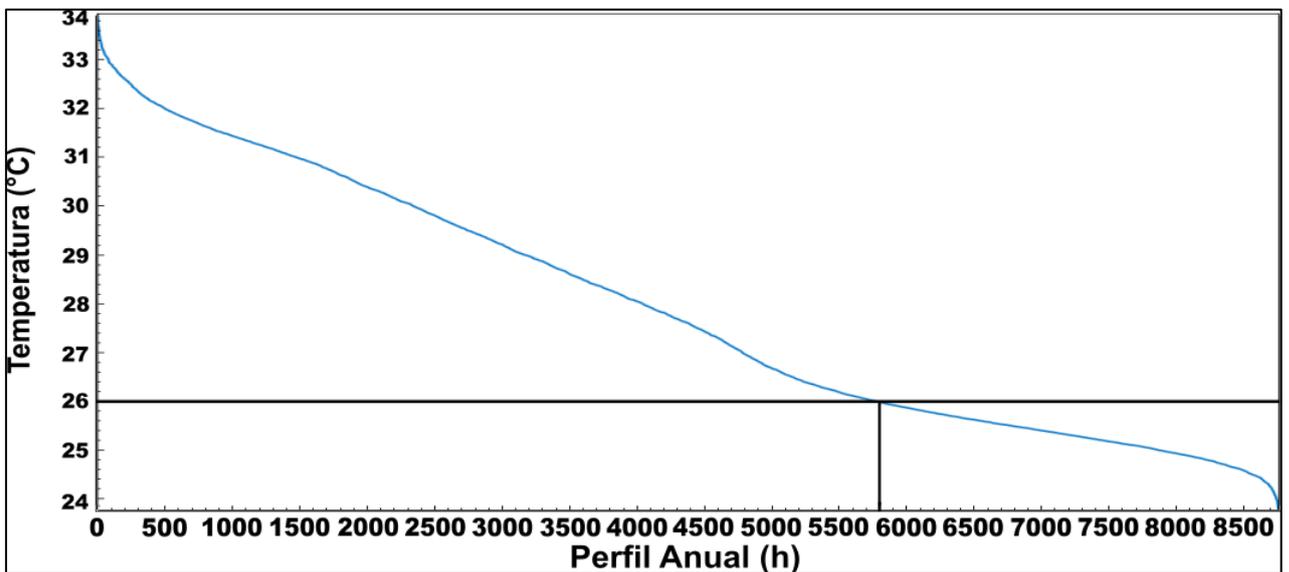


Figura 23 – Perfil anual da curva de duração (TRY). Fonte: (Autores, 2023).

Os resultados indicam que a região da cidade de Belém-PA apresenta uma alta taxa de radiação solar direta e difusa, com médias anuais de 144,22 W/m² e 114,28 W/m², respectivamente. A variação da temperatura de bulbo seco do ar mostra uma média anual de 26 °C, com valores mínimos e máximos de 20,3 °C e 34,7 °C, respectivamente. A variação da temperatura de bulbo úmido do ar apresenta uma média anual de 23,9 °C, com valores mínimos e máximos de 19,8 °C e 28,5 °C, respectivamente.

Em relação ao conforto térmico na zona térmica do edifício, o arquivo TRY apresentou resultados mais favoráveis, com 33,8% do período anual dentro dos parâmetros de conforto térmico e 66,2% acima de 26 °C. Esses resultados indicam que o arquivo TRY pode ser uma opção mais adequada para análises de desempenho térmico de edificações.

Esses resultados são importantes para o projeto de edificações na região estudada, pois indicam que a radiação solar direta e difusa é um fator significativo a ser considerado no dimensionamento do sistema de proteção solar do edifício. Além disso, a variação da temperatura do ar é um aspecto importante a ser considerado no projeto do sistema de condicionamento de ar do edifício, a fim de garantir um conforto térmico adequado aos usuários.

5.5 Resultados utilizando o arquivo climático TMY

A Figura 24 mostra a taxa de radiação solar direta (W/m^2). A média anual foi de $200,73 \text{ W/m}^2$ e a máxima de $893,16 \text{ W/m}^2$, com um desvio padrão de $25,85 \text{ W/m}^2$.

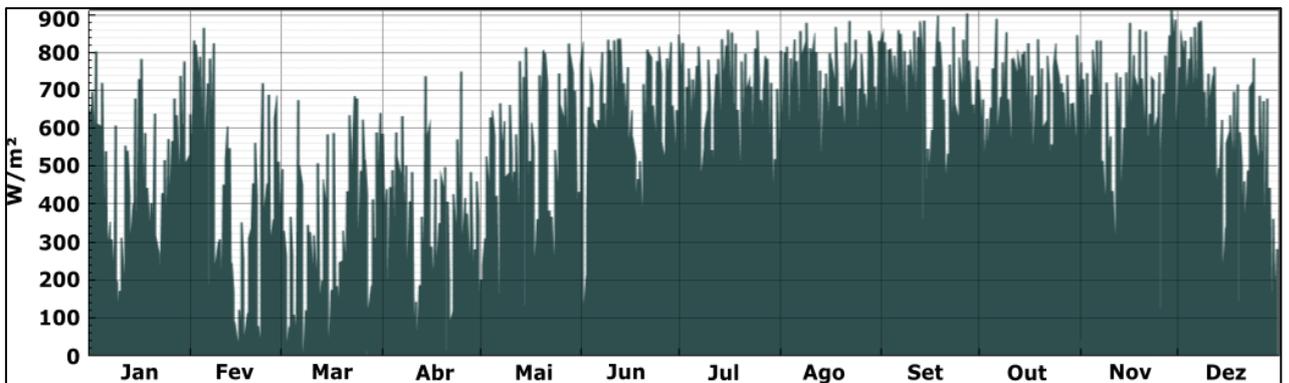


Figura 24 – Taxa de radiação solar direta (TMY). Fonte: (Autores, 2023).

A Figura 25 mostra a taxa de radiação solar difusa (W/m^2). A média anual foi de $68,34 \text{ W/m}^2$ e a máxima de $396,91 \text{ W/m}^2$, com um desvio padrão de $8,65 \text{ W/m}^2$.

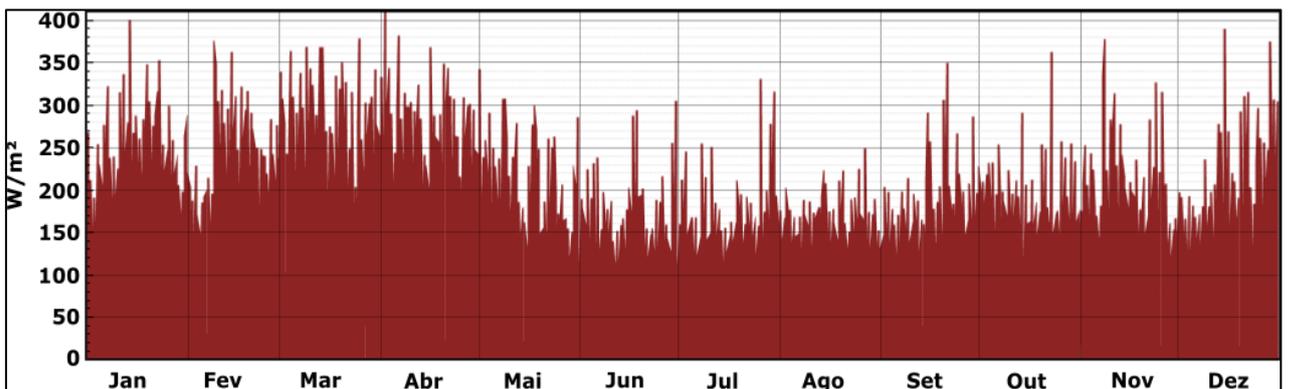


Figura 25 – Taxa de radiação solar difusa (TMY). Fonte: (Autores, 2023).

A Figura 26 mostra a variação da temperatura ($^{\circ}\text{C}$) de bulbo seco do ar. A média anual é de 27°C , mínima de $21,5^{\circ}\text{C}$, máxima de $34,6^{\circ}\text{C}$, com um desvio padrão de $2,7^{\circ}\text{C}$.

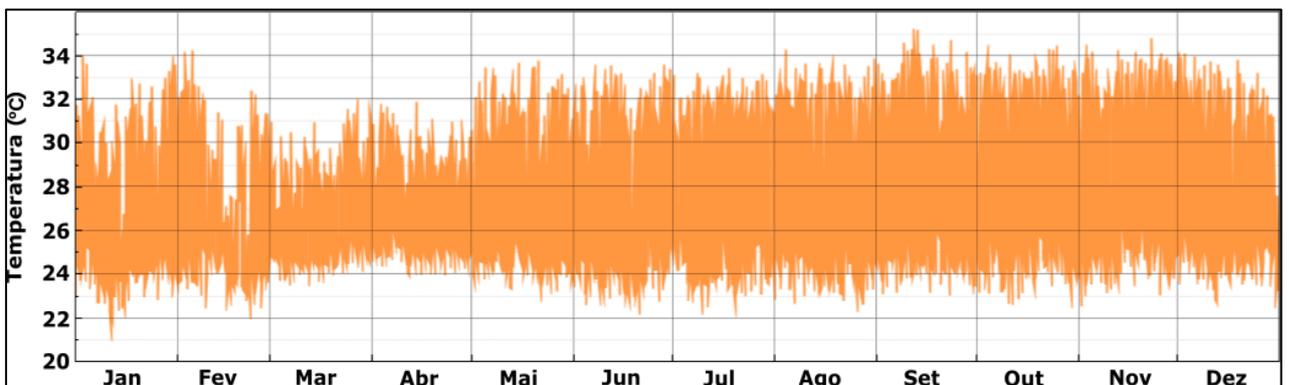


Figura 26 – Temperatura de bulbo seco do ar (TMY). Fonte: (Autores, 2023).

A Figura 27 mostra a variação da temperatura (°C) de bulbo úmido do ar. A média anual é de 24,2 °C, mínima de 20,6 °C, máxima de 27,6 °C, com um desvio padrão de 1 °C.

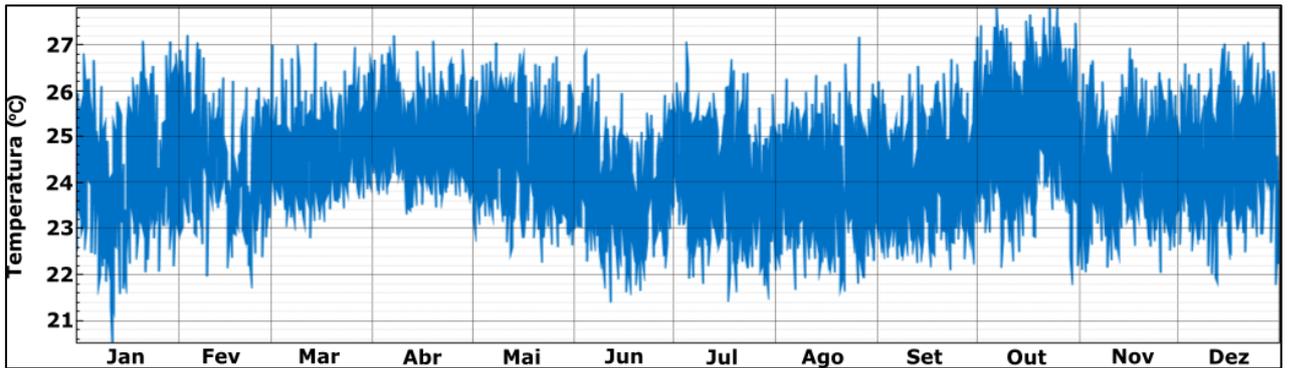


Figura 27 – Temperatura de bulbo úmido do ar (TMY). Fonte: (Autores, 2023).

Na Figura 28 observa-se que para a zona térmica do edifício, durante 7.400 h a temperatura está acima de 26 °C, e durante 60 h, abaixo de 24 °C, ou seja, fora dos parâmetros de conforto térmico, representando 85,1% do período anual e 1.300 horas a zona está dentro dos parâmetros de conforto térmico, representando 14,9% do período anual.

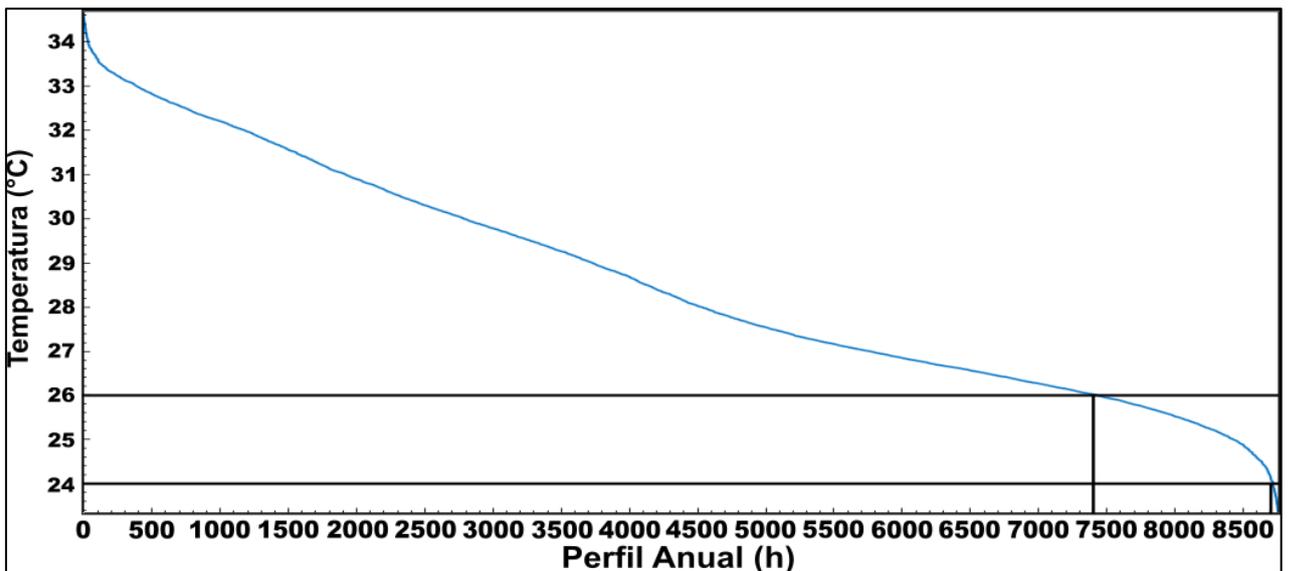


Figura 28 – Perfil anual da curva de duração (TMY). Fonte: (Autores, 2023).

Os resultados apresentados foram obtidos a partir do arquivo climático TMY (*Typical Meteorological Year*), que é um conjunto de dados climáticos representativos de uma localidade, comumente utilizado em estudos de desempenho térmico de edifícios e sistemas de climatização.

A Figura 24 apresenta a taxa de radiação solar direta, que indica a quantidade de energia solar que incide diretamente na superfície do edifício. Os valores encontrados indicam uma grande variação ao longo do ano, com uma média anual de 200,73 W/m² e uma máxima de 893,16 W/m². Esse dado é importante para o cálculo da carga térmica do edifício e para o dimensionamento de sistemas de geração de energia solar.

Já a Figura 25 mostra a taxa de radiação solar difusa, que corresponde à energia solar que é dispersa pela atmosfera e chega à superfície do edifício de forma difusa. A média anual encontrada foi de 68,34 W/m², indicando que a maior parte da energia solar que chega à superfície do edifício

é do tipo direta. No entanto, a presença de radiação solar difusa é importante para o desempenho de sistemas de geração de energia solar fotovoltaica.

A Figura 26 apresenta a variação da temperatura de bulbo seco do ar ao longo do ano. Esse parâmetro é importante para avaliar o desempenho térmico do edifício e a necessidade de sistemas de condicionamento de ar. A média anual encontrada foi de 27 °C, indicando um clima quente na região estudada. A variação entre a temperatura mínima de 21,5 °C e a máxima de 34,6 °C mostra a amplitude térmica da região.

A Figura 27 mostra a variação da temperatura de bulbo úmido do ar ao longo do ano. Esse parâmetro é importante para avaliar o conforto térmico dos ocupantes do edifício, uma vez que a umidade do ar influencia na sensação térmica. A média anual encontrada foi de 24,2 °C, indicando uma umidade relativa do ar elevada na região.

Por fim, a Figura 28 apresenta a análise do desempenho térmico da zona térmica do edifício ao longo do ano. Os resultados mostram que a maior parte do período anual a temperatura da zona está acima do limite de conforto térmico estabelecido (26 °C), o que indica a necessidade de sistemas de climatização para garantir o conforto dos ocupantes. No entanto, 1.300 horas do ano a temperatura está dentro dos parâmetros de conforto térmico, o que pode indicar a possibilidade de estratégias passivas de controle térmico.

5.6 Variação das temperaturas médias, mínimas, máximas e desvio padrão mensais

A Tabela 4 mostra os dados externos da cidade de Belém-PA disponíveis no *Climate Data*.

Tabela 4 – Dados climatológicos para Belém-PA. Fonte: Adaptado de *Climate Data*, (2023).

Mês Ref.	Média (°C)	Mínima (°C)	Máxima (°C)
Janeiro	26,2	24,4	29,3
Fevereiro	25,7	24,1	28,6
Março	25,6	24,1	28,5
Abril	25,7	24,1	28,5
Mai	26,1	24,3	29,1
Junho	26,3	24,3	29,4
Julho	26,4	24,2	29,8
Agosto	27,1	24,5	31,0
Setembro	27,6	24,7	31,7
Outubro	27,9	24,9	32,1
Novembro	28,1	25,2	32,2
Dezembro	27,3	25,0	30,8

A Tabela 5 mostra os resultados da temperatura do ar (°C) média, mínima, máxima e desvio padrão mensais do arquivo climático IWEC, e a variação dos resultados com os dados externos da cidade de Belém-PA disponíveis na Tabela 4.

Tabela 5 – Variação dos resultados (IWEC) com os dados externos da cidade. Fonte: Autores, (2023).

Mês Ref.	IWEC (°C)				Variação		
	Méd(°C)	Mín(°C)	Máx(°C)	Desv(°C)	Méd(°C)	Mín(°C)	Máx(°C)
Jan	27,5	23,1	33,2	2,4	1,3	1,3	3,9
Fev	27,3	23,9	32,2	2,3	1,6	0,2	3,6
Mar	27,4	23,5	32,2	2,3	1,8	0,6	3,7
Abr	27,6	24,3	32,6	2,2	1,9	0,2	4,1
Mai	28,3	24,5	34,3	2,5	2,2	0,2	5,2
Jun	28,3	24,0	33,6	2,6	2,0	0,3	4,2
Jul	28,6	24,2	33,9	2,5	2,2	0,0	4,1
Ago	28,9	25,1	34,1	2,6	1,8	0,6	3,1
Set	28,3	24,2	33,2	2,4	0,7	0,5	1,5
Out	28,7	24,8	33,8	2,5	0,8	0,1	1,7
Nov	28,6	24,4	33,9	2,5	0,5	0,8	1,7
Dez	28,6	24,9	34,2	2,5	1,3	0,1	3,4

A Tabela 6 mostra os resultados da temperatura do ar (°C) média, mínima, máxima e desvio padrão mensais do arquivo climático SWERA, e a variação dos resultados com os dados externos da cidade disponíveis na Tabela 4.

Tabela 6 – Variação dos resultados (SWERA) com os dados externos da cidade. Fonte: Autores, (2023).

Mês Ref.	SWERA (°C)				Variação		
	Méd(°C)	Mín(°C)	Máx(°C)	Desv(°C)	Méd(°C)	Mín(°C)	Máx(°C)
Jan	28,2	24,2	34,3	2,4	2,0	0,2	5,0
Fev	27,8	24,1	33,0	2,3	2,1	0,0	4,4
Mar	28,2	24,3	33,1	2,3	2,6	0,2	4,6
Abr	27,9	24,2	33,1	2,3	2,2	0,1	4,6
Mai	28,3	24,8	34,0	2,4	2,2	0,5	4,9
Jun	28,9	25,1	34,2	2,5	2,6	0,8	4,8
Jul	28,5	24,8	33,6	2,5	2,1	0,6	3,8
Ago	28,8	24,9	34,2	2,6	1,7	0,4	3,2
Set	28,4	25,0	33,1	2,4	0,8	0,3	1,4
Out	28,8	24,6	33,5	2,5	0,9	0,3	1,4
Nov	28,7	24,7	34,0	2,6	0,6	0,5	1,8
Dez	28,8	25,2	34,1	2,4	1,5	0,2	3,3

A Tabela 7 mostra os resultados da temperatura do ar (°C) média, mínima, máxima e desvio padrão mensais do arquivo climático INMET, e a variação dos resultados com os dados externos da cidade disponíveis na Tabela 4.

Tabela 7 – Variação dos resultados (INMET) com os dados externos da cidade. Fonte: Autores, (2023).

Mês Ref.	INMET (°C)				Variação		
	Méd(°C)	Mín(°C)	Máx(°C)	Desv(°C)	Méd(°C)	Mín(°C)	Máx(°C)
Jan	27,6	23,9	32,9	2,3	1,4	0,5	3,6
Fev	27,8	23,7	32,8	2,3	2,1	0,4	4,2
Mar	28,2	24,8	32,7	2,2	2,6	0,7	4,2
Abr	27,4	24,4	32,3	2,1	1,7	0,3	3,8
Mai	27,9	23,7	32,6	2,2	1,8	0,6	3,5
Jun	27,7	24,4	32,1	2,2	1,4	0,1	2,7
Jul	27,8	24,5	32,4	2,2	1,4	0,3	2,6
Ago	28,3	24,7	33,0	2,3	1,2	0,2	2,0
Set	28,5	25,1	32,9	2,2	0,9	0,4	1,2
Out	28,4	24,6	33,1	2,3	0,5	0,3	1,0
Nov	28,5	24,7	33,2	2,3	0,4	0,5	1,0
Dez	27,8	24,5	33,0	2,3	0,5	0,5	2,2

A Tabela 8 mostra os resultados da temperatura do ar (°C) média, mínima, máxima e desvio padrão mensais do arquivo climático TRY, e a variação dos resultados com os dados externos da cidade disponíveis na Tabela 4.

Tabela 8 – Variação dos resultados (TRY) com os dados externos da cidade. Fonte: Autores, (2023).

Mês Ref.	TRY (°C)				Variação		
	Méd(°C)	Mín(°C)	Máx(°C)	Desv(°C)	Méd(°C)	Mín(°C)	Máx(°C)
Jan	28,8	24,7	34,7	2,5	2,6	0,3	5,4
Fev	28,7	24,9	33,7	2,4	3,0	0,8	5,1
Mar	28,7	25,0	34,1	2,3	3,1	0,9	5,6
Abr	28,6	25,2	34,9	2,3	2,9	1,1	6,4
Mai	28,7	25,1	34,4	2,4	2,6	0,8	5,3
Jun	28,7	25,0	34,4	2,5	2,4	0,7	5,0
Jul	28,9	24,8	34,5	2,6	2,5	0,6	4,7
Ago	29,4	25,2	34,7	2,6	2,3	0,7	3,7
Set	29,2	25,2	34,8	2,5	1,6	0,5	3,1
Out	29,0	24,6	34,8	2,5	1,1	0,3	2,7
Nov	29,0	25,0	34,3	2,6	0,9	0,2	2,1
Dez	28,8	24,9	34,3	2,5	1,5	0,1	3,5

A Tabela 9 mostra os resultados da temperatura do ar (°C) média, mínima, máxima e desvio padrão mensais do arquivo climático TMY, e a variação dos resultados com os dados externos da cidade disponíveis na Tabela 4.

Tabela 9 – Variação dos resultados (TMY) com os dados externos da cidade. Fonte: Autores, (2023).

Mês Ref.	TMY (°C)				Variação		
	Méd(°C)	Mín(°C)	Máx(°C)	Desv(°C)	Méd(°C)	Mín(°C)	Máx(°C)
Jan	27,9	23,7	33,3	2,4	1,7	0,7	4,0
Fev	27,5	23,3	33,4	2,4	1,8	0,8	4,8
Mar	27,1	24,0	31,7	2,0	1,5	0,1	3,2
Abr	27,5	24,3	31,8	2,0	1,8	0,2	3,3
Mai	28,5	24,7	33,8	2,3	2,4	0,4	4,7
Jun	28,9	24,6	33,9	2,4	2,6	0,3	4,5
Jul	29,0	25,3	33,8	2,4	2,6	1,1	4,0
Ago	29,3	25,3	33,8	2,4	2,2	0,8	2,8
Set	29,3	25,6	33,7	2,3	1,7	0,9	2,0
Out	29,1	25,3	33,8	2,3	1,2	0,4	1,7
Nov	29,8	25,7	34,6	2,4	1,7	0,5	2,4
Dez	28,9	24,2	34,6	2,5	1,6	0,8	3,8

Na análise das curvas de duração, é possível afirmar que o melhor resultado em relação ao conforto térmico ocorreu com base no arquivo climático TRY, onde 2.960 horas a zona está dentro dos parâmetros definidos pela norma ISO 9241, representando 33,8% do período anual.

Por fim, os resultados obtidos sobre a variação das temperaturas médias, mínimas, máximas foram confrontados com as correspondentes temperaturas que constam na base dados externos da cidade disponíveis no *Climate Data*, foi possível observar que houve variações significativas em relação às cargas da cidade, principalmente nos dados médios e máximos. A partir disso o arquivo climático INMET obteve as menores variações entre os demais, sendo o mais próximo dos dados em comparação com a base *Climate Data*.

6. Considerações Finais

Os resultados obtidos a partir da simulação utilizando os arquivos climáticos IWEC, SWERA, INMET, TRY e TMY foram demonstrados através de gráficos e tabelas e confrontados com os dados da base *Climate Data* para a cidade de Belém-PA. A simulação mostrou resultados da radiação solar direta; radiação solar difusa; temperatura de bulbo seco do ar; temperatura de bulbo úmido do ar, e curvas de duração. Os resultados obtidos indicam que o arquivo climático TRY deve ser o mais adequado para a simulação termoenergética de edifícios em Belém-PA. Isso se deve ao fato de que ele apresentou melhores resultados em relação ao conforto térmico quando comparado com os outros arquivos climáticos testados. Esses resultados foram obtidos a partir da análise de diversos parâmetros, incluindo radiação solar direta, radiação solar difusa, temperatura de bulbo seco e temperatura de bulbo úmido do ar, bem como as curvas de duração. Portanto, considerando a importância desses parâmetros para a avaliação do conforto térmico em edifícios, é indicado o uso do arquivo climático TRY para simulações termoenergéticas em Belém-PA.

Conforme os resultados, constatou-se que a partir do confronto dos arquivos climáticos e os dados da base *Climate Data* para Belém-PA, houve variações significativas em relação às cargas climáticas da cidade, especialmente nos dados médios e máximos. Com a utilização de diferentes arquivos climáticos a simulação numérica permite uma avaliação mais precisa das condições climáticas que afetam uma edificação, a partir dos resultados obtidos foi possível apontar que o arquivo INMET foi o que menos apresentou variações em relação às cargas climáticas da cidade.

Referências

- American Society of Heating, Refrigerating and Air-conditioning Engineers. Thermal environmental conditions for human occupancy. American Society of Heating, Refrigerating and Air conditioning Engineers Inc. ASHRAE. ANSI/ASHRAE Standard 55. Atlanta, 2010.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Desempenho térmico de edificações Parte 3: Zoneamento bioclimático brasileiro e diretrizes construtivas para habitações unifamiliares de interesse social. ABNT NBR 15220-3. Rio de Janeiro. 2005.
- Associação Brasileira de Normas Técnicas. Desempenho térmico de edificações – Parte 2: Métodos de cálculo da transmitância térmica, da capacidade térmica, do atraso térmico e do fator solar de elementos e componentes de edificações. ABNT NBR 15220-2. Rio de Janeiro. 2003.
- Borges, L. S. (2022). *Simulação Numérica da Temperatura do Ar em um Edifício com Materiais Construtivos Alternativos*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, PA, Brasil.
- Climate Data. Clima Belém (Brasil). (2022, maio 01). *climate-data.org*. Recuperado em fevereiro 06, 2023, em <https://pt.climate-data.org/america-do-sul/brasil/para/belem-4299/>
- Companhia de Desenvolvimento e Administração da Área Metropolitana de Belém, CODEM. (2011). Caracterização do Território. *belem.pa.gov.br*. Recuperado em fevereiro 06, 2023, em http://www.belem.pa.gov.br/app/ANUARIO_2011/1_01_Caracterizacao%20do%20Territorio.o.pdf
- EnergyPlusTM. *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
- Fanger, O. (1972). Thermal comfort mcgraw-hill book company. *New York*.
- Gonçalves, J. C. S., & Bode, K. (2015). *Edifício ambiental*. Oficina de textos.
- Halawa, E., van Hoof, J., & Soebarto, V. (2014). The impacts of the thermal radiation field on thermal comfort, energy consumption and control—A critical overview. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 37, 907-918.
- Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, IBGE. Cidades e Estados. *ibge.gov.br*. Recuperado em fevereiro 06, 2023, em <https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/pa/belem.html>.
- International Organization for Standardization. Ergonomics - Determination of metabolic heat production, ISO 9241. Genebra, 2011.
- International Organization for Standardization. Ergonomics of the thermal environment - Assessment of the influence of the thermal environment using subjective judgement scales. ISO 10551. Geneva. 1995.
- International Organization for Standardization. Moderate thermal environments-determination of the PMV and PPD indices and specification of the conditions for the thermal comfort. ISO 7730. Suíça, 2005.
- 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-
- Nakano, J., Tanabe, S. I., & Kimura, K. I. (2002). Differences in perception of indoor environment between Japanese and non-Japanese workers. *Energy and Buildings*, 34(6), 615-621.
- National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2023). DView (Versão 1.2.0) [Software] Recuperado de *openstudio.net*: <http://openstudio.net/downloads>
- National Renewable Energy Laboratory (NREL). (2023). OpenStudio (Versão 3.5.1) [Software] Recuperado de *openstudio.net*: <http://openstudio.net/downloads>

- Nobre, J. C. A. (2022). *Análise e Simulação Numérica sobre Desempenho Térmico Estrutural em um Auditório Utilizando o Software EnergyPlus*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, PA, Brasil.
- Rivero, R. (1986). *Acondicionamento térmico natural-Arquitetura e clima*. Porto Alegre: DCL.
- Romero, M. A. B. (2013). *Princípios bioclimáticos para o desenho urbano*. SciELO-Editora UnB.
- Santos, L. R., & Andrade, H. O. D. (2008). Avaliação quantitativa do conforto térmico de uma cidade em área de transição climática: Feira de Santana-Bahia, Brasil. *Revista de Geografia Norte Grande*, (40), 77-84.
- Secretaria Municipal de Coordenação Geral do Planejamento e Gestão, SEGEP. (2020). Anuário Estatístico do Município de Belém. *belem.pa.gov.br*. Recuperado em fevereiro 06, 2023, em <https://anuario.belem.pa.gov.br/wp-content/uploads/2020/12/Regiao-Metropolitana.pdf>
- Sousa, D. L. P. (2022). *Análise do Desempenho Térmico de um Edifício utilizando o Software EnergyPlus*. Trabalho de Conclusão de Curso, Universidade Federal do Pará, Ananindeua, PA, Brasil.
- Trimble Navigation. (2023). SketchUp Pro (Versão 21.0.391) [Software] Recuperado de *openstudio.net*: <https://www.sketchup.com/pt-BR/plans-and-pricing/sketchup-pro>
- United States Department of Energy (DOE). (2023). EnergyPlus (Versão 22.2.0) [Software] Recuperado de *openstudio.net*: <https://energyplus.net/downloads>
- US Department of Energy (DOE). (2023). *energy.gov*. Recuperado em fevereiro 05, 2023, em <https://www.energy.gov/>.