



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO – UFRJ
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA

VAGNER LUIZ DE JESUS MARQUES

ESTUDO SOBRE A RELAÇÃO ENTRE ONDAS DE
CALOR, CONFORTO TÉRMICO E SAÚDE HUMANA
NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO UTILIZANDO
DADOS METEOROLÓGICOS DE SUPERFÍCIE E
OBSERVAÇÕES DO SATÉLITE GOES-16

RIO DE JANEIRO – RJ
2024

VAGNER LUIZ DE JESUS MARQUES

ESTUDO SOBRE A RELAÇÃO ENTRE ONDAS DE CALOR, CONFORTO TÉRMICO E SAÚDE HUMANA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO UTILIZANDO DADOS METEOROLÓGICOS DE SUPERFÍCIE E OBSERVAÇÕES DO SATÉLITE GOES-16

Dissertação apresentada à banca examinadora da Universidade Federal do Rio de Janeiro (UFRJ), como requisito para a obtenção do título de Mestre em Meteorologia.

Orientador: D. Sc. José Ricardo de Almeida França

ESTUDO SOBRE A RELAÇÃO ENTRE ONDAS DE CALOR, CONFORTO TÉRMICO E SAÚDE HUMANA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO UTILIZANDO DADOS METEOROLÓGICOS DE SUPERFÍCIE E OBSERVAÇÕES DO SATÉLITE GOES-16

DISSERTAÇÃO SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DO CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO (PPGM-IGEO-CCMN-UFRJ), COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE MESTRE EM CIÊNCIAS (ÁREA: METEOROLOGIA).

Examinada por:

Documento assinado digitalmente
 JOSE RICARDO DE ALMEIDA FRANCA
Data: 20/12/2024 23:41:10-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. José Ricardo de Almeida França - UFRJ
(Orientador)

Documento assinado digitalmente
 LEONARDO DE FARIA PERES
Data: 23/12/2024 16:12:43-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Leonardo de Faria Peres - UFRJ

Documento assinado digitalmente
 ANTONIO CARLOS DA SILVA OSCAR JUNIOR
Data: 23/12/2024 17:50:36-0300
Verifique em <https://validar.iti.gov.br>

Prof. Dr. Antonio Carlos da Silva Oscar Junior - UERJ

VAGNER LUIZ DE JESUS MARQUES

ESTUDO SOBRE A RELAÇÃO ENTRE ONDAS DE CALOR, CONFORTO TÉRMICO E SAÚDE HUMANA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO UTILIZANDO DADOS METEOROLÓGICOS DE SUPERFÍCIE E OBSERVAÇÕES DO SATÉLITE GOES-16 / VAGNER LUIZ DE JESUS MARQUES. – Rio de Janeiro, 2024-

98p. : il. (algumas color.) ; 30 cm.

Orientador: Prof. Dr. José Ricardo de Almeida França

Dissertação (Mestrado) – Universidade Federal do Rio de Janeiro – UFRJ

Centro de Ciências Matemáticas e da Natureza

Instituto de Geociências

Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, 2024.

1. Sensoriamento Remoto. 2. GOES-16. 2. Clima. I. D.Sc. José Ricardo de Almeida França. II. Universidade Federal do Rio de Janeiro. III. Programa de Pós-graduação em Meteorologia. IV. ESTUDO SOBRE A RELAÇÃO ENTRE ONDAS DE CALOR, CONFORTO TÉRMICO E SAÚDE HUMANA NO ESTADO DO RIO DE JANEIRO UTILIZANDO DADOS METEOROLÓGICOS DE SUPERFÍCIE E OBSERVAÇÕES DO SATÉLITE GOES-16

Agradecimentos

Os agradecimentos principais são direcionados em primeiro lugar à Deus que sempre me conduziu em momentos de adversidade, aos meus pais Walter Marques e Marlene Marques que pavimentaram meu caminho dando-me condições de lutar pelos meus objetivos, agradeço a minha esposa Alessandra Marques por dividir todos os momentos desta trajetória lutando lado a lado até a vitória.

As próximas palavras trazem agradecimentos especiais as pessoas que marcaram a minha vida não só pelo conhecimento científico mas também pelo olhar de respeito, companherismo e compreensão, inicio pelo meu orientador Professor Doutor José Ricardo de Almeida França que sem perceber se tornou meu orientador muito antes do curso de Mestrado ainda quando eu estava na graduação, enxergando em mim o que eu mesmo não enxergava e dando-me a oportunidade de viver a ciência e conviver com cientistas, destaco neste agradecimento um grupo de professores e professoras que integram o LABORATÓRIO DE APLICAÇÕES DE SATÉLITES AMBIENTAIS - LASA UFRJ que juntamente com meu orientador me apresentaram através de um olhar de companherismo o mundo da ciência, muito obrigado aos professores e professoras Renata Libonati dos Santos, Priscila Kienteca Lange, Ana M. B. Nunes, Lino Augusto Sander De Carvalho e Leonardo de Faria Peres, que a trajetória de vocês seja próspera e longa.

Resumo

A interação entre ilhas de calor, conforto térmico ondas de calor no estado do Rio de Janeiro-Brasil foi explorada neste estudo. Foram calculados os índices CTX90pct e CTN90pct para cada mês de janeiro a dezembro, tendo como base o período de 2010 a 2022 utilizando dados de temperatura do ar aqusitados das estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET, foram analisadas as estações de Duque de Caxias(A603), Niterói(A627), Forte de Copacabana(A652), Jacarepaguá(A636) e Vila Militar(A621). Com a utilização dos índices calculados, foram identificadas 46 ocorrências sendo consideradas também ondas de período diurno e noturno.

O conforto térmico foi avaliado utilizando o índice Humidity Index(THI), foram identificadas 15 ocorrências com três ou mais dias consecutivos classificados como períodos de desconforto térmico perigoso. Foi observado que os períodos de desconforto térmico podem ocorrer de forma independente sendo classificados neste trabalho como "Ondas de Desconforto Térmico".

A espacialização dos dados de temperatura e umidade relativa do ar foram estimados pelo satélite GOES-16. Para validação dos dados estimados em relação aos dados observados, foram considerados dados da estação SBGL no Rio de Janeiro e dados do satélite GOES-16 aplicando as métricas estatísticas de coeficiente de correlação de Pearson para temperatura do ar estimada próximo a superfície. Para a temperatura do ar observada em relação a estimada o coeficiente foi de 0.88 e para a umidade relativa do ar estimada em relação a observada o coeficiente foi de 0.38. Os desvios padrões calculados para temperatura do ar estimada e observada foram de 3.18 e 3.63 respectivamente, já para a umidade relativa do ar estimada e observada foram de 11.9 e 10.16 respectivamente. A análise de BIAS e distribuição sugerem um comportamento de superestimação dos dados de temperatura do ar para temperaturas abaixo de 22 °C e de subestimação para temperaturas superiores a 22 °C.

Com a utilização dos dados orbitais foi possível identificar a intensificação do desconforto térmico em áreas caracterizadas como ilhas de calor durante o evento de associação entre uma onda de calor e uma onda de desconforto térmico. O impacto da associação das ondas de calor e ondas de desconforto térmico foi analisado para o minicípio do Rio de Janeiro, considerando as doençaõ do sistema cardiocirculatório. As maiores taxas de óbitos esperados e observados foram registradas nas ocorrências associadas entre ondas de calor e ondas de desconforto térmico sendo submetidas ao teste t student de significância estatística com resultados de p-valor < 0.001.

Conclui-se que os eventos de ondas de calor e ondas de desconforto térmico são eventos distintos e que a associação desses eventos em áreas classificadas como ilhas de calor intensificam a ocorrência de óbitos relacionados a doenças do sistema cardiocirculatório.

Palavras-chave: Microclima, Sensoriamento remoto, eventos extremos e áreas urbanas.

Abstract

This study explored the interaction between urban heat islands, thermal comfort, and heatwaves in the state of Rio de Janeiro, Brazil. The CTX90pct and CTN90pct indices were calculated for each month from January to December, based on the period from 2010 to 2022, using air temperature data acquired from meteorological stations of the National Institute of Meteorology (INMET). The stations analyzed were Duque de Caxias (A603), Niterói (A627), Forte de Copacabana (A652), Jacarepaguá (A636), and Vila Militar (A621). Using the calculated indices, 46 occurrences were identified, considering both daytime and nighttime periods.

Thermal comfort was evaluated using the Humidity Index (THI). Fifteen occurrences of three or more consecutive days classified as periods of dangerous thermal discomfort were identified. It was observed that periods of thermal discomfort can occur independently, classified in this work as "Thermal Discomfort Waves."

The spatialization of temperature and relative humidity data was estimated using the GOES-16 satellite. For the validation of the estimated data against the observed data, data from the SBGL station in Rio de Janeiro and data from the GOES-16 satellite were considered, applying statistical metrics such as Pearson's correlation coefficient for estimated near-surface air temperature. The coefficient was 0.88 for observed versus estimated air temperature and 0.38 for relative humidity. The standard deviations for estimated and observed air temperature were 3.18 and 3.63, respectively, and for estimated and observed relative humidity were 11.9 and 10.16, respectively. The analysis of BIAS and distribution suggests a tendency to overestimate air temperature data for temperatures below 22°C and to underestimate for temperatures above 22°C.

Using orbital data, it was possible to identify the intensification of thermal discomfort in areas characterized as heat islands during the association between a heatwave and a thermal discomfort wave. The impact of the association between heatwaves and thermal discomfort waves was analyzed for the municipality of Rio de Janeiro, considering cardiocirculatory system diseases. The highest rates of expected and observed deaths were recorded during occurrences associated with both heatwaves and thermal discomfort waves. These occurrences were subjected to statistical significance testing using the t-student test, yielding p-values < 0.001.

It is concluded that heatwave and thermal discomfort wave events are distinct and that the association of these events in areas classified as heat islands intensifies the occurrence of deaths related to cardiocirculatory system diseases.

Keywords: Microclimate, Remote sensing, extreme events and urban areas.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Distribuição espacial das estações meteorológicas do sistema INMET no estado do Rio de Janeiro, em específico pode-se observar a distribuição das estações na região metropolitana do estado do Rio de Janeiro. . . .	19
Figura 2 – Principais informações das plataformas orbitais onde é possível identificar e analisar as características que possibilitam análises mais assertivas para cada tipo de pesquisa a ser desenvolvida.	22
Figura 3 – Área de atuação do satélite GOES-16, onde existem as áreas classificadas como Full Disk (cobertura de todo o continente Americano), CONUS e Mesoscale (cobertura de toda a região dos Estados Unidos da América.	24
Figura 4 – Processo de sondagem do perfil vertical atmosférico para temperatura do ar. A curva vermelha representa os dados gerados pela estação meteorológica, enquanto a curva azul representa os dados recuperados e processados a partir do satélite GOES-16. Os dados de radiossondagem adquiridos da estação meteorológica correspondem à data de 16 de março de 2022 às 12:00 UTC.	29
Figura 5 – Processo de sondagem do perfil vertical atmosférico para umidade relativa do ar. A curva vermelha representa os dados gerados pela estação meteorológica, enquanto a curva azul representa os dados recuperados e processados a partir do satélite GOES-16. Os dados de radiossondagem adquiridos da estação meteorológica correspondem à data de 16 de março de 2022 às 12:00 UTC.	30
Figura 6 – Trabalhos que utilizaram dados estimados pelo GOES-16 em análises estatísticas em comparação com dados observados e modelos preditivos.	31
Figura 7 – A figura apresenta a metodologia de definição de ondas de calor	35
Figura 8 – índice UTCI	36
Figura 9 – índice THI	37
Figura 10 – Fluxograma da Metodologia	40
Figura 11 – Coeficiente de correlação de Pearson para temperatura próximo a superfície entre os dados observados pela estação SBGL e dados estimados pelo satélite GOES-16, foram utilizadas 671 amostras para dados observados e 671 amostras para dados estimados.	41
Figura 12 – Coeficiente de correlação de Pearson para umidade relativa do ar próximo a superfície entre os dados observados pela estação SBGL e dados estimados pelo satélite GOES-16, foram utilizadas 659 amostras para dados observados e 659 amostras para dados estimados..	42

Figura 13 – A figura apresenta o Bias entre os dados estimados e os dados observados para temperatura do ar próximo a superfície continental.	44
Figura 14 – A figura apresenta o Bias entre os dados estimados e os dados observados para umidade relativa do ar próximo a superfície continental.	44
Figura 15 – A figura apresenta a distribuição entre os dados estimados e os dados observados referentes a temperatura do ar próximo a superfície continental.	45
Figura 16 – A figura apresenta a distribuição em percentis referente aos dados estimados em relação aos dados observados	46
Figura 17 – A figura apresenta a distribuição entre os dados estimados e os dados observados referentes a umidade relativa do ar próximo a superfície continental.	46
Figura 18 – A figura apresenta a distribuição em percentis referente aos dados estimados em relação aos dados observados	47
Figura 19 – Índice de Onda de Desconforto Térmico - IODT 2020	59
Figura 20 – Índice de Onda de Desconforto Térmico - IODT 2021	59
Figura 21 – Índice de Onda de Desconforto Térmico - IODT 2022	60
Figura 22 – Índice de Onda de Desconforto Térmico - IODT 2023	60
Figura 23 – Índice de Onda de Desconforto Térmico - IODT 2024	61
Figura 24 – Conforto Térmico 2020	62
Figura 25 – Conforto Térmico 2021	63
Figura 26 – Conforto Térmico 2022	63
Figura 27 – Conforto Térmico 2023	64
Figura 28 – Conforto Térmico 2024	64
Figura 29 – Conforto Térmico estação meteorológica e GOES-16	65
Figura 29 – Temperatura de Superfície	68
Figura 30 – Temperatura do Ar próximo a Superfície	71
Figura 31 – Temperatura do Ar próximo a Superfície	74
Figura 32 – Desconforto Térmico Índice THI	77
Figura 33 – Conforto Térmico Bairros do Rio de Janeiro	78
Figura 34 – Mapa de ilhas de calor [1]	79
Figura 35 – Copacabana 02/01/2023 Onda de Calor	80
Figura 36 – Copacabana 15/01/2023 - Onda de Calor e Onda de Desconforto Térmico	80
Figura 37 – Copacabana 18/01/2023 Sem Onda de Calor e Onda de Desconforto Térmico	81
Figura 38 – Vargem Grande 02/01/2023 Onda de Calor	81
Figura 39 – Vargem Grande 15/01/2023 Onda de Calor e Ondas de Desconforto	82
Figura 40 – Vargem Grande 18/01/2023 - Sem Onda de Calor e Onda de Desconforto Térmico	82
Figura 41 – Jacarepaguá 02/01/2023 Onda de Calor	83

Figura 42 – Jacarepaguá 15/01/2023 - Onda de Calor e Onda de Desconforto Térmico	83
Figura 43 – Jacarepaguá 18/01/2023 - Sem Onda de Calor e Onda de Desconforto Térmico	84
Figura 44 – Irajá 02/01/2023 Onda de Calor	84
Figura 45 – Irajá 15/01/2023 - Onda de Calor e Ondas de Desconforto Térmico . .	85
Figura 46 – Irajá 18/01/2023 - Sem Onda de Calor e Ondas de Desconforto Térmico	85
Figura 47 – Nova Iguaçu 02/01/2023 - Onda de Calor	86
Figura 48 – Nova Iguaçu 15/01/2023 - Onda de Calor e Onda de Desconforto Térmico	86
Figura 49 – Nova Iguaçu 18/01/2023 - Sem Onda de Calor e Ondas de Desconforto Térmico	87

Lista de tabelas

Tabela 1 – Estudos referentes ao conforto térmico	17
Tabela 2 – Canais de bandas espectrais	23
Tabela 3 – Produtos do Satélite GOES-16	25
Tabela 4 – Cobertura geográfica-Resolução horizontal	25
Tabela 5 – Índices Derivados do Perfil de Temperatura	26
Tabela 6 – Classificação do Desconforto/Conforto Térmico	38
Tabela 7 – Classificação da Correlação de Pearson para Temperatura	41
Tabela 8 – Estatística dos Dados Desvio Padrão	43
Tabela 9 – Estatística dos Dados - Erro Quadrático Médio	43
Tabela 10 – Estatística dos Dados Bias	44
Tabela 11 – Índices CTX90pct e CTN90pct	49
Tabela 12 – Onda de Calor e Período de Desconforto Térmico	49
Tabela 13 – Excesso de mortalidade por mês para 2021	88
Tabela 14 – Excesso de mortalidade por mês para 2022	89
Tabela 15 – Significancia estatistica e intervalo de confiança 2021	90
Tabela 16 – Significancia estatistica e intervalo de confiança 2022	90

Lista de abreviaturas e siglas

GOES-16/GOES-16	Geostationary Operational Environmental Satellite
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
SEPINF	Serviço de Processamento da Informação
CGMN	Coordenação-Geral de Modelagem Numérica
Cg	Cobertura geográfica
Rv	Resolução vertical
Rh	Resolução horizontal
Fm	Faixa de medição
Am	Acurácia de medição
Ad	Atualização de dados
DECEA	Departamento de Controle do Espaço Aéreo
DHN	Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha
LAP	Legacy Atmospheric Profile
ECMWF	European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
UTC	Universal Time Coordinated
UTCI	Universal Thermal Climate Index
THI	Temperature and Humidity Index
LAP	Legacy Atmospheric Profile
NWP	Numerical Weather Prediction
RAOB	Radiosonde Observation
AMSR2	Advanced Microwave Scanning Radiometer
NOAA	National Oceanic and Atmospheric Administration
WRF	Weather Research and Forecasting
ODT	Ondas de Desconforto Térmico
IODT	Índice de Ondas de Desconforto Térmico

Sumário

	Lista de tabelas	12
1	Introdução	15
1.1	Objetivos	18
2	Área de Estudo	18
3	Fundamentação Teórica	20
3.1	Mudanças climáticas	20
3.2	Ilhas de Calor	20
3.3	Desconforto Térmico	20
3.4	Ondas de Calor	21
3.5	Definição do Satélite Utilizado	21
3.6	Características do Satélite GOES-16	22
3.6.1	Região de Cobertura do Satélite GOES-16	24
3.7	Radiossondagem e Perfil Atmosférico	25
3.8	Perfil Vertical de Temperatura e Umidade Relativa do GOES-16	27
4	Metodologia	32
4.1	Estatística de Dados	32
4.1.1	Correlação de Pearson	32
4.1.2	Desvio Padrão GOES-16, Desvio Padrão estação SBGL, Erro Médio Quadrático e Bias	32
4.1.3	BOXPLOT e PERCENTIS	33
4.2	Identificação das Ilhas de Calor	33
4.3	Classificação das Ondas de Calor	34
4.4	Análise e Qualificação do Desconforto Térmico devido a Altas Temperaturas	36
4.5	Influência das Ondas de Calor e Desconforto Térmico no registro de órbitas	38
4.6	Fluxograma de Inter-relação entre Ilhas de Calor, Ondas de Calor e Desconforto Térmico.	40
5	Resultados	41
6	Conclusões	91
7	Perspectivas Futuras	92
	REFERÊNCIAS	93

1 Introdução

O clima urbano evidencia um quadro complexo, no qual os parâmetros atmosféricos sofrem grandes mudanças [2]. De acordo com o Programa das Nações Unidas para o Desenvolvimento, a população que habita áreas urbanas no mundo passou de 751 milhões, em 1950, para 4,2 bilhões, em 2018. Projeções revelam que, até 2030, o mundo terá 43 megacidades, sendo que a maior parte estará localizada em países em desenvolvimento.

As áreas urbanas são regiões onde ocorre uma influência generalizada do processo de ocupação gerado pelo ser humano, potencializando as respostas aos eventos climáticos [3].

As mudanças climáticas e o aquecimento global tornaram-se os principais problemas sociais nas últimas décadas e, com isso, podemos observar um número crescente de estudos científicos voltados à análise dos efeitos provenientes dessas mudanças [4].

Um dos efeitos causados pela associação entre as mudanças climáticas e o fator antropogênico, referente ao uso e à ocupação do solo, é o surgimento das ilhas de calor, que, associadas à ocorrência das ondas de calor, potencializam o desconforto térmico.

O monitoramento do clima específico dessas regiões faz-se necessário, pois, segundo [5] o fator antropogênico tem uma contribuição significativa no aumento da intensidade do desconforto térmico.

O desconforto térmico elevado aumenta a tensão cardiovascular devido ao estresse térmico, tornando-se uma questão primária de saúde [6].

As doenças cardiorrespiratórias são as principais causas de morbidade e mortalidade em todo o mundo. Numerosos estudos epidemiológicos sugerem um aumento de eventos cardiorrespiratórios durante as ondas de calor [7].

Os eventos extremos de calor podem ter grandes impactos na vida das pessoas. O Brasil, com clima predominantemente tropical, é um dos países mais quentes do mundo e, historicamente, tem registrado aumentos significativos na frequência de ondas de calor [8].

Um estudo desenvolvido por [1] evidenciou a ocorrência de ilhas de calor associadas a esse fator antropogênico na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, destacando a não uniformidade no processo de uso e ocupação do solo na região.

Segundo [9], o processo de uso e ocupação do solo que origina as ilhas de calor proporciona uma percepção diferenciada da temperatura ambiente em comparação com regiões de menor intensidade de urbanização.

Entretanto, o monitoramento da temperatura do ar próximo à superfície enfrenta grandes dificuldades, principalmente devido à baixa cobertura espacial das estações meteorológicas.

Ao longo do tempo, diversos estudos foram desenvolvidos utilizando dados orbitais para a estimativa da temperatura de superfície, bem como da temperatura e da umidade relativa do ar próximo à superfície. Os satélites têm se apresentado como grandes aliados no processo de monitoramento e análise dos parâmetros atmosféricos e de superfície. Porém, o processo de sensoriamento remoto, com a utilização de dados orbitais, apresenta algumas limitações, como resolução espacial, resolução temporal e a ausência de dados quando há cobertura de nuvens na região de observação (principalmente na aquisição de dados da superfície continental). Para suprir essa demanda de monitoramento, foi proposta a utilização de dados estimados pelo Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES-16).

Uma das formas de avaliar o impacto das ondas de calor é estimando o índice de conforto térmico. Entretanto, trabalhos mais recentes não estabelecem um padrão para a utilização dos índices de conforto térmico, ficando restritos às características do estudo desenvolvido. Diversos estudos, como [10], [11] e [12], utilizam o Universal Thermal Climate Index (UTCI) para estimar o conforto térmico. Outros trabalhos apresentam a utilização do Temperature and Humidity Index (THI), como os estudos de [13] e [14]. A utilização de dados referentes aos parâmetros atmosféricos é predominantemente oriunda de estações meteorológicas, por se tratarem de dados observados, fornecendo assim maior assertividade, conforme os estudos de [13], [15], [14], [16] e [17]. Outros estudos utilizam dados de reanálise, abordagem que pode auxiliar no desenvolvimento de pesquisas onde a cobertura espacial de monitoramento é reduzida, como observado em [10], [11], [12] e [18]. A utilização de dados oriundos de satélites tem se apresentado como uma alternativa para estimar as características do microclima da região de interesse na ausência de dados observados, considerando que os dados de reanálise possuem uma escala espacial que dificulta a caracterização microclimática da região. A Tabela 1 apresenta alguns dos trabalhos mais recentes referentes à estimativa de diferentes índices de conforto térmico.

Tabela 1 – Estudos referentes ao conforto térmico

Estudo	Base de dados	Índice	Local
[15]	Estações meteorológicas	DI	Estado Unidos-USA
[19]	NOAA	PMV	Estado Unidos-USA
[10]	ERA-5	UTCI	Península Arábica
[11]	ERA-5	UTCI	India
[20]	MODIS	SDI	Espanha
[12]	ERA-5	UTCI	India
[13]	Estação meteorológica	THI	Iran
[18]	Reanálise	IDH	Brasil
[14]	Estação meteorológica	THI	Brasil
[16]	Estações meteorológicas	KDI	Brasil
[21]	Coleta de amostras	ID	Brasil
[17]	Estações meteorológicas	IDH	Brasil

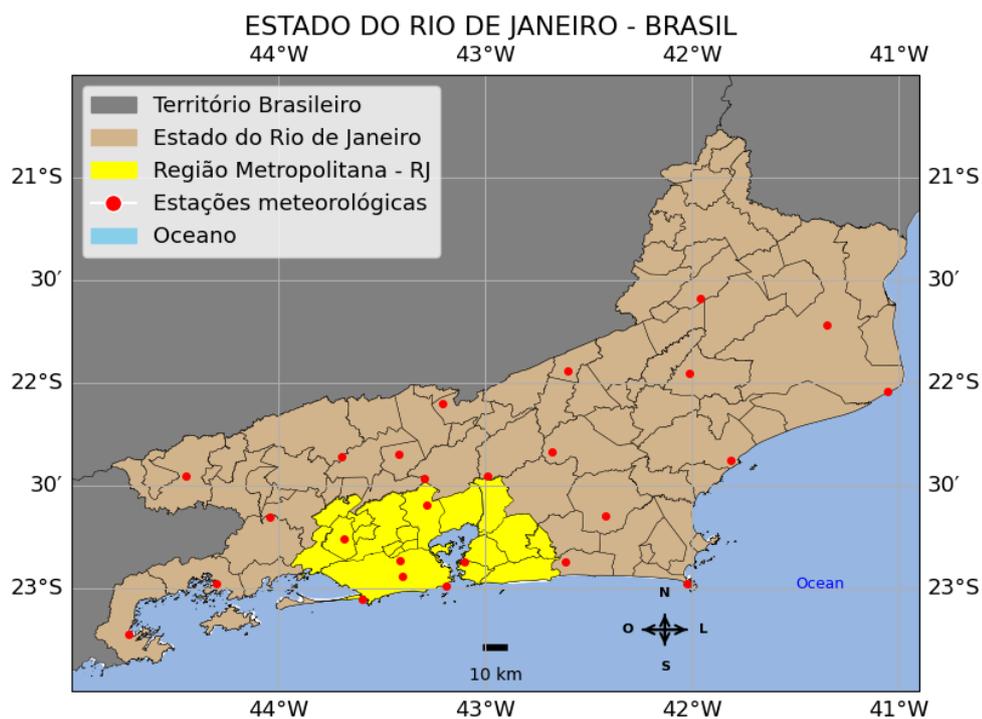
1.1 Objetivos

O objetivo geral deste trabalho é analisar a relação entre ondas de calor e os períodos de desconforto térmico, tendo como objetivo específico identificar o possível impacto da associação de ambos os eventos no aumento de registros de óbitos.

2 Área de Estudo

Uma das grandes dificuldades do monitoramento com dados observados é a cobertura espacial fornecida pela rede de estações meteorológicas. Atualmente, existem diversas redes de monitoramento que atuam no estado do Rio de Janeiro. Em sua maior parte, as estações meteorológicas estão concentradas no sistema INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), tendo seus dados processados pelo SEPINF (Serviço de Processamento da Informação) e pela CGMN (Coordenação-Geral de Modelagem Numérica). A disponibilidade contínua de dados depende dos processos ligados à manutenção constante dos sistemas ou estações de monitoramento. No entanto, esse processo de manutenção sofre diversos períodos de descontinuidade, comprometendo assim a resolução temporal dos dados observados. Em última análise, os dados com maior disponibilidade e continuidade na resolução temporal são aqueles oriundos das estações automáticas do sistema. Na Figura 1, é apresentada a distribuição das estações automáticas do sistema INMET no estado do Rio de Janeiro, com destaque para a região metropolitana.

Segundo [22], o espaço físico é marcado por paisagens fisiográficas bem distintas, como as baixadas, os maciços e colinas, as baías, lagoas e lagoas. Segundo [23], a região é influenciada pela presença do Oceano Atlântico Sul, a Baía de Guanabara no leste e a Baía de Sepetiba no oeste. A topografia da cidade é composta por três maciços: o de Gericinó, Tijuca e Pedra Branca. A área é influenciada pelo Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul, sendo os ventos predominantes de sul durante a tarde e a noite, e de norte no final da noite e durante a manhã. A cobertura vegetal do Rio de Janeiro é composta pelas formações características da Mata Atlântica, bioma no qual o estado se insere. O litoral e as áreas úmidas são recobertos por vegetação dunar, manguezais e restingas.



Fonte: autor

Figura 1 – Distribuição espacial das estações meteorológicas do sistema INMET no estado do Rio de Janeiro, em específico pode-se observar a distribuição das estações na região metropolitana do estado do Rio de Janeiro.

3 Fundamentação Teórica

3.1 Mudanças climáticas

Segundo [24] "Mudanças climáticas" referem-se a alterações significativas e duradouras nos padrões de clima da Terra, que ocorrem ao longo de décadas a milhões de anos. Atualmente, o termo é amplamente usado para descrever as mudanças no clima da Terra causadas principalmente pela atividade humana, especialmente desde o século XX, como o aumento das temperaturas globais devido à emissão de gases de efeito estufa provenientes da queima de combustíveis fósseis.

Em 2023, o [24] publicou o Relatório de Síntese AR6, que aborda a ciência das mudanças climáticas. Este relatório destaca que as atividades humanas, como a queima de carvão, petróleo e gás, são responsáveis pelo aquecimento global observado, resultando em uma elevação de aproximadamente 1,1°C acima dos níveis pré-industriais. Este aquecimento contribui para eventos climáticos extremos mais frequentes e intensos, como ondas de calor, tempestades severas e secas.

3.2 Ilhas de Calor

O processo de urbanização contribuiu para a formação das ilhas de calor. As ilhas de calor consistem em um efeito local produzido pelas características da morfologia urbana, incluindo a menor taxa de albedo, aumento da inércia térmica, áreas verdes limitadas e alta densidade de construção que podem influenciar na ocorrência das ondas de calor [25]. Segundo [26] as propriedades térmicas dos materiais de construção também facilitam a condução do calor mais rapidamente que o solo e a vegetação nas áreas rurais, contribuindo para o aumento da temperatura.

3.3 Desconforto Térmico

A complexidade da avaliação do conforto térmico deriva da combinação de fatores quantitativos e qualitativos sobre a percepção subjetiva. Os principais fatores quantitativos são as físicas características da pessoa (produção metabólica de calor, roupas de isolamento) e do ambiente (temperatura do ar, radiação média temperatura, velocidade do vento, umidade relativa) [27]. Diversas abordagens tem sido desenvolvidas, segundo [27] aproximadamente 200 métodos de cálculos para estimar o conforto térmico foram desenvolvidos nos últimos 100 anos. O processo de abordagem utilizando estes métodos também se modificou ao longo do tempo, onde alguns limitam-se a considerar apenas as variáveis meteorológicas entretanto outros consideram fatores socio-ambientais que auxiliam na classificação do desconforto térmico.

O clima da cidade, ou Sistema Clima Urbano (S.C.U.), deve ser compreendido

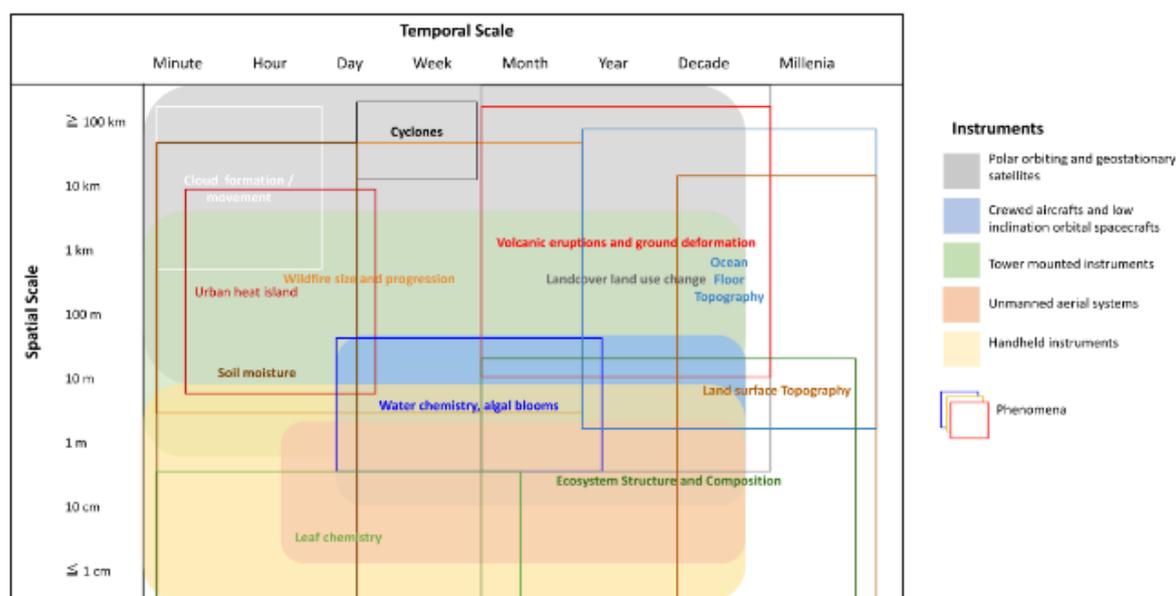
como um sistema cuja produção e funcionamento seriam o resultado da interação dinâmica entre os subsistemas Termodinâmico, Físico-Químico e Hidrodinâmico que, por sua vez, expressam-se através de canais de percepção que se iniciam na essência da atmosfera e desembocam na percepção humana [28]. A percepção do conforto térmico pode ser estimado por diferentes métodos de cálculo, porém todos os métodos consideram diferentes faixas de classificação que variam de confortável a altamente desconfortável ou perigosa. Períodos extensos de extremo desconforto térmico podem ser interpretados como uma "Onda de Desconforto Térmico".

3.4 Ondas de Calor

A definição geral para ondas de calor, descreve um período de dias em que as condições são excessivamente mais quentes do que normal [29]. A medida que as alterações climáticas evoluem a frequência, duração e intensidade dos eventos extremos também aumentam [30]. Diversos trabalhos na literatura definem uma quantidade mínima de dias para caracterizar a ocorrência de uma onda de calor. De acordo com trabalhos como [31], [30], [7] para definirmos as ondas de calor pode-se calcular a climatologia das temperaturas máximas e mínimas e calcular dois índices, o CTX90pct que corresponde ao percentil 90 para as temperaturas máximas e o CTN90pct que corresponde as temperaturas mínimas. Considerando que as temperaturas máximas e mínimas permaneçam por 3 dias consecutivos ou mais, fica caracterizada assim a ocorrência de uma onda de calor.

3.5 Definição do Satélite Utilizado

A dificuldade na ampliação da resolução espacial por parte das estações meteorológicas, resulta na perda de informações úteis para uma análise mais assertiva resultando assim em uma generalização de resultados para a região de estudo. Neste cenário, a utilização de dados provenientes de satélites torna-se de extrema importância para a compreensão dos eventos meteorológicos que ocorrem nestas regiões. O método para definição de quais dados e satélites serão utilizados em um processo de sensoriamento remoto, assim como as respectivas limitações, pode ser realizado através de uma análise tendo por base o comportamento do fenômeno observado. Os pesquisadores enfrentam um grande desafio no processo de aquisição e tratamento dos dados disponibilizados pelos satélites, devido o contínuo avanço tecnológico, muitas das técnicas de programação e tratamento de dados não é vivenciado pelos pesquisadores durante o processo de formação [32]. Neste cenário surgem diversos tipos de plataformas e sistemas com o intuito de auxiliar os pesquisadores na busca de métodos cada vez mais assertivos. Na Figura 2, é apresentado um processo de análise para a definição da plataforma mais adequada para o processo de pesquisa, assim como as limitações associadas.



Fonte: [32]

Figura 2 – Principais informações das plataformas orbitais onde é possível identificar e analisar as características que possibilitam análises mais assertivas para cada tipo de pesquisa a ser desenvolvida.

Evidenciamos que a correta definição do satélite a ser utilizado depende da assertividade no processo de caracterização do fenômeno meteorológico a ser estudado. A utilização do método apresentado na Figura 2, considerando a escala temporal e escala espacial, define como melhor opção os produtos estimados pelo satélite GOES-16.

3.6 Características do Satélite GOES-16

O satélite GOES-16 pertence ao programa de satélites ambientais GOES-R, 19 de novembro de 2016 e tendo sua órbita geossíncrona, com posição operacional sobre o equador a uma longitude de aproximadamente 75,2 graus oeste com localização de aproximadamente 35.786 km (22.236 milhas) acima da linha do equador tendo como objetivo principal o monitoramento das condições meteorológicas e climáticas, fornecer dados para previsões do tempo, monitoramento de tempestades, incêndios florestais, névoa, e detecção de fenômenos atmosféricos.

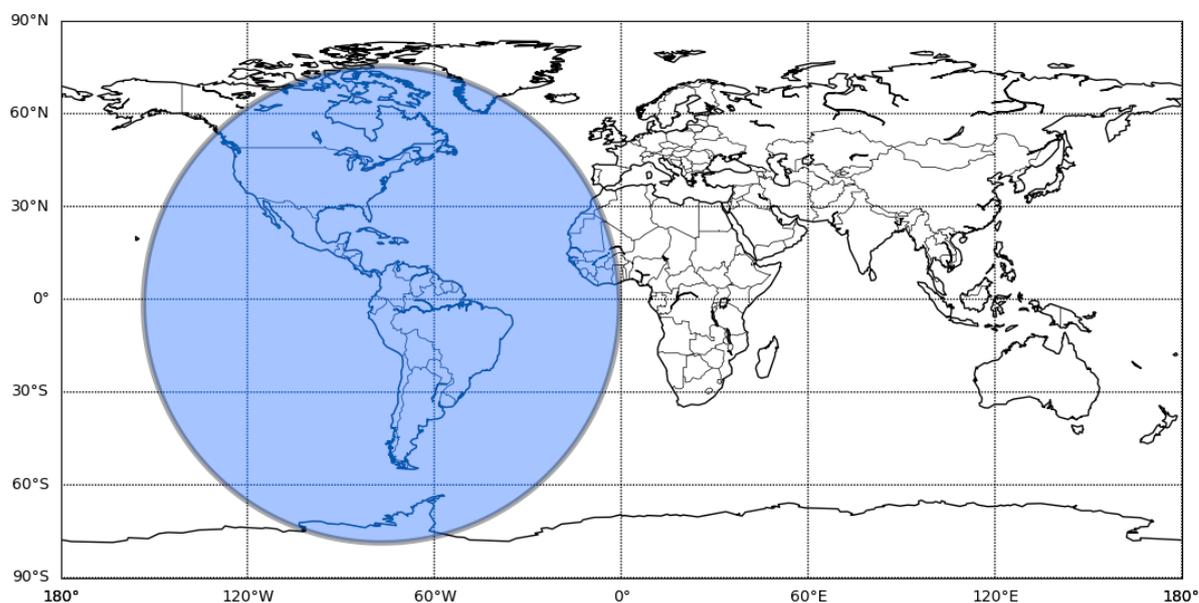
GOES-16 é a nova geração de satélites ambientais que integram um setor muito importante no programa Nacional de Administração Oceânica e Atmosférica dos Estados Unidos. O satélite GOES-16 tem fornecido de forma confiável um volume de informações e produtos destinados ao estudo do clima e servem de apoio no processo de previsão do tempo. O satélite GOES-16 dispõe de 16 (dezesesseis) canais de bandas espectrais, a Tabela 2 apresenta a relação desses canais e seus respectivos comprimentos de onda. Os dados fornecidos pelo sistema de tratamento do GOES-16, são disponibilizados em três categorias

principais de produtos. Estes são identificados como produtos de nível zero, produtos de nível 1 e produtos de nível 2 que são associados aos produtos finais do satélite. Na Figura 3 é apresentada a área de cobertura do satélite GOES-16.

Tabela 2 – Canais GOES-16 e Comprimento de Ondas

Número do Canal	Comprimento de Onda(μm)
1	0.47
2	0.64
3	0.86
4	1.38
5	1.61
6	2.26
7	3.9
8	6.15
9	7.0
10	7.4
11	8.5
12	9.7
13	10.35
14	11.2
15	12.3
16	13.3

3.6.1 Região de Cobertura do Satélite GOES-16



Fonte: autor

Figura 3 – Área de atuação do satélite GOES-16, onde existem as áreas classificadas como Full Disk (cobertura de todo o continente Americano), CONUS e Mesoscale (cobertura de toda a região dos Estados Unidos da América).

Segundo [33] os algoritmos responsáveis pela geração dos produtos são elaborados por diferentes grupos de estudos, dentre eles existe o grupo dedicado ao desenvolvimento de produtos relativos ao perfil atmosférico. A Tabela 3 apresenta de forma resumida os produtos gerados e disponibilizados pelas equipes de tratamento de dados, em específico neste trabalho foram utilizados os algoritmos de perfis atmosféricos associados aos produtos de perfil vertical de temperatura e perfil vertical de umidade relativa. Na Tabela 4 foi apresentada resolução horizontal de cada cobertura geográfica.

Tabela 3 – Produtos do Satélite

Algoritimo	Produto
Imagem de umidade e nuvem	Imagem de umidade e nuvem
Máscara de nuvem	Máscara de céu claro
Tipo de nuvem	Fase no topo da nuvem
Altura do topo da nuvem	Altura do topo da nuvem
	Pressão no topo da nuvem
	Temperatura no topo da nuvem
Propriedades ópticas e físicas da nuvem	Profundidade óptica da nuvem
	Tamanho da partícula da nuvem
Detecção de aerossol	Detecção de aerossol
Profundidade óptica do aerossol	Profundidade óptica do aerossol
Partículas vulcanicas: detecção e altitude	Partículas vulcanicas: detecção e altitude
Perfis atmosféricos	Perfil vertical de temperatura
	Perfil vertical de umidade
	Total de água precipitável
	Índices de estabilidade
Temperatura da superfície continental	Temperatura de superfície continental
Temperatura da superfície oceanica	Temperatura da superfície oceanica

Tabela 4 – Cobertura geográfica-Resolução horizontal

Cg	Rh
CONUS	2 km
MESO	2 km
FD	10 km

Cobertura Geográfica = Cg
Resolução Horizontal = Rh

3.7 Radiossondagem e Perfil Atmosférico

As radiossondagens são amplamente utilizadas, pois realizam a sondagem do perfil atmosférico. Seu sistema é formado por dispositivos como sensores e uma antena de transmissão, que é transportado por um balão atmosférico com autonomia de 25 a 30 Km de altitude. Os instrumentos contidos no sistema da radiossonda são geralmente os sensores de temperatura, umidade e pressão. A rede de estações de altitude do Brasil conta com aproximadamente 40 estações de radiossondagens, distribuídas entre o Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), o Departamento de Controle do Espaço Aéreo (DECEA) e a Diretoria de Hidrografia e Navegação da Marinha (DHN). Os perfis atmosféricos são muito importantes e são utilizados como parâmetros de entrada para modelos atmosféricos e de transferência radiativa. Atualmente as bases de dados de radiossondagens apresentam limi-

tações quanto a resolução espacial e temporal [34]. O processo de tratamento e recuperação dos dados referentes aos parâmetros atmosféricos é de extrema importância, em especial o parâmetro de temperatura do ar na atmosfera. Diferentes algoritmos são utilizados para a estimativa desta variável. Segundo [35] quanto mais eficiente for este algoritmo melhor será a análise do estado da atmosfera, dado que a temperatura é um indicador crucial do estado energético do sistema. Em [36] foi realizada uma avaliação dos índices de instabilidade atmosférica, onde pode-se evidenciar a importância do monitoramento da temperatura do ar no perfil atmosférico.

Neste estudo foi utilizada a metodologia aplicada no produto *LAP - Legacy Atmospheric Profile* do satélite GOES-16 que é baseada no estudo do Schmit et al. 2009 e Hayden and Schmit 1991 conforme mostrado na tabela 5 que apresenta uma comparação entre os processos de monitoramento destes índices.

Tabela 5 – Metodologia de Aplicação dos Índices

Índice	Carmo et. al. (2019)	GOES-16
K	George - 1996	Schmit et al. 2009
TT	Miller - 1972	Schmit et al. 2009
CAPE	Houze - 1993	Schmit et al. 2009
LI	Galway - 1956	Hayden and Schmit 1991

3.8 Perfil Vertical de Temperatura e Umidade Relativa do GOES-16

O algoritmo usado para geração do produto de perfil atmosférico do satélite GOES-16 produz, como subproduto, o perfil atmosférico de temperatura. Este produto apresenta uma resolução tridimensional em 101 níveis de pressão atmosférica, nos quais os valores associados a cada pixel representam uma estimativa da temperatura do ar. O mesmo algoritmo é empregado para gerar outros subprodutos, como o perfil vertical de umidade relativa, o perfil de água precipitável e os índices de instabilidade.

O perfil vertical de temperatura compreende três diferentes níveis de informação. O primeiro nível destina-se a avaliar a qualidade da informação relativa ao pixel, oferecendo três indicações: boa, degradada e inválida, com base na qualidade do perfil de temperatura observado na superfície. O segundo nível de informação refere-se ao processo físico de recuperação dos dados do pixel registrado na superfície terrestre, identificando quaisquer condições de falha no processo. O terceiro nível de informação diz respeito à recuperação de dados de temperatura da superfície terrestre do pixel analisado. Os dados de temperatura do ar registrados no perfil vertical atmosférico e classificados como de boa qualidade obedecem a uma condição que promove a assertividade dos dados gerados. Essa condição é estabelecida através da aplicação do produto responsável pela identificação de "céu limpo", ou seja, ausência de nuvens, antes da geração dos dados de temperatura.

O produto de perfil atmosférico do satélite GOES-16 utiliza os canais de 8 a 16 para recuperação de dados. A comparação dos resultados obtidos com os produtos de perfil atmosférico do satélite GOES-16 e outras bases de análise, como RAOB, AMSR2, SuomiNet GPS e ECMWF 6-hr analysis, mostrou-se satisfatória, permitindo a utilização dos produtos de forma assertiva [33]. A recuperação de dados para perfis atmosféricos do satélite GOES-16 também apresentou bons resultados na aplicação como dados de entrada para modelos como WRF [37]. Diversos processos de validação têm apresentado os produtos de perfil atmosférico do satélite GOES-16 como importantes contribuintes para o processo de monitoramento em alta resolução temporal. O processo de validação com diversas bases de dados tem fornecido confiança e assertividade na utilização dos mesmos. A validação cruzada com importantes bases de dados, como NOAA Multi-Radar Multi-Sensor (MRMS) QPE, também apresentou bons resultados [38]. Neste trabalho, apresentamos apenas o processo de aplicabilidade dos produtos de nível 2.

A metodologia utilizada no algoritmo de perfil de temperatura consiste, em sua primeira etapa, na utilização de uma equação de regressão generalizada dos mínimos quadrados, que é a primeira abordagem de estimativa. Essa equação de regressão utiliza as radiâncias provenientes dos canais das bandas espectrais do satélite GOES-16 e perfis de previsão como preditores, com uma base global de radiossondas com temperatura de superfície sendo utilizada para gerar os coeficientes de regressão.

$$Z = A_0 + \sum_{j=1}^N B_j T_{bj} + \sum_{j=1}^N C_j T_{bj}^2 / 250 + \sum_{l=1}^n B_{il} T_l + \sum_{l=1}^m B_{wl} \log(wl) + D_1 p_s + D_2 (Lat) + D_3 (mon) + D_4 (Pland) \quad (1)$$

Para compreender a equação 1, os termos correspondem a T_{bj} , que é o canal j da temperatura de brilho; T_l e w_l , que são previsões de temperatura e percentual de mistura de vapor d'água, respectivamente; p_s , que é a pressão de superfície; Lat , que é a latitude entre -70 e $+70$; mon , que é o mês entre 1 e 12; $Pland$, que é a identificação da localização para continente e oceano, onde 1.0 representa o continente e 0.0 o oceano. Os termos A , B , b , C e D_1 a D_4 são os coeficientes de regressão. N , n e m correspondem aos números das bandas espectrais do ABI GOES-16.

Neste processo, dois canais de bandas do ABI não foram utilizados, onde estes canais correspondem às bandas 7 (com comprimento de onda de $3.9\mu\text{m}$), que é influenciada pelas mudanças diurnas, e a banda 11 (com comprimento de onda de $8.5\mu\text{m}$), que é influenciada pela presença de aerossóis e poeira. A predição aplicada para o perfil de temperatura ocorre nos níveis de pressão atmosférica de 1050 a 100 hPa. Para o perfil vertical de umidade relativa, os níveis correspondentes de pressão atmosférica variam de 1050 a 300 hPa. A metodologia adotada para recuperação dos dados após a estimativa inicial, vista na equação 1, envolve a combinação de observações do ABI e dados de previsões de curto espaço de tempo extraídos do modelo NWP (Numerical Weather Prediction). Neste processo, são analisados e tratados os coeficientes de erro de ambos os sistemas de dados. O processo inicial considera que, em caso de negligenciarmos o espalhamento da atmosfera, teremos a radiância medida em dia de céu claro, dada pela equação 2.

$$R(v) = \varepsilon_s(v) B_s(v) \tau_s(v) - \int_0^{p_s} B(v) d\tau(0, p) + [1 - \varepsilon_s(v)] \int_0^{p_s} B(v) d\tau^*(v) \quad (2)$$

Na equação 2, os termos são definidos da seguinte forma: $R(v)$ é a radiância registrada em céu claro pelo ABI GOES-16, levando-se em consideração o comprimento central de onda v ; B é a radiância de Planck, em função da temperatura e da pressão (p); τ é a função de transmitância atmosférica, onde o subscrito s denota a superfície; $\tau^* = \frac{\tau_k^m}{\tau}$ e ε_s é a emissividade da superfície.

Os dados observados de temperatura do perfil atmosférico foram adquiridos dos arquivos de radiossondagens realizadas pela estação localizada no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro, identificada como SBGL. Como exemplo abordaremos o processo de radiossondagem realizado pela estação meteorológica localizada no Aeroporto Internacional do Estado do Rio de Janeiro, identificada como SBGL, situada nas coordenadas de latitude

-22.81 e longitude -43.25. A elevação do ponto inicial de monitoramento é de 9 metros de altitude. Devido às variações na pressão atmosférica, é necessário ajustar o nível de pressão em relação ao processo de radiossondagem extraído do satélite GOES-16. As Figuras 4 e 5 apresentam exemplos de uma radiossondagem para os perfis de temperatura do ar e da umidade relativa do ar. Um dos fatores importantes na comparação entre a radiossondagem realizada pela estação SBGL e a radiossondagem simulada pelo satélite GOES-16 é o posicionamento durante a aquisição dos dados. Isso se deve ao efeito dos ventos que deslocam o balão atmosférico e seus equipamentos associados. No entanto, é importante observar que a simulação de radiossondagem realizada pelo satélite GOES-16 não leva em consideração a força do vento.

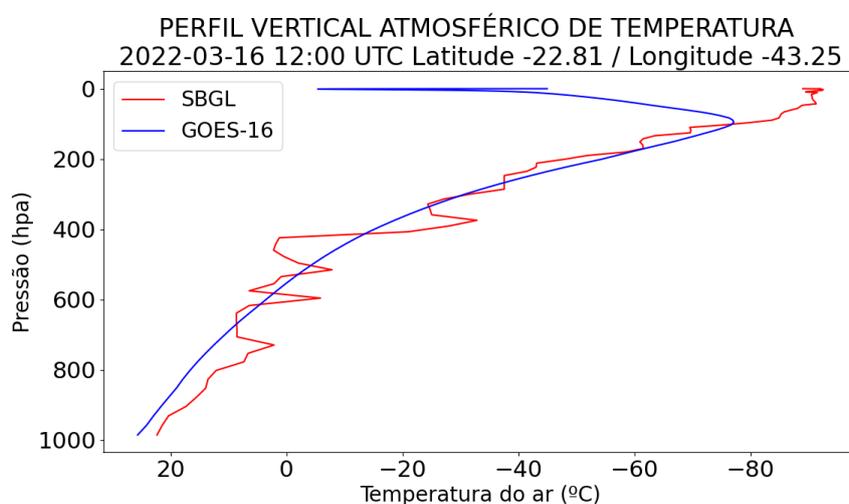
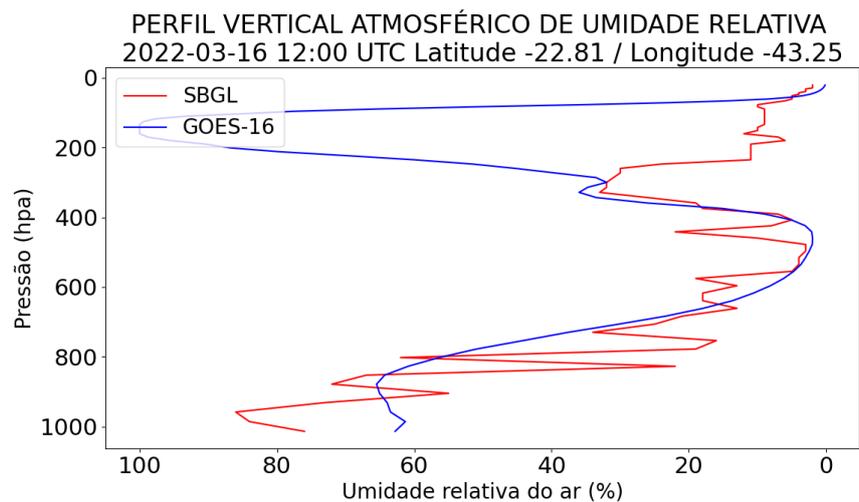


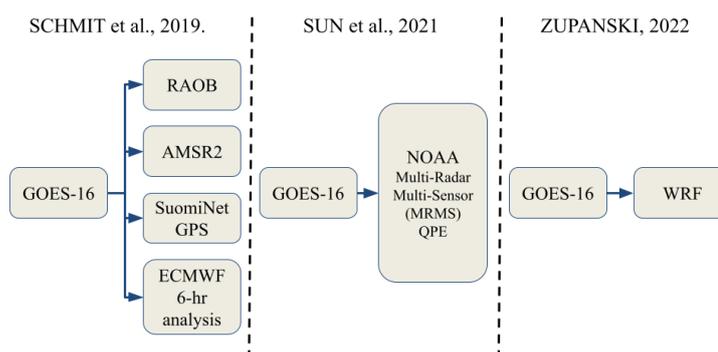
Figura 4 – Processo de sondagem do perfil vertical atmosférico para temperatura do ar. A curva vermelha representa os dados gerados pela estação meteorológica, enquanto a curva azul representa os dados recuperados e processados a partir do satélite GOES-16. Os dados de radiossondagem adquiridos da estação meteorológica correspondem à data de 16 de março de 2022 às 12:00 UTC.



Fonte: Autor

Figura 5 – Processo de sondagem do perfil vertical atmosférico para umidade relativa do ar. A curva vermelha representa os dados gerados pela estação meteorológica, enquanto a curva azul representa os dados recuperados e processados a partir do satélite GOES-16. Os dados de radiossondagem adquiridos da estação meteorológica correspondem à data de 16 de março de 2022 às 12:00 UTC.

Alguns estudos realizaram comparações entre bases de dados conhecidas e estimativas do GOES-16, sendo considerados satisfatórios os resultados obtidos. Schnit et. al. (2019) realizou uma análise estatística comparativa entre os perfis de temperatura do ar estimados pelo satélite GOES-16 e algumas base de dados como RAOB (Radiosonde Observation), AMSR2 (Advanced Microwave Scanning Radiometer), SuomiNet que é uma base de dados nacional contendo dados atmosféricos para pesquisa e educação nos Estados Unidos e ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecast). O trabalho desenvolvido por Sun et. al. (2021) apresentou uma análise de validação cruzada entre os dados do GOES-16 e NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration) utilizando o Multi-Radar/Multi-Sensor. Considerando trabalhos anteriores e seus resultados assertivos quanto a validação dos produtos gerados pelo satélite GOES-16, Zupanski (2022) desenvolve um estudo aplicando-os como dados de entrada para o processo de modelagem no WRF (Weather Research and Forecasting). A figura 6 exemplifica o desenvolvimento destes trabalhos.



Fonte: autor

Figura 6 – Trabalhos que utilizaram dados estimados pelo GOES-16 em análises estatísticas em comparação com dados observados e modelos preditivos.

4 Metodologia

4.1 Estatística de Dados

As análises estatísticas foram aplicadas aos dados observados pela estação meteorológica SBGL (<https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>), com número identificador 83746 e aos dados estimados pelo satélite GOES-16 (https://home.chpc.utah.edu/~u0553130/Brian_Blaylock/cgi-bin/goes16_download.cgi). Considerando o produto de perfil vertical de temperatura do ar e o perfil vertical de umidade relativa do ar, os dados observados e estimados referem-se à temperatura do ar e umidade do ar próximo à superfície. Foram utilizadas 671 sondagens observadas pela estação meteorológica SBGL, com 671 estimativas para temperatura do ar e 659 para umidade relativa do ar. Inicialmente, foram adquiridos dados correspondentes às observações para o período de 01 de janeiro de 2019 a 31 de dezembro de 2023, juntamente com as estimativas do satélite para o mesmo período. Após a aquisição dos dados, foi realizada uma filtragem considerando observações ausentes e estimativas nulas devido à ocorrência de cobertura de nuvens na região de interesse. Apesar da capacidade de estimativa do GOES-16 fornecer dados com intervalos de dez minutos, neste trabalho as estimativas nulas realizadas às 12:00 UTC não foram substituídas por estimativas geradas às 12:10 UTC para não divergir do horário dos dados observados. Os métodos estatísticos aplicados foram: coeficiente de correlação de Pearson, desvio padrão, erro quadrático médio e Bias, BoxPlot e Percentis. A correlação de Spearman não foi utilizada por ser uma medida não paramétrica que avalia a relação monotônica entre duas variáveis, que é calculada a partir da classificação (ordenação) dos valores de cada variável, em vez dos próprios valores.

4.1.1 Correlação de Pearson

A correlação de Pearson foi aplicada considerando que os dados possuem uma relação linear entre as duas variáveis analisadas [39].

Coeficiente de Correlação de Pearson (r):

$$r = \frac{\sum (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum (x_i - \bar{x})^2 \sum (y_i - \bar{y})^2}} \quad (3)$$

4.1.2 Desvio Padrão GOES-16, Desvio Padrão estação SBGL, Erro Médio Quadrático e Bias

O cálculo do desvio padrão foi utilizado para entender a variabilidade dos dados em relação à média, pois quanto maior o desvio padrão, mais dispersos estão os dados em relação à média. O Erro Quadrático Médio foi utilizado para quantificar a diferença entre valores previstos pela estimativa do satélite em relação aos valores observados pela estação meteorológica. O cálculo do Bias foi destinado ao processo de identificação do

comportamento das estimativas realizadas pelo satélite sendo elas superestimadas ou subestimadas em relação aos dados observados pela estação meteorológica.

Desvio padrão:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4)$$

BIAS:

$$\text{BIAS} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i) \quad (5)$$

Erro Quadrático Médio:

$$\text{EQM} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - y_i)^2 \quad (6)$$

4.1.3 BOXPLOT e PERCENTIS

O boxplot foi empregado para visualizar as características da distribuição de frequência, resumindo cinco medidas: mínimo, quartil inferior, mediana, quartil superior e máximo, conforme Burt et al. 2009, citado por [39]. A aplicação tanto do boxplot quanto do percentil, permitiu visualizar a distribuição dos dados em relação ao processo de superestimação e subestimação em relação aos dados observados permitindo identificar o volume de dados que esta ou não dentro do comportamento esperado que é a subestimação dos dados.

Percentil:

$$P_{\text{percentil}} = X \left(\frac{P}{100} \right) N \quad (7)$$

$P_{\text{percentil}}$ é o valor do percentil que você está calculando.

X é a amostra ordenada (os dados em ordem crescente).

P é o percentil desejado

N é o número total de observações na amostra.

4.2 Identificação das Ilhas de Calor

As Ilhas de Calor Urbana são fenômenos térmicos caracterizados pelo aumento das temperaturas do ar e da superfície em áreas urbanizadas em comparação com suas regiões periurbanas ou rurais adjacentes. Isto deve-se a factores como a elevada concentração de edifícios, estradas e outras infra-estruturas que absorvem e reemitem mais calor solar do que as paisagens naturais. Ondas de calor e períodos de clima excessivamente quente agravam o efeito nas ilhas de calor, levando a temperaturas ainda mais altas nas cidades.

Um estudo centrado em Guangzhou desenvolvido por [40], na China, descobriu que a interação entre as ilhas de calor e as ondas de calor amplifica significativamente o aquecimento urbano, levando a um grave stress térmico. A pesquisa enfatizou que o efeito combinado das ilhas de calor e das ondas de calor aumenta a frequência, intensidade e duração de eventos extremos de calor, agravando o desconforto térmico e apresentando sérios riscos à saúde das populações urbanas.

Este estudo utilizou as ilhas de calor identificadas por [1], no qual foram empregadas técnicas de sensoriamento remoto com base na análise da temperatura da superfície terrestre (TST) e nos padrões de uso da terra obtidos a partir dos dados dos sensores Landsat-5/Thematic Mapper (TM), Landsat-7/Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) e Landsat-8/Operational Land Imager (OLI) e dos Sensores de Infravermelho Térmico (TIRS), cobrindo um período de 32 anos entre 1984 e 2015. Os resultados revelaram a presença de ilhas de calor em áreas designadas como Zona Comercial e Zona Residencial Urbana, englobando os municípios da região metropolitana do Estado do Rio de Janeiro, a saber: Rio de Janeiro, Belford Roxo, Duque de Caxias, Nilópolis, Niterói, Nova Iguaçu, Paracambi, Queimados, São João de Meriti e Mesquita. Considerando a área metropolitana do Rio de Janeiro como área de maior concentração econômica e populacional e na ausência de estudos mais aprofundados em relação a ilhas de calor em áreas de menor concentração populacional do estado, assume-se que as demais ilhas de calor presentes no estado possuem o mesmo comportamento em relação a ilhas de calor, ondas de calor e desconforto térmico.

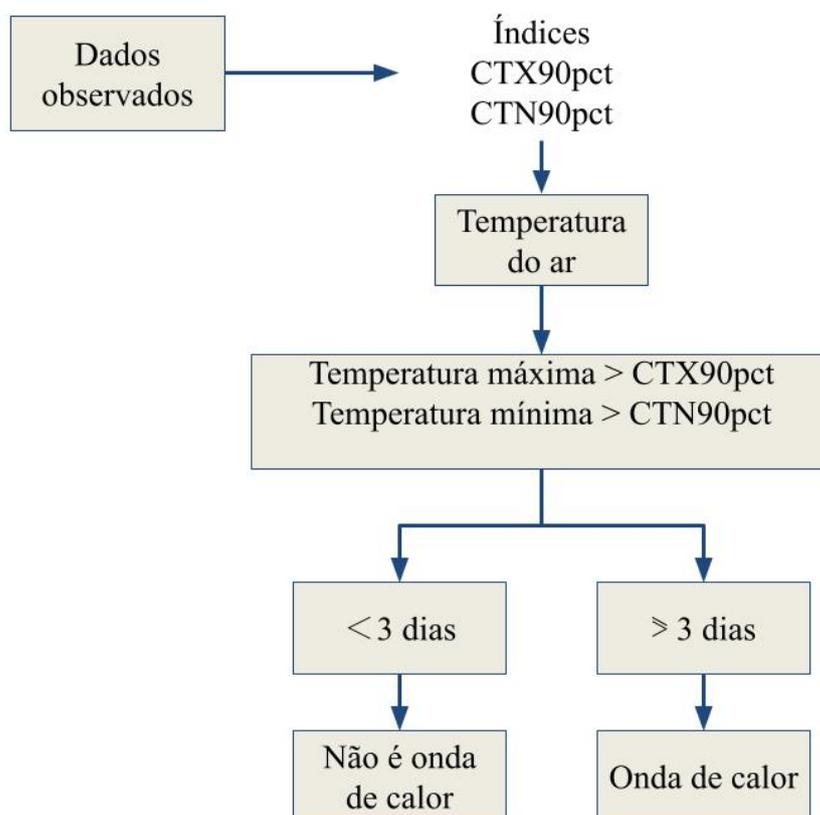
4.3 Classificação das Ondas de Calor

Conforme descrito por [31], o procedimento para determinar a ocorrência de ondas de calor baseia-se no cálculo de dois índices o CTX90pct e CTN90pct. Os dados observados foram extraídos do sistema de estações meteorológicas do INMET, uma análise preliminar foi realizada observando os dados das estações de Duque de Caxias, Niterói, Rio de Janeiro(Forte de Copacabana), Rio de Janeiro(Jacarepaguá) e Rio de Janeiro(Vila Militar). Após a análise preliminar, os índices foram calculados utilizando os dados da estação de Jacarepaguá devido a sua localização centralizada no município do Rio de Janeiro.

Os índices baseiam-se no percentil 90 para temperaturas máximas (CTX90pct) e temperaturas mínimas (CTN90pct). Esses tipos de índices também foram usados em estudos anteriores sobre Ondas de Calor na América do Sul. As Ondas de Calor foram definidas como um período de três ou mais dias caracterizados pela Temperatura Máxima Diária e Temperatura Mínima Diária acima do índice climatológico (período base 2010–2020). Esses índices calculados foram então aplicados como um processo de filtragem de dados para o período de 2020 a 2024, levando em consideração a disponibilidade dos dados dos produtos do satélite GOES-16. Duas situações foram consideradas: a não ocorrência de

onda de calor e a ocorrência de onda de calor.

$$P = \frac{k * \sum f_i - F_{ac}}{f_{intervalo}} * h \quad (8)$$

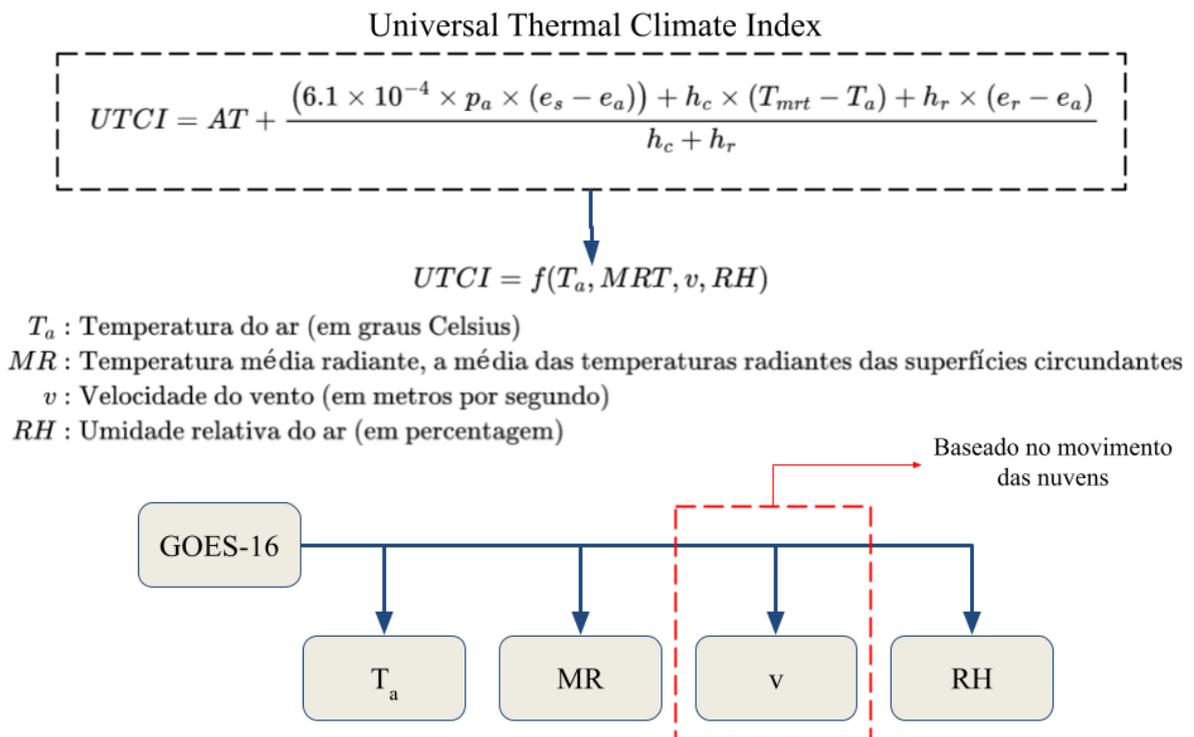


Fonte: autor

Figura 7 – A figura apresenta a metodologia de definição de ondas de calor

4.4 Análise e Qualificação do Desconforto Térmico devido a Altas Temperaturas

O procedimento para estimar o índice de conforto térmico pode ser conduzido por meio de diversos índices, como destacado por [27]. Com o intuito de utilizar os dados estimados pelo satélite GOES-16, foram considerados dois índices neste estudo. O primeiro índice abordado foi o Universal Thermal Climate Index (UTCI), conforme ilustrado na figura 8. O UTCI é reconhecido como um dos mais abrangentes e completos em termos de parâmetros de entrada. Entretanto, sua aplicação demanda uma simplificação, sendo que os parâmetros na equação simplificada podem ser fornecidos pelos produtos do GOES-16. É importante salientar que a variável relacionada à intensidade do vento é estimada com base no deslocamento das nuvens, o que aumenta significativamente as incertezas no processo de estimativa.



Fonte: autor

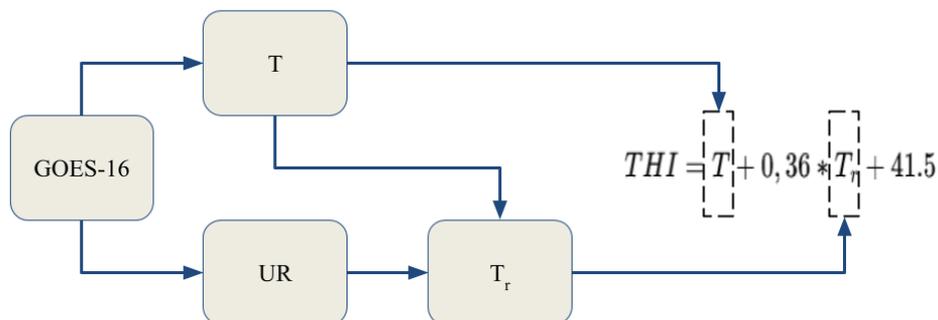
Figura 8 – índice UTCI

Outro índice abordado por [27] é o índice Temperature-Humidity Index (THI) (exemplificado na equação 9 e figura 9), que utiliza a temperatura e umidade relativa do ar, as quais podem ser fornecidas de forma assertiva pelo satélite GOES-16. Devido ao fato do índice THI não utilizar a velocidade do vento para estimar o conforto térmico, o mesmo foi aplicado no desenvolvimento deste trabalho. O processo de classificação de conforto térmico realizado pelo índice THI obedece ao seguinte critério: **Confortável** (Geralmente, as pessoas se sentem confortáveis nessas condições), **Alerta** (Algumas pessoas podem começar a sentir desconforto, especialmente se estiverem envolvidas em atividades físicas), **Desconforto moderado** (A maioria das pessoas sentirá desconforto, e atividades físicas podem se tornar mais desafiadoras), **Desconforto elevado** (O desconforto é significativo, e as atividades físicas podem se tornar perigosas para certas pessoas, especialmente aquelas em grupos de risco), **Perigo** (Há um alto risco de estresse térmico, especialmente para grupos de risco e com isso as atividades ao ar livre devem ser evitadas ou limitadas). A tabela 6 apresenta os valores de classificação do índice THI.

$$THI = T + 0,36 * T_r + 41.5 \quad (9)$$

T é a temperatura do ar em graus Celsius.

T_r é a temperatura de ponto de orvalho em graus Celsius.



Fonte: autor

Figura 9 – índice THI

Tabela 6 – Classificação do Desconforto/Conforto Térmico

Faixas	Valor do THI
Confortável	$THI \leq 70$
Alerta	$70 < THI \leq 75$
Desconforto moderado	$75 < THI \leq 79$
Desconforto elevado	$79 < THI \leq 83$
Perigo	$THI > 83$

4.5 Influência das Ondas de Calor e Desconforto Térmico no registro de óbitos

A análise da influência das ondas de calor e desconforto térmico, foram baseadas na metodologia proposta por [41] que utiliza a taxa de óbitos observados e esperados (O/E) é uma métrica amplamente utilizada para estimar o excesso de mortalidade durante períodos específicos, como ondas de calor. Esta metodologia foi apresentada por [42], onde foi avaliado o impacto de temperaturas extremas no número de óbitos baseado no índice de 2003 em Portugal.

A taxa O/E compara o número de óbitos observados durante um período específico (por exemplo, durante uma onda de calor) com o número esperado de óbitos com base em médias históricas para períodos semelhantes. Os dados utilizados para calcular a média histórica foram coletados da base de dados do DATASUS para o período de 2008 a 2019. O número óbitos coletados foi baseado em um grupo de doenças do sistema cardiovascular por serem mais suscetíveis a eventos de temperaturas extremas.

Os resultados das médias históricas serão comparados com os registros ocorridos nos anos de 2021 e 2022, o ano de 2020 não foi utilizado devido a uma possível influência no registro de óbitos referente a pandemia de covid 19 pois os protocolos para diagnóstico e caracterização da causa-óbito foram modificados ao longo de 2020 pelo ministério da saúde e secretaria de saúde do estado do Rio de Janeiro. Os anos de 2023 e 2024 por estarem passando pelo processo de tratamento e consolidação dos dados no sistema DATASUS. A interpretação da taxa sugere que: Quando a taxa $O/E = 1$, significa que o número de óbitos observados é igual ao número esperado de óbitos com base em médias históricas. Não há excesso de mortalidade; os óbitos observados estão dentro da faixa esperada.

Quando a taxa $O/E > 1$, indica excesso de mortalidade. O número de óbitos observados durante o período específico é maior do que o que normalmente seria esperado com base nos dados históricos. Uma taxa O/E mais alta sugere que o evento (como uma onda de calor ou uma onda de desconforto térmico) resultou em mais óbitos do que o habitual.

Quando a Taxa $O/E < 1$, sugere menos óbitos do que o esperado com base em médias históricas. Embora menos comum no contexto de estimação de excesso de

mortalidade durante eventos como ondas de calor, isso indicaria um efeito protetor ou menos óbitos ocorrendo durante o período específico em comparação com o esperado.

A O/E Ratio é calculada conforme a equação abaixo:

$$(O/E) \text{ Ratio} = \frac{M_{ij}}{\frac{M_{i1}+M_{i2}+\dots+M_{ij-1}+M_{ij+1}+\dots+M_{ik}}{k-1}} \quad (10)$$

Onde:

- M_{ij} : Número de óbitos observados no período j do ano i .
- $M_{i1}, M_{i2}, \dots, M_{ik}$: Número de óbitos observados nos períodos correspondentes do ano i .
- k : Número total de períodos no ano i .

Significância estatística do aumento de óbitos

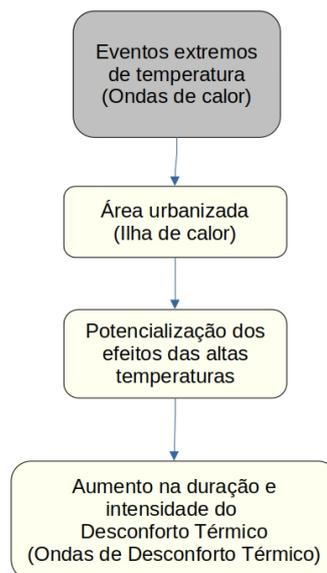
A significância estatística do aumento de óbitos foi aplicada aos resultados com o objetivo de verificar se o aumento ocorrido é significativo em relação ao número de óbitos esperados. O método utilizado para a verificação foi o "teste t" para comparar as médias de duas amostras. O teste t de Student é uma ferramenta estatística utilizada para determinar se há uma diferença significativa entre a média de um conjunto de dados e um valor específico (teste t de uma amostra) ou entre as médias de dois conjuntos de dados (teste t de duas amostras).

O p-valor é a probabilidade de obter um valor do t-estatístico pelo menos tão extremo quanto o observado, assumindo que a hipótese nula é verdadeira. Se o p-valor é menor que 0.05 (valor padrão adotado pela comunidade científica), conclui-se que há uma diferença significativa. Se o p-valor é maior ou igual a 0.05, não se pode concluir que há uma diferença significativa.

O intervalo de confiança é uma estimativa intervalar de um parâmetro populacional. Ele é construído a partir dos dados da amostra e é acompanhado por um nível de confiança que quantifica a certeza com que o intervalo contém o verdadeiro valor do parâmetro populacional. O nível de confiança (como 90 %, 95 %, ou 99 %) indica a probabilidade de que o intervalo de confiança contenha o verdadeiro valor do parâmetro populacional. Um nível de confiança de 95 %, por exemplo, sugere que se repetirmos o processo de amostragem inúmeras vezes, aproximadamente 95 % dos intervalos de confiança construídos a partir dessas amostras conterão o verdadeiro parâmetro populacional.

4.6 Fluxograma de Inter-relação entre Ilhas de Calor, Ondas de Calor e Desconforto Térmico.

O fluxograma apresenta de forma compacta a inter-relação entre Ilhas de Calor, Ondas de Calor e Desconforto Térmico. Tendo o processo de urbanização como um fator potencializador dos efeitos provocados pelas altas temperaturas aumentando em duração e intensidade o desconforto térmico, gerando as "Ondas de Desconforto Térmico".



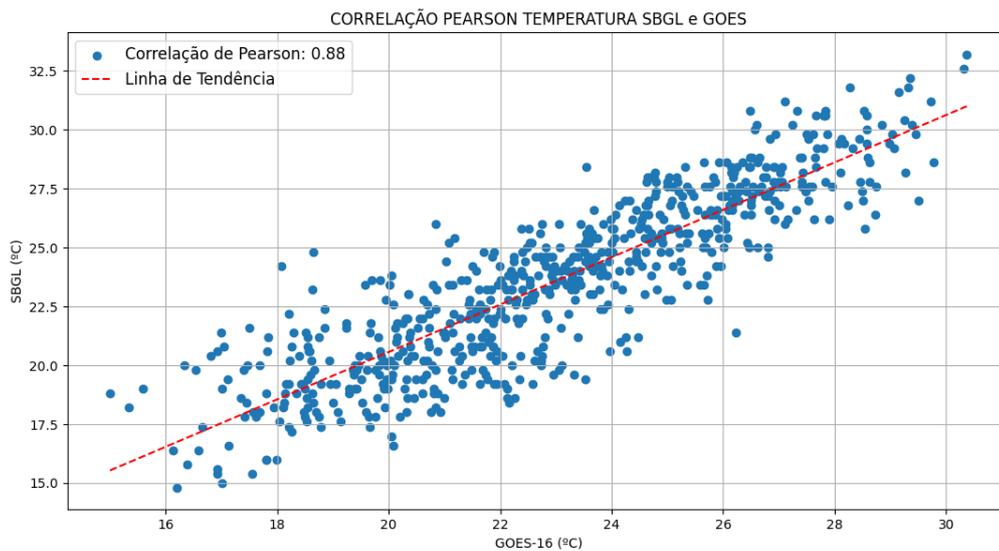
Fonte: autor

Figura 10 – Fluxograma da Metodologia

5 Resultados

Correlação de Pearson para Temperatura e Umidade Relativa do Ar

A figura 11 representa a correlação de Pearson estimada para os dados de temperatura do ar próxima a superfície. Foi observado que o coeficiente de correlação aumenta para a estimativa de temperaturas mais altas. O coeficiente de 0.88 identificado na legenda da figura 11, indica que a correlação é caracterizada como positiva e forte conforme classificação identificada pela cor vermelha na tabela 7.



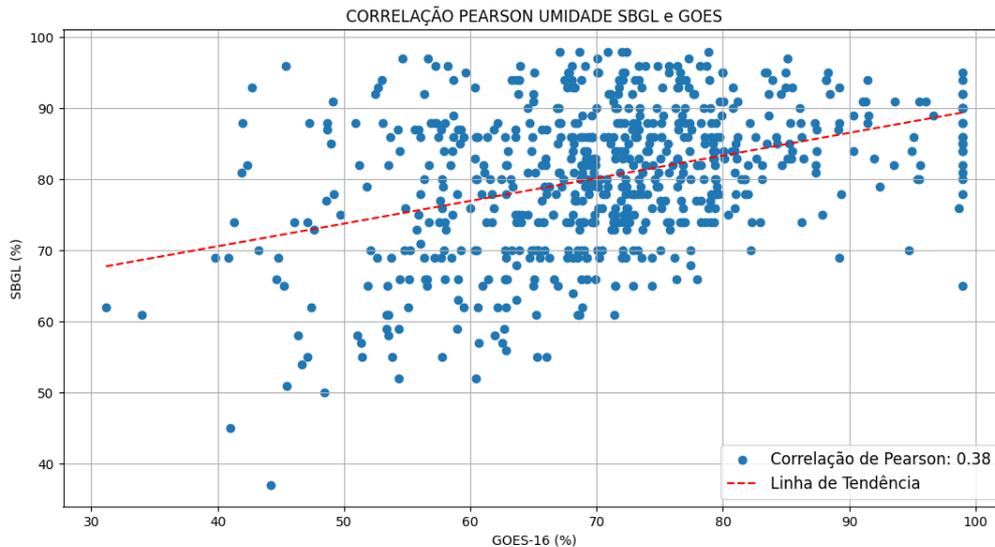
Fonte: autor

Figura 11 – Coeficiente de correlação de Pearson para temperatura próxima a superfície entre os dados observados pela estação SBGL e dados estimados pelo satélite GOES-16, foram utilizadas 671 amostras para dados observados e 671 amostras para dados estimados.

Tabela 7 – Classificação da Correlação de Pearson para Temperatura

Intervalo	Correlação	Classificação
$-1 \leq \rho < -0.9$ ou $0.9 \leq \rho \leq 1$	Positiva ou Negativa	Correlação muito forte
$-0.9 \leq \rho < -0.7$ ou $0.7 \leq \rho < 0.9$	Positiva ou Negativa	Correlação forte
$-0.7 \leq \rho < -0.5$ ou $0.5 \leq \rho < 0.7$	Positiva ou Negativa	Correlação moderada
$-0.5 \leq \rho < -0.3$ ou $0.3 \leq \rho < 0.5$	Positiva ou Negativa	Correlação fraca
$-0.3 \leq \rho < 0.3$	Positiva ou Negativa	Não possui correlação

A figura 12 representa o coeficiente de correlção de Pearson para os dados de umidade relativa do ar, considerando os dados observados e estimados pelo GOES-16. Observando a linha de tendência tracejada em vermelho e a distribuição dos dados, foi possível identificar que a correlação aumenta para os registros de percentuais mais altos de umidade relativa do ar. Foi obtido um coeficiente de 0.38 tendo uma classificação considerada como positiva e fraca.



Fonte: autor

Figura 12 – Coeficiente de correlação de Pearson para umidade relativa do ar próximo a superfície entre os dados observados pela estação SBGL e dados estimados pelo satélite GOES-16, foram utilizadas 659 amostras para dados observados e 659 amostras para dados estimados..

Os resultados referente as correlações de Pearson identificaram que o perfil vertical de temperatura do ar é mais preciso pois tende a variar de forma mais suave e previsível em comparação com a umidade relativa, sendo que os processos de calibração de sensores de temperatura são mais estabelecidos e precisos, resultando em dados mais confiáveis. O comportamento da umidade relativa do ar pode variar drasticamente em curtos espaços de tempo e em pequenas escalas espaciais, o que torna a obtenção de perfis precisos um desafio maior, sendo a umidade é altamente influenciada por fenômenos como condensação, evaporação e circulação atmosférica, que podem introduzir variações rápidas e complexas nas medições. Alguns trabalhos como [43], [44], [45] e [46] analisam a precisão das estimativas.

Desvio Padrão GOES-16, Desvio Padrão Estação SBGL, Erro Médio Quadrático e Bias.

A Tabela 8 apresenta os resultados estatísticos para os dados de temperatura e umidade relativa do ar, considerando o desvio padrão. O desvio padrão referente a temperatura do ar estimada pelo GOES-16, apresentou um resultado satisfatório de 3.18 sendo um valor inferior ao desvio padrão referente aos dados observados que obteve 3.68 como resultado.

A tabela 9 apresenta os resultados para o erro quadrático médio entre os dados de temperatura do ar estimados e observados, assim como os de umidade relativa do ar estimados e observados. Observou-se que o erro quadrático médio da temperatura do ar, foi menor que o desvio padrão dos dados observados de temperatura do ar. O erro quadrático médio para a umidade relativa do ar foi de 15.88 % considerado alto, tendo sido justificado pelo baixo coeficiente de correlação de Pearson referente a umidade relativa do ar.

A tabela 10 apresenta os resultados para o cálculo da BIAS considerando a temperatura do ar estimada e observada, assim como a umidade relativa do ar. O valor da BIAS para temperatura do ar foi de 0.58, considerado satisfatório e sendo justificado pelo alto coeficiente de correlação de Pearson. Para a umidade relativa do ar o valor da BIAS foi de 9.85, considerado alto com baixa assertividade que pode ser justificado pelo baixo valor do coeficiente de correlação de Pearson para esta variável. Na figura 13 foi apresentado o comportamento dos dados de temperatura do ar, onde foi possível observar que para temperaturas mais baixas o GOES-16 superestima os valores e subestima para temperaturas mais elevadas. A figura 14 apresenta o comportamento dos dados referentes a umidade relativa do ar, onde foi possível observar a dispersão dos dados mediante o alto valor da BIAS e foi observado que o GOES-16 também subestima os valores de umidade relativa do ar.

Tabela 8 – Estatística dos Dados 1

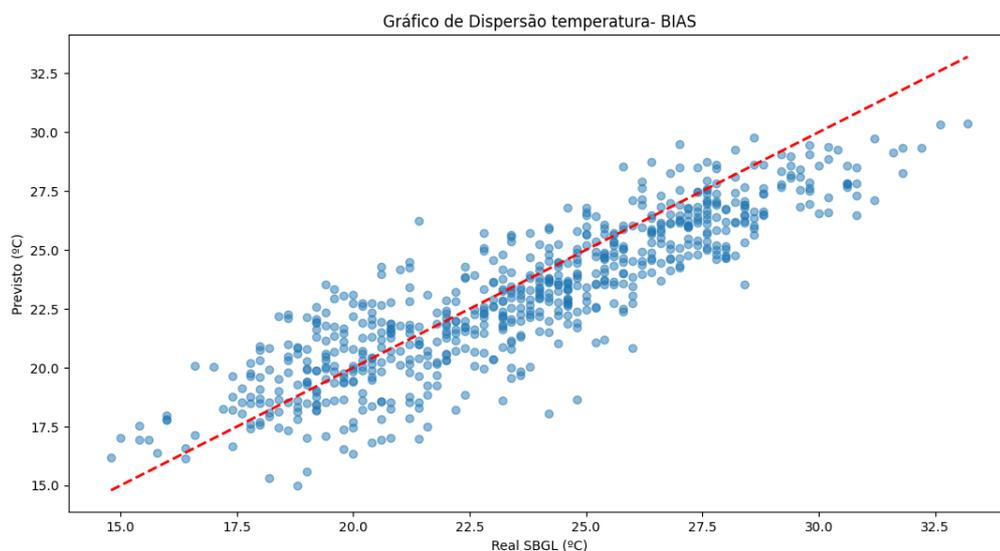
Dados	Desvio Padrão
Temperatura do ar estimada (GOES-16)	3.18 K
Umidade relativa do ar estimada (GOES-16)	11.99 %
Temperatura do ar observada (SBGL)	3.63 K
Umidade relativa do ar observada (SBGL)	10.16 %

Tabela 9 – Estatística dos Dados 2

Dados	Erro Quadrático Médio
Temperatura do ar estimada (GOES-16)	1.81 K
Umidade relativa do ar estimada (GOES-16)	15.88 %

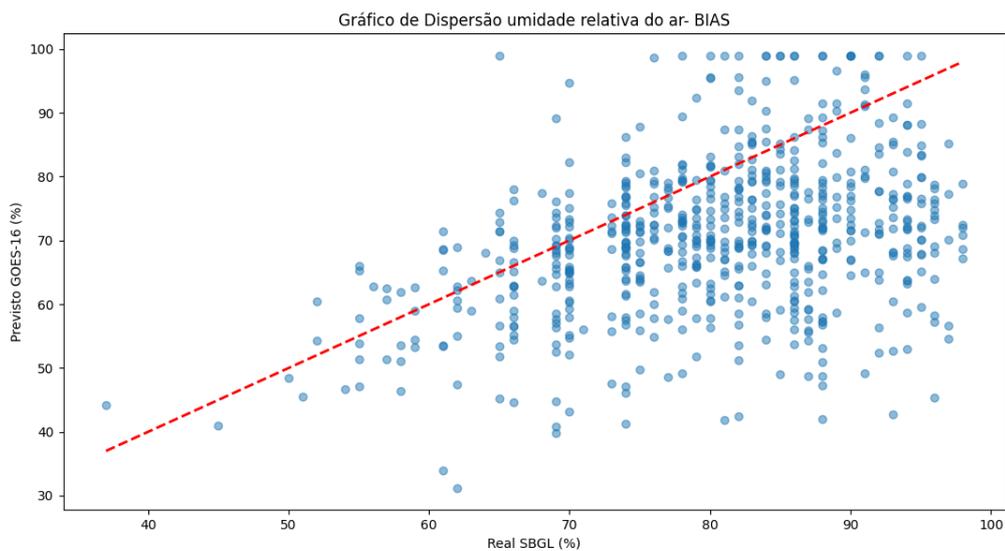
Tabela 10 – Estatística dos Dados 3

Dados	BIAS
Temperatura do ar estimada (GOES-16)	0.58 K
Umidade relativa do ar estimada (GOES-16)	9.85 %



Fonte: autor

Figura 13 – A figura apresenta o Bias entre os dados estimados e os dados observados para temperatura do ar próximo a superfície continental.



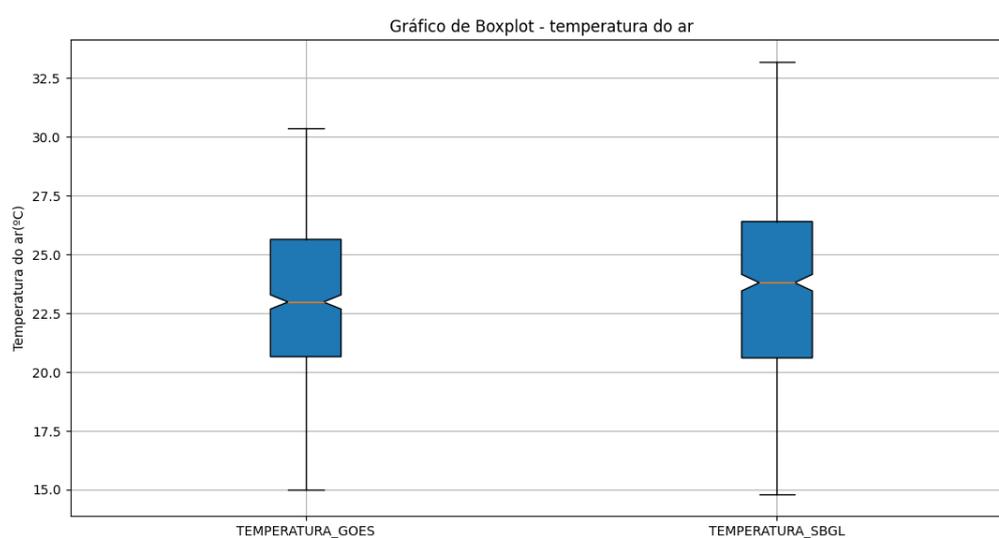
Fonte: autor

Figura 14 – A figura apresenta o Bias entre os dados estimados e os dados observados para umidade relativa do ar próximo a superfície continental.

BOXPLOT e PERCENTIS

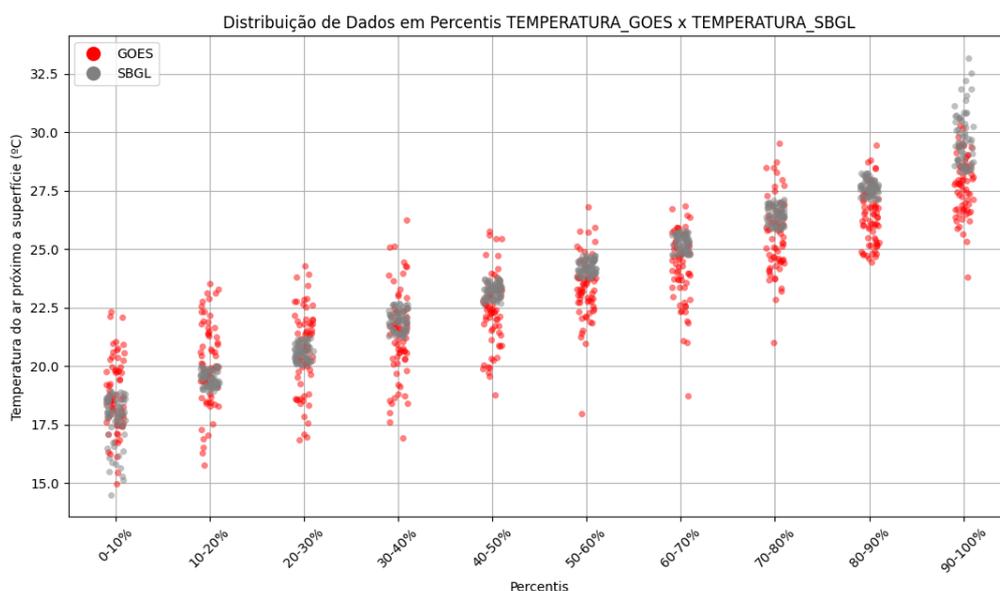
A figura 15 apresenta a distribuição em sistema de Boxplot dos dados de temperatura do ar. Considerando o resultado do coeficiente de correlação de Pearson para temperatura do ar que aumenta em relação as temperaturas mais altas, fica evidenciado que grande parte dos dados analisados está dentro da região de assertividade dos resultados, o valor da temperatura que representa esta faixa de assertividade é de 22.5 °C, que pode ser evidenciado na figura 16 que representa a distribuição dos dados de temperatura do ar em percentis. Na distribuição em percentis, foi evidenciado que o comportamento dos dados de temperatura do ar estimados pelo GOES-16 tendem a subestimar os dados observados a partir da temperatura de 22.5 °C, evidenciando assim a assertividade dos resultados para temperaturas mais altas.

Boxplot:



Fonte: autor

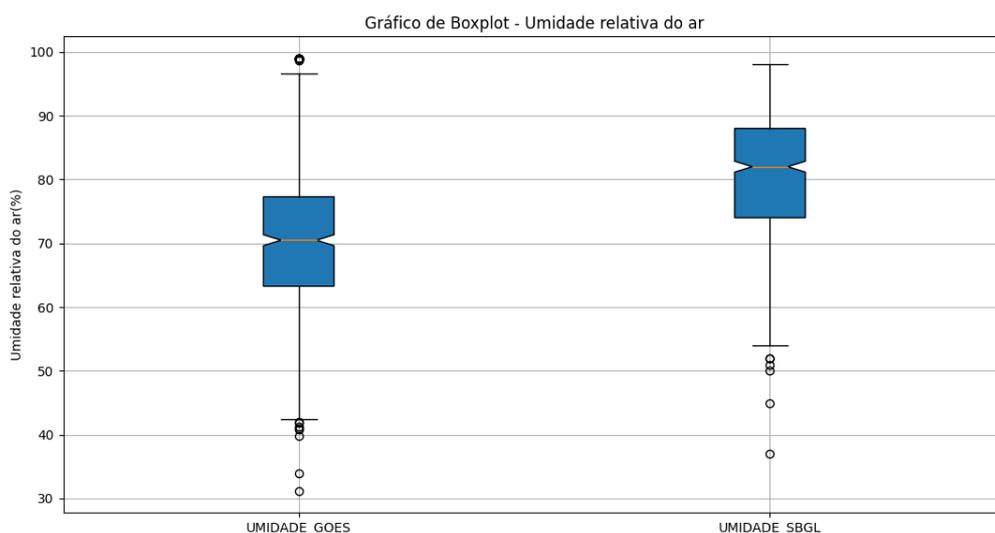
Figura 15 – A figura apresenta a distribuição entre os dados estimados e os dados observados referentes a temperatura do ar próximo a superfície continental.



Fonte: autor

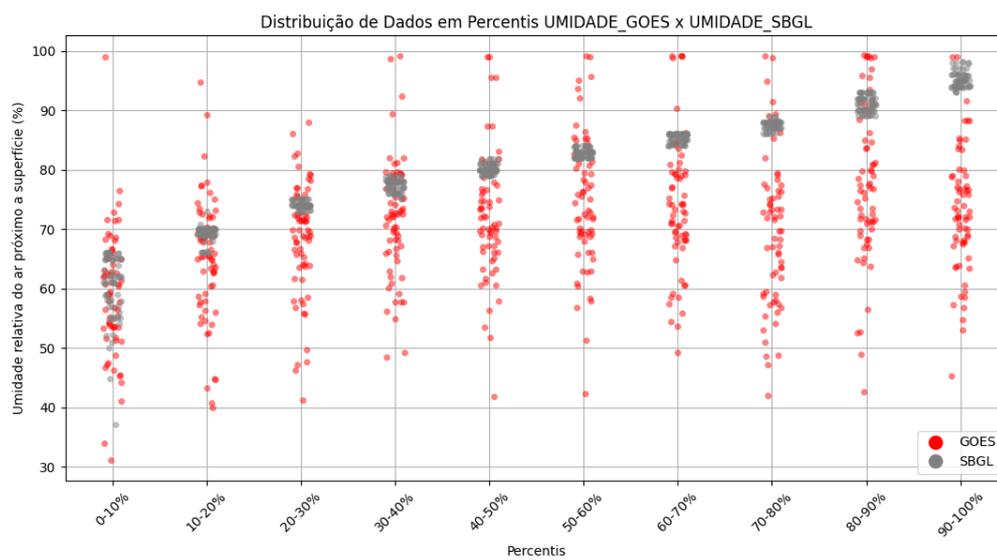
Figura 16 – A figura apresenta a distribuição em percentis referente aos dados estimados em relação aos dados observados

A figura 17 representa a distribuição dos dados de umidade relativa do ar estimados e observados. Foi observado que grande parte dos dados não estão correlacionados a uma mesma faixa de percentual de umidade relativa, sendo o comportamento justificado pelo baixo coeficiente de correlação de Pearson obtido para a umidade relativa do ar. A figura 18 apresenta a distribuição dos dados em percentis que evidencia uma elevada subestimação dos dados.



Fonte: autor

Figura 17 – A figura apresenta a distribuição entre os dados estimados e os dados observados referentes a umidade relativa do ar próximo a superfície continental.



Fonte: autor

Figura 18 – A figura apresenta a distribuição em percentis referente aos dados estimados em relação aos dados observados

Identificação de Ondas de Calor-OC e Períodos de Desconforto Térmico associados as Ondas de Calor.

A tabela 11 apresenta os índices CTXpct90 e CTN90pct calculados mensalmente para todo o período analisado. Os índices foram utilizados para identificar os dias em que as temperaturas máximas e mínimas registradas, foram acima dos índices calculados, caracterizando uma Onda de Calor para períodos de três ou mais dias consecutivos. Como já esperado os resultados dos índices apontaram os meses Janeiro, Fevereiro e Março como os índices mais altos por se tratar de meses com temperaturas elevadas.

A tabela 12 apresenta a identificação dos períodos de Onda de Calor e Desconforto Térmico. No ano de 2020, foram registradas 8 Ondas de Calor e 1 período de Desconforto Térmico. O ano de 2021 apresentou a ocorrência de 3 Ondas de Calor e 3 períodos de Desconforto Térmico. Para o ano de 2022 foram registradas 3 Ondas de Calor e 2 períodos de Desconforto Térmico. No ano de 2023 foram registrados 21 ocorrências de ondas de calor sendo consideradas ondas de calor diurnas e noturnas e 4 períodos de Desconforto Térmico. No ano de 2024 foram registradas 11 ocorrências de ondas de calor considerando ondas de calor diurnas e noturnas ocorridas até o mês de Maio e 5 ocorrências de períodos de Desconforto Térmico.

No total do período avaliado foram registradas 46 Ondas de calor e 15 períodos de Desconforto Térmico que foram influenciados pela ocorrência de Ondas de Calor. Foi observado que podem ocorrer Ondas de Calor que não influenciam no surgimento de períodos de Desconforto Térmico, este comportamento caracteriza a distinção entre estes eventos, sendo necessário que os mesmos sejam analisados individualmente. Os períodos de Desconforto Térmico serão tratados neste trabalho como "Ondas de Desconforto Térmico", onde os mesmos podem ser influenciados ou não pelas Ondas de Calor.

O número de registro de Ondas de Calor em 2021 e 2022 reduziram significativamente, esta redução pode ser associada a influência do evento La Niña. Durante os episódios de La Niña, observa-se uma tendência de resfriamento na região, especialmente durante o inverno, quando as temperaturas podem ser mais baixas do que a média histórica, além disso os verões durante La Niña tendem a ser menos quentes, proporcionando um alívio do calor extremo comum na estação. Um estudo de [47] explora a relação entre a temperatura e a circulação atmosférica no sudeste da América do Sul, destacando como os eventos de La Niña influenciam a redução das temperaturas na região. Outro artigo de [48] também discute como as variações nas condições do Oceano Pacífico, causadas pela La Niña, resultam em temperaturas mais amenas no Sudeste do Brasil.

Tabela 11 – Índices CTX90pct e CTN90pct

Mês	CTX90pct	CTN90pct
Janeiro	33.2 °C	24.6 °C
Fevereiro	31.7 °C	24.2 °C
Março	33.4 °C	25.2 °C
Abril	30.1 °C	23.4 °C
Maio	28.7 °C	22.8 °C
Junho	28.3 °C	22.0 °C
Julho	30.4 °C	21.9 °C
Agosto	30.2 °C	21.6 °C
Setembro	30.2 °C	22.8 °C
Outubro	29.8 °C	22.9 °C
Novembro	30.2 °C	22.6 °C
Dezembro	31.4 °C	24.5 °C

Tabela 12 – Onda de Calor e Período de Desconforto Térmico

Ano	Mês	OC (dia/TMAX/TMIN)	ODT
Ano 2020			
2020	Janeiro	8/30.5 °C/24.8 °C 9/31.3 °C/24.6 °C 10/34.0 °C/25.5 °C 11/35.5 °C/25.9 °C	Não houve PDT
2020	Fevereiro	Não houve	Não houve PDT
2020	Março	Não houve	Não houve PDT
2020	Abril	Não houve	Não houve PDT
2020	Maio	22/28.8 °C/25.5 °C 23/31.5 °C/23.1 °C 24/30.4 °C/21.6 °C	Não houve PDT
2020	Junho	10/27.3 °C/22.8 °C 11/28.2 °C/22.3 °C 12/30.3 °C/22.2 °C 13/30.8 °C/22.5 °C 14/28.3 °C/23.1 °C	Não houve PDT

Tabela 12 – Onda de Calor e Período de Desconforto Térmico -PDT (continuação)

Ano	Mês	OC (dia/TMAX/TMIN)	PDT
		20/28.4 °C/21.1 °C 21/28.9 °C/21.8 °C 22/28.8 °C/22.3 °C	
2020	Julho	Não houve OC	Não houve PDT
2020	Agosto	Não houve OC	Não houve PDT
2020	Setembro	13/28.3 °C/23.0 °C 14/33.1 °C/23.6 °C 15/25.2 °C/22.8 °C	Não houve PDT
2020	Outubro	01/31.7 °C/23.3 °C 02/33.1 °C/24.4 °C 03/33.1 °C/25.3 °C	Houve PDT
2020	Novembro	13/28.3 °C/22.6 °C 14/27.6 °C/23.2 °C 15/30.3 °C/22.8 °C 16/29.3 °C/23.3 °C 17/30.0 °C/23.3 °C	Não houve PDT
2020	Dezembro	19/31.1 °C/24.6 °C 20/32.1 °C/23.9 °C 21/31.9 °C/24.4 °C 22/26.3 °C/25.0 °C	Não houve PDT
Ano 2021			
2021	Janeiro	06/33.1 °C/24.2 °C 07/32.7 °C/25.4 °C 08/32.1 °C/25.8 °C 09/30.8 °C/25.0 °C 10/33.1 °C/25.7 °C	Houve PDT

Tabela 12 – Onda de Calor e Período de Desconforto Térmico -PDT (continuação)

Ano	Mês	OC (dia/TMAX/TMIN)	PDT
		11/31.8 °C/24.9 °C	
2021	Fevereiro	Não houve OC	Não houve PDT
2021	Março	26/33.8 °C/25.2 °C 27/34.1 °C/25.3 °C 28/32.7 °C/25.7 °C 29/32.7 °C/25.7 °C	Houve PDT
2021	Abril	Não houve OC	Não houve PDT
2021	Maio	Não houve OC	Não houve PDT
2021	Junho	Não houve OC	Não houve PDT
2021	Julho	Não houve OC	Não houve PDT
2021	Agosto	Não houve OC	Não houve PDT
2021	Setembro	Não houve OC	Não houve PDT
2021	Outubro	Não houve OC	Não houve PDT
2021	Novembro	Não houve OC	Não houve PDT
2021	Dezembro	14/31.4 °C/24.0 °C 15/33.0 °C/24.7 °C 16/33.0 °C/24.9 °C	Houve PDT
Ano 2022			
2022	Janeiro	Não houve OC	Não houve PDT
2022	Fevereiro	25/32.4 °C/24.6 °C 26/31.9 °C/24.1 °C 27/31.7 °C/24.1 °C	Houve PDT

Tabela 12 – Onda de Calor e Período de Desconforto Térmico -PDT (continuação)

Ano	Mês	OC (dia/TMAX/TMIN)	PDT
2022	Março	17/32.8 °C/25.3 °C 18/35.2 °C/25.2 °C 19/35.2 °C/25.1 °C	Houve PDT
2022	Abril	Não houve OC	Não houve PDT
2022	Maio	02/28.7 °C/23.7 °C 03/30.0 °C/23.6 °C 04/33.9 °C/24.0 °C	Não houve PDT
2022	Junho	Não houve OC	Não houve PDT
2022	Julho	Não houve OC	Não houve PDT
2022	Agosto	Não houve OC	Não houve PDT
2022	Setembro	Não houve OC	Não houve PDT
2022	Outubro	Não houve OC	Não houve PDT
2022	Novembro	Não houve OC	Não houve PDT
2022	Dezembro	Não houve OC	Não houve PDT
Ano 2023			
2023	Janeiro	02/33.0 °C/ 19.8 °C 03/34.9 °C/20.9 °C 04/33.8 °C/23.1 °C 13/35.5 °C/22.4 °C 14/35.9 °C/22.8 °C 15/34.0 °C/23.9 °C	Não houve PDT Houve PDT
		29/33.0 °C/21.9 °C	Não houve PDT

Tabela 12 – Onda de Calor e Período de Desconforto Térmico -PDT (continuação)

Ano	Mês	OC (dia/TMAX/TMIN)	PDT
		30/34.5 °C/22.2 °C	
		31/34.5 °C/22.0 °C	
2023	Fevereiro	01/32.2 °C/22.7 °C	Houve PDT
		02/34.5 °C/22.3 °C	
		03/35.6 °C/22.0 °C	
		04/37.3 °C/22.8 °C	
		05/34.7 °C/22.8 °C	
		06/32.7 °C/22.4 °C	
		12/31.8 °C/21.9 °C	Não houve PDT
		13/31.2 °C/22.5 °C	
		14/33.4 °C/21.7 °C	
		15/35.0 °C/23.3 °C	
		16/33.6 °C/22.7 °C	
		17/37.1 °C/24.0 °C	
		18/32.5 °C/23.0 °C	
		24/33.1 °C/23.0 °C	Não houve PDT
		25/36.0 °C/22.2 °C	
		26/37.2 °C/23.7 °C	
		27/31.8 °C/23.2 °C	
2023	Março	02/32.5 °C/20.9 °C	Não houve PDT
		03/34.2 °C/22.3 °C	
		04/36.4 °C/23.3 °C	
		05/33.7 °C/23.0 °C	
		06/31.8 °C/22.9 °C	
		07/34.6 °C/22.2 °C	
		08/31.7 °C/21.5 °C	
		09/35.4 °C/22.5 °C	
2023	Abril	13/32.3 °C/19.4 °C	Não houve PDT
		14/31.6 °C/20.7 °C	
		15/30.6 °C/22.0 °C	
2023	Maio	06/28.9 °C/20.1 °C	Não houve PDT

Tabela 12 – Onda de Calor e Período de Desconforto Térmico -PDT (continuação)

Ano	Mês	OC (dia/TMAX/TMIN)	PDT
		07/29.1 °C/19.6 °C	
		08/30.1 °C/20.4 °C	
		09/30.9 °C/19.7 °C	
2023	Junho	23/28.5 °C/13.9 °C	Não houve PDT
		24/29.8 °C/13.8 °C	
		25/29.3 °C/14.0 °C	
		26/30.6 °C/13.6 °C	
		27/31.1 °C/14.8 °C	
		28/30.5 °C/15.3 °C	
2023	Julho	Não houve OC	Não houve PDT
2023	Agosto	21/30.8 °C/16.2 °C	Não houve PDT
		22/32.5 °C/15.8 °C	
		23/36.9 °C/16.9 °C	
		24/38.6 °C/19.3 °C	
2023	Setembro	02/31.5 °C/18.3 °C	Não houve PDT
		03/33.4 °C/20.0 °C	
		04/34.8 °C/21.2 °C	
		05/33.7 °C/22.6 °C	
		12/34.0 °C/16.0 °C	Não houve PDT
		13/36.4 °C/17.9 °C	
		14/32.8 °C/21.5 °C	
		17/35.8 °C/17.7 °C	Não houve PDT
		18/36.7 °C/18.2 °C	
		19/31.9 °C/16.7 °C	
		24/34.9 °C/21.1 °C	Não houve PDT
		25/30.5 °C/21.9 °C	
		26/33.1 °C/22.5 °C	
		27/37.3 °C/22.7 °C	
2023	Outubro	07/38.2 °C/21.7 °C	Não houve PDT

Tabela 12 – Onda de Calor e Período de Desconforto Térmico -PDT (continuação)

Ano	Mês	OC (dia/TMAX/TMIN)	PDT
		08/33.0 °C/23.0 °C	
		09/30.1 °C/22.5 °C	
		28/30.6 °C/21.9 °C	Houve PDT
		29/34.8 °C/25.0 °C	
		30/34.0 °C/22.6 °C	
		31/33.5 °C/23.4 °C	
2023	Novembro	11/32.5 °C/20.2 °C	Houve PDT
		12/34.8 °C/22.8 °C	
		13/34.4 °C/22.5 °C	
		14/33.9 °C/23.6 °C	
		15/34.3 °C/24.0 °C	
		16/39.1 °C/22.8 °C	
		17/35.6 °C/23.1 °C	
		18/40.5 °C/25.4 °C	
		19/31.6 °C/26.4 °C	
2023	Dezembro	03/31.7 °C/21.6 °C	Não houve PDT
		04/31.2 °C/23.1 °C	
		05/30.0 °C/24.0 °C	
		06/32.2 °C/23.7 °C	
		07/38.0 °C/23.4 °C	
		08/32.6 °C/24.9 °C	
		14/32.9 °C/20.4 °C	Não houve PDT
		15/33.9 °C/22.0 °C	
		16/34.1 °C/22.4 °C	
		17/33.0 °C/21.8 °C	
		22/32.5 °C/21.8 °C	Não houve PDT
		23/31.4 °C/23.8 °C	
		24/34.5 °C/23.1 °C	
		25/33.2 °C/23.2 °C	
		26/33.8 °C/23.8 °C	

Tabela 12 – Onda de Calor e Período de Desconforto Térmico -PDT (continuação)

Ano	Mês	OC (dia/TMAX/TMIN)	PDT			
Ano 2024						
2024	Janeiro	08/36.2 °C/ 21.8 °C	Houve PDT			
		09/33.8 °C/23.9 °C				
		10/33.3 °C/22.9 °C				
		11/37.0 °C/23.8 °C				
		12/34.5 °C/23.0 °C				
		15/35.6 °C/22.8 °C				
		16/37.6 °C/23.6 °C				
		17/38.4 °C/24.4 °C				
		18/32.3 °C/24.4 °C				
		19/34.1 °C/23.7 °C				
		20/34.8 °C/24.1 °C				
		2024		Fevereiro	08/32.0 °C/22.7 °C	Houve PDT
					09/32.1 °C/21.9 °C	
					10/34.0 °C/21.5 °C	
11/35.1 °C/22.5 °C						
12/35.6 °C/23.2 °C						
13/36.8 °C/22.4 °C						
14/32.1 °C/23.1 °C						
22/33.2 °C/22.3 °C	Não houve PDT					
23/34.6 °C/23.7 °C						
24/35.7 °C/23.9 °C						
25/32.3 °C/23.3 °C						
26/29.8 °C/23.7 °C						
27/33.0 °C/23.2 °C						
28/32.9 °C/24.8 °C						
29/31.7 °C/22.9 °C						
2024	Março	15/33.6 °C/22.9 °C	Houve PDT			
		16/36.1 °C/23.0 °C				
		17/38.3 °C/24.0 °C				

Tabela 12 – Onda de Calor e Período de Desconforto Térmico -PDT (continuação)

Ano	Mês	OC (dia/TMAX/TMIN)	PDT
2024	Abril	02/31.6 °C/19.3 °C	Não houve PDT
		03/30.4 °C/19.4 °C	
		04/30.2 °C/20.2 °C	
		05/31.5 °C/20.4 °C	
		15/30.6 °C/21.7 °C	Não houve PDT
		16/32.1 °C/21.5 °C	
		17/32.2 °C/21.1 °C	
		22/30.5 °C/16.6 °C	Não houve PDT
		23/33.5 °C/18.6 °C	
		24/35.9 °C/18.1 °C	
		27/33.8 °C/19.4 °C	Não houve PDT
		28/37.0 °C/20.2 °C	
		29/32.3 °C/20.1 °C	
		30/33.9 °C/21.8 °C	
		2024	Maio
02/37.4 °C/21.5 °C			
03/31.1 °C/21.0 °C			
04/33.2 °C/19.8 °C			
05/33.0 °C/19.7 °C			
06/31.9 °C/19.4 °C			
07/34.7 °C/19.1 °C			
08/34.7 °C/19.1 °C			
09/36.0 °C/19.7 °C			
10/29.8 °C/21.0 °C			
11/35.6 °C/19.8 °C			
12/36.3 °C/19.8 °C			
13/36.7 °C/19.1 °C			
14/29.8 °C/18.6 °C			
22/30.0 °C/18.8 °C	Não houve PDT		
23/32.6 °C/18.0 °C			
24/33.7 °C/18.4 °C			

Identificação de Ondas de Desconforto Térmico - ODT com ou sem a influência das Ondas de Calor.

Para analisar as Ondas de Desconforto Térmico, este trabalho propõe o desenvolvimento do "Índice de Ondas de Desconforto Térmico - IODT". O índice é baseado no cálculo e classificação do desconforto térmico do índice THI, sendo considerados apenas os níveis de Desconforto elevado e Perigo para classificação das Ondas de Desconforto Térmico que por definição será o período mínimo de três dias consecutivos com as respectivas classificações.

A figura 19 corresponde aos dias identificados dentro do processo proposto pelo IODT para o ano de 2020, foi observada a ocorrência de uma Onda de Desconforto Térmico no mês de outubro que foi influenciada por uma onda de calor ocorrida no mesmo período.

A figura 20 apresenta resultados referentes ao ano de 2021 que identificou a ocorrência de 5 Ondas de Desconforto Térmico, considerando que no ano de 2021 foram identificadas apenas 3 Ondas de Calor. Este resultado evidencia que podem ocorrer Ondas de Desconforto Térmico sem a influência das Ondas de Calor.

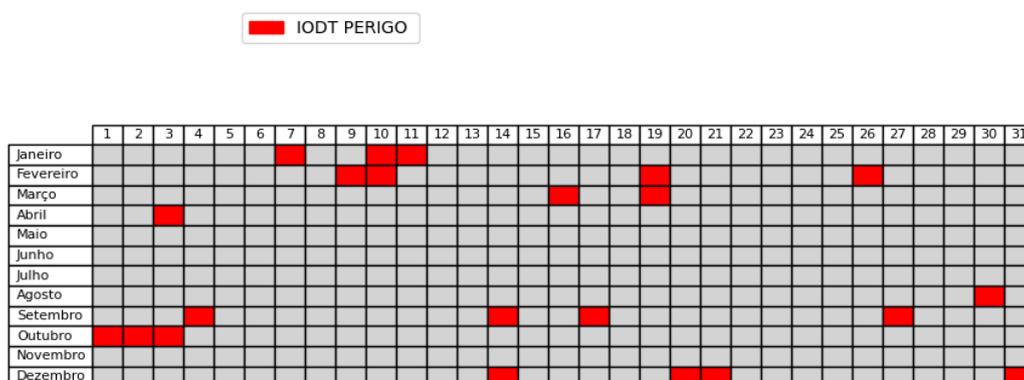
A figura 21 apresenta os resultados obtidos para o ano de 2022 onde foram registradas 2 ocorrências de Ondas de Desconforto Térmico que foram influenciadas por Ondas de Calor.

A figura 22 apresenta os resultados obtidos para o ano de 2023 onde foram registradas 4 ocorrências de Ondas de Desconforto Térmico que foram influenciadas por Ondas de Calor.

A figura 23 apresenta os resultados obtidos até o mês de Maio para o ano de 2024 onde foram registradas 4 ocorrências de Ondas de Desconforto Térmico que foram influenciadas por Ondas de Calor.

Os resultados apresentados evidenciam que as Ondas de Desconforto Térmico podem ocorrer independentemente das Ondas de Calor, entretanto os mesmos ocorrendo simultaneamente podem intensificar os danos a saúde humana.

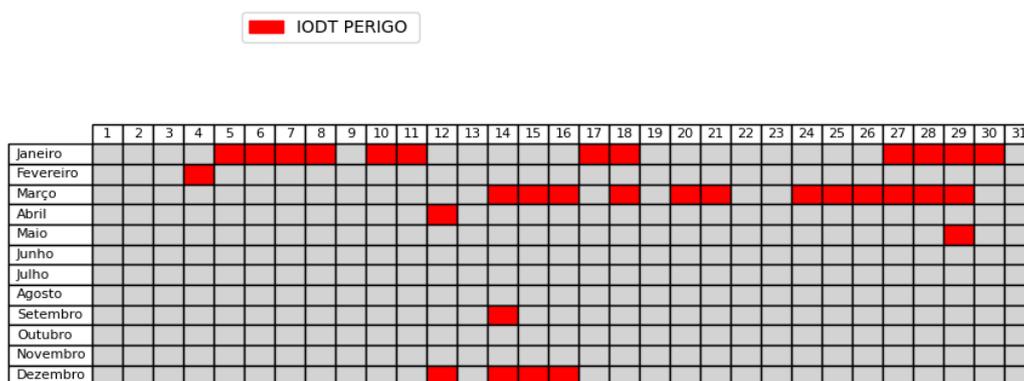
Índice de Onda de Desconforto Térmico - IODT 2020



Fonte: autor

Figura 19 – Índice de Onda de Desconforto Térmico - IODT 2020

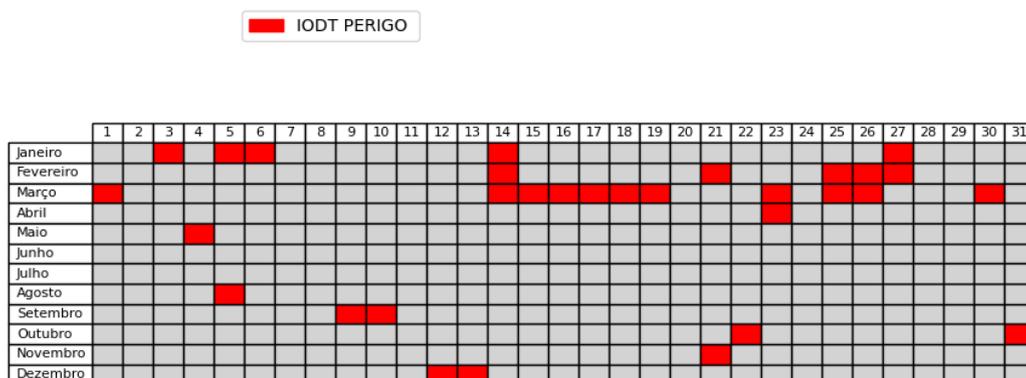
Índice de Onda de Desconforto Térmico - IODT 2021



Fonte: autor

Figura 20 – Índice de Onda de Desconforto Térmico - IODT 2021

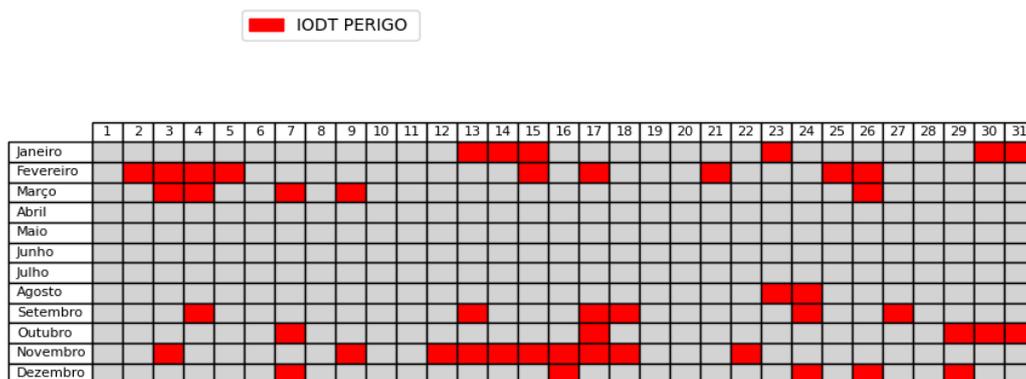
Índice de Onda de Desconforto Térmico - IODT 2022



Fonte: autor

Figura 21 – Índice de Onda de Desconforto Térmico - IODT 2022

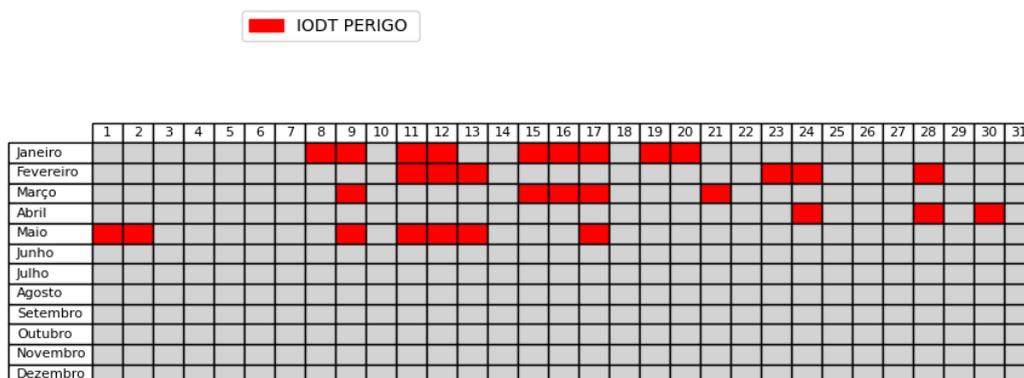
Índice de Onda de Desconforto Térmico - IODT 2023



Fonte: autor

Figura 22 – Índice de Onda de Desconforto Térmico - IODT 2023

Índice de Onda de Desconforto Térmico - IODT 2024

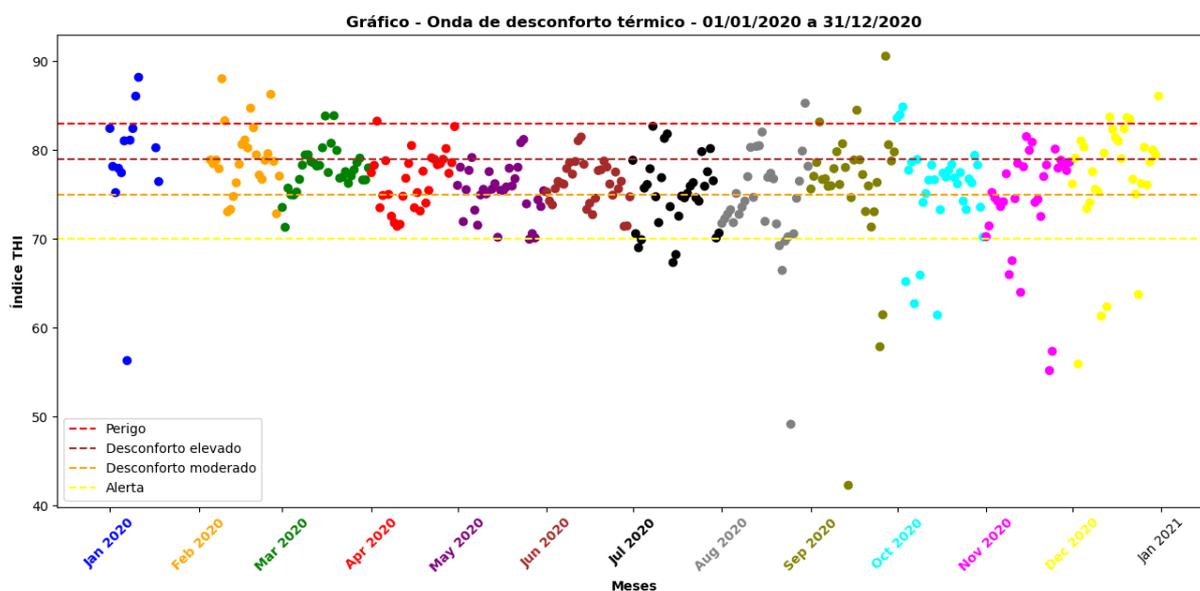


Fonte: autor

Figura 23 – Índice de Onda de Desconforto Térmico - IODT 2024

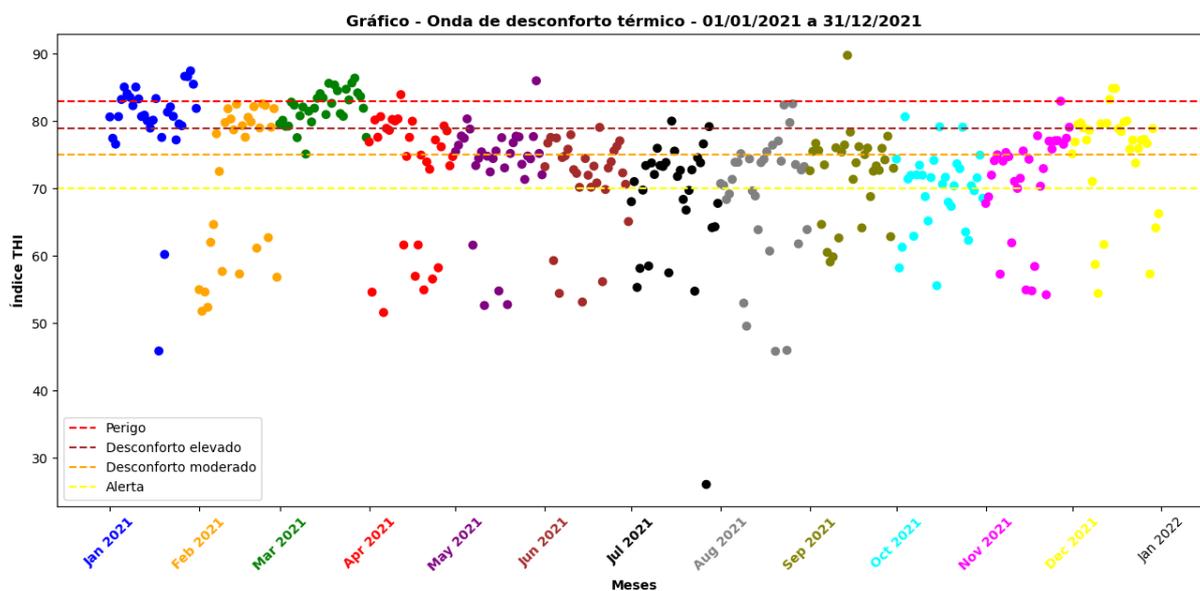
Conforto Térmico Índice THI- 2020, 2021, 2022, 2023 e 2024

Analisando as figuras 24, 25, 26, 27 e 28, podemos observar que os meses de janeiro, fevereiro e março apresentam um desconforto térmico mais elevado. Os meses de abril a setembro apresentam uma tendência de redução do desconforto térmico correspondendo ao período de temperaturas mais baixas. Os anos de 2021 e 2022 tiveram um aumento nos dias com baixo desconforto térmico que pode ser associado a influência do evento La Niña. Os anos de 2023 e 2024 registraram um aumento no desconforto térmico sendo influenciado pelo El Niño.



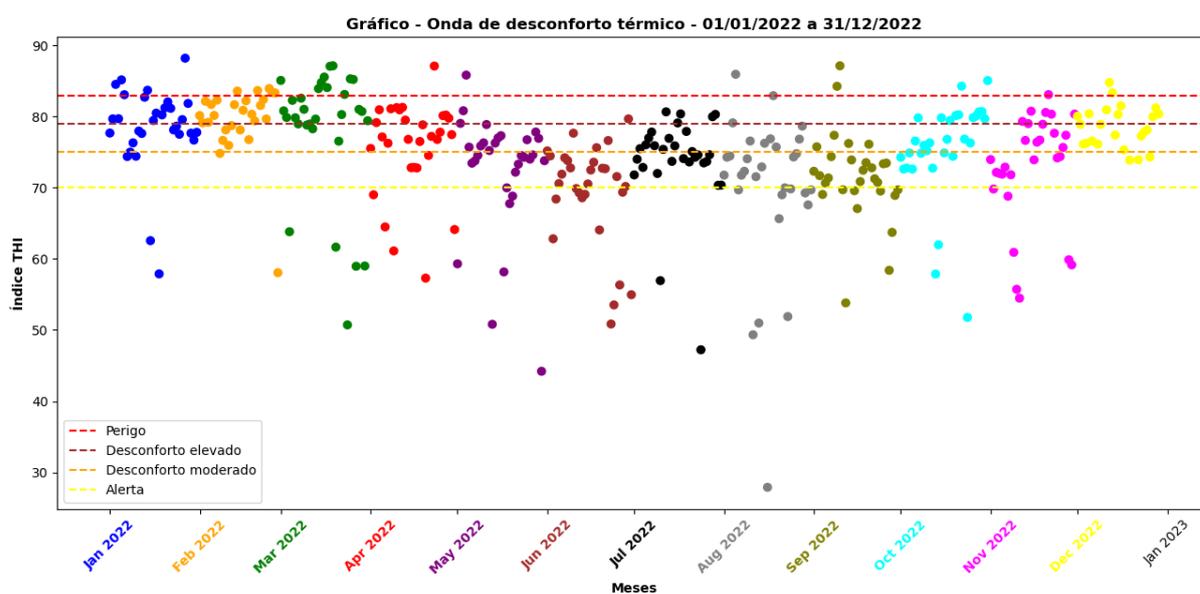
Fonte: autor

Figura 24 – Conforto Térmico 2020



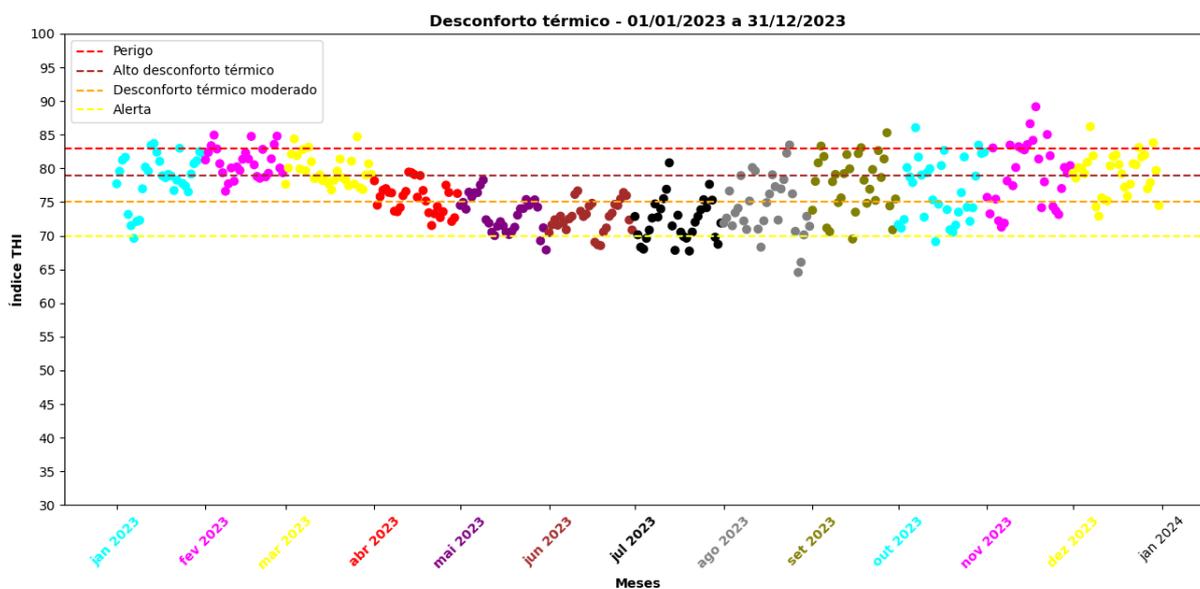
Fonte: autor

Figura 25 – Conforto Térmico 2021

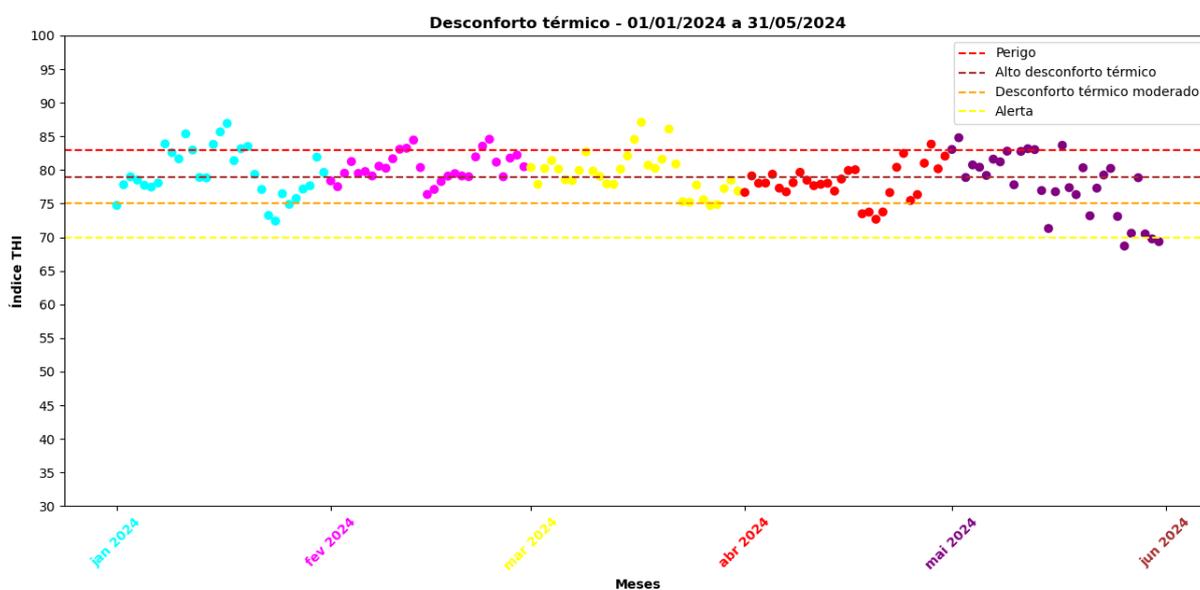


Fonte: autor

Figura 26 – Conforto Térmico 2022



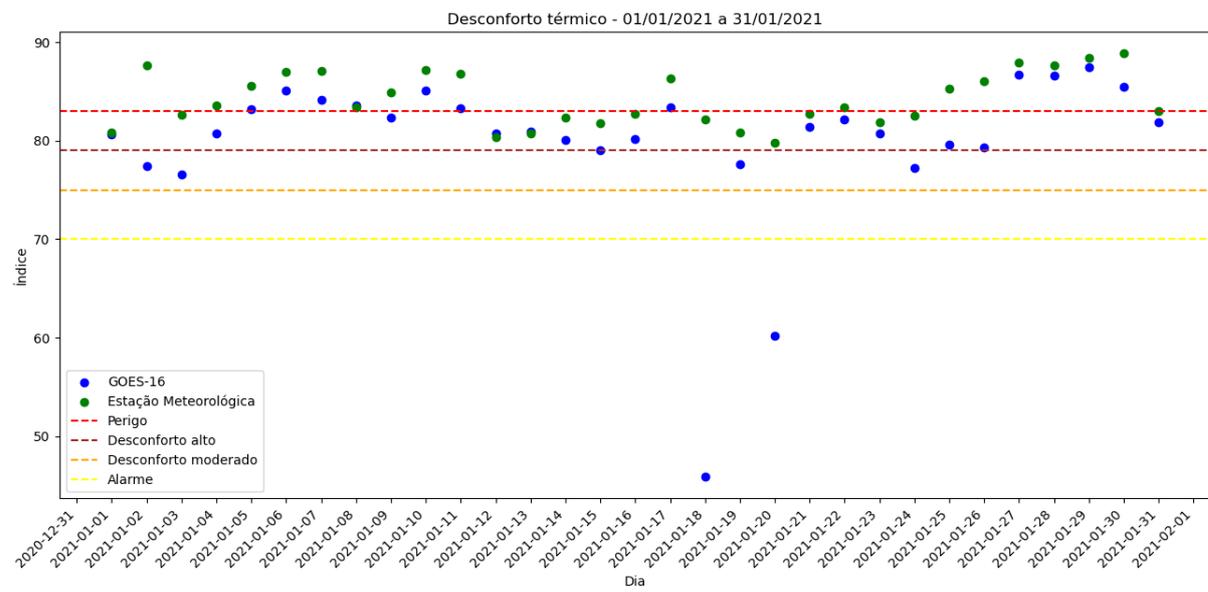
Fonte: autor
Figura 27 – Conforto Térmico 2023



Fonte: autor
Figura 28 – Conforto Térmico 2024

Desconforto Térmico - Estação Meteorológica e GOES-16

Na figura 29 podemos observar o comportamento da curva de desconforto térmico observado pela estação meteorológica de Jacarepaguá (Rio de Janeiro) e a curva de desconforto térmico estimada pelo satélite GOES-16. O desconforto térmico estimado pelo satélite subestima os dados observados como já esperado, mediante os resultados estatísticos apresentados.



Fonte: autor

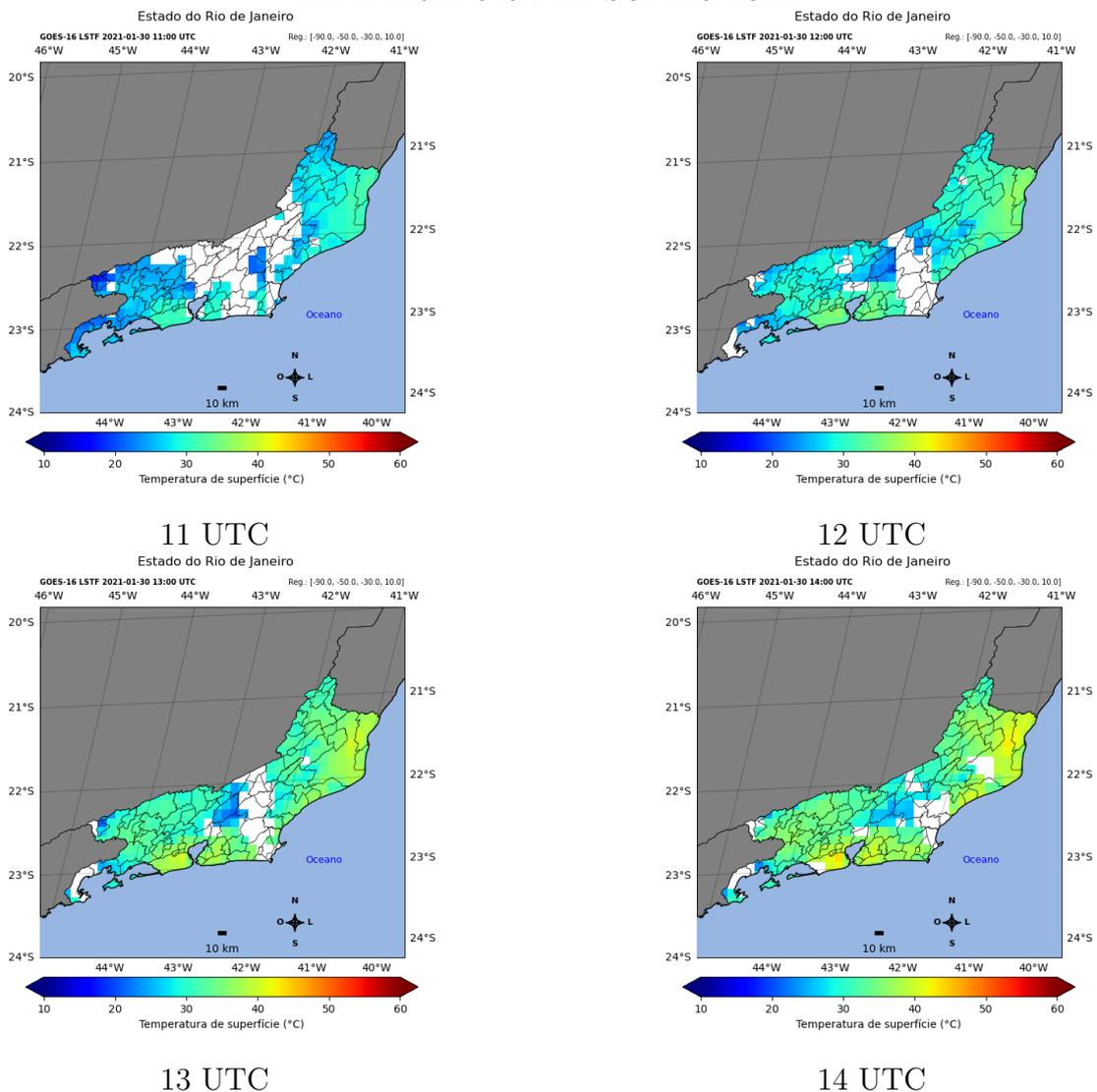
Figura 29 – Conforto Térmico estação meteorológica e GOES-16

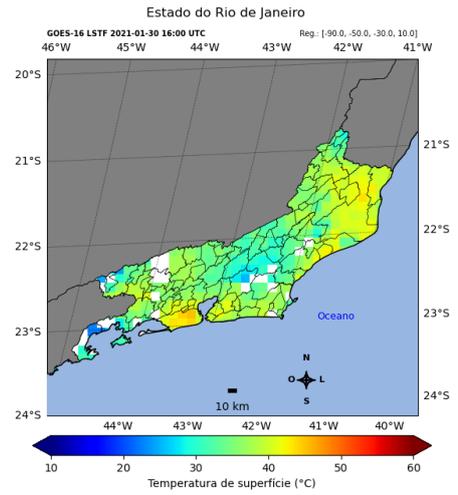
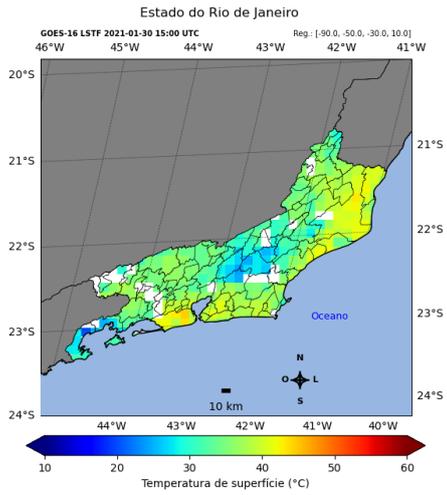
Temperatura de Superfície, Temperatura do Ar e Umidade Relativa do Ar - Estado do Rio de Janeiro no dia 30/01/2021

O monitoramento horário das variáveis de temperatura de superfície, temperatura do ar próximo a superfície e umidade relativa do ar foi realizado através das estimativas do satélite GOES-16.

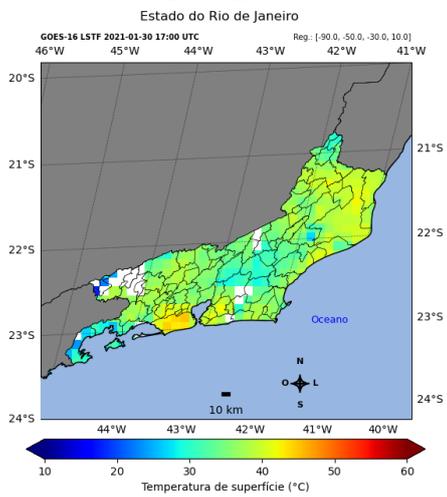
A figura 29 representa o monitoramento da temperatura de superfície no estado do Rio de Janeiro para o período das 11 UTC às 23 UTC. O dia 30/01/2021 foi definido como exemplo de monitoramento devido ao dia pertencer a uma onda de desconforto térmico ocorrida sem a influência de uma onda de calor, que foi representada na figura 20. O horário registrado com maior temperatura de superfície foi às 17 UTC. Os dados que não apresentam qualidade satisfatória segundo a classificação aplicada pelos algoritmos do satélite são descartados, este descarte fica evidenciado pela ausência de informação nos mapas.

TEMPERATURA DE SUPERFÍCIE



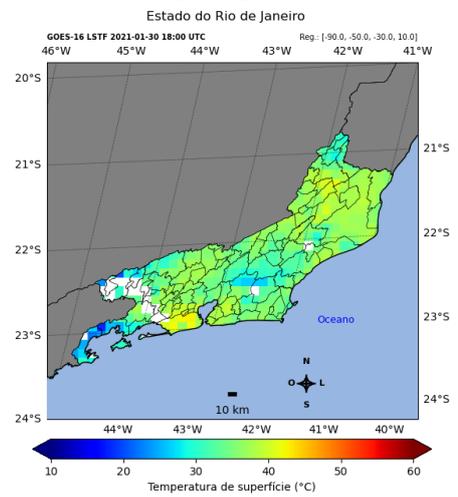


15 UTC



17 UTC

16 UTC



18 UTC

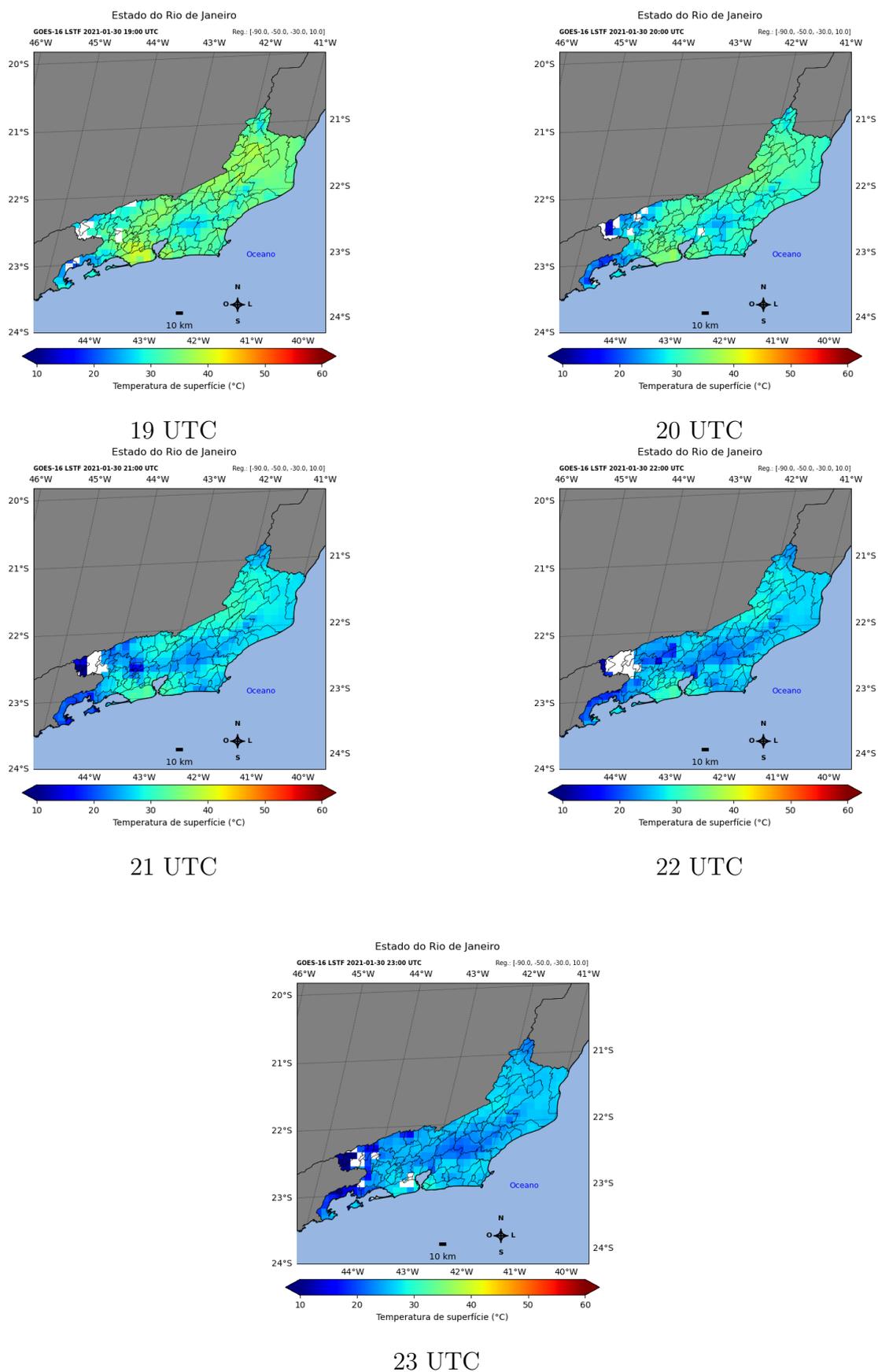
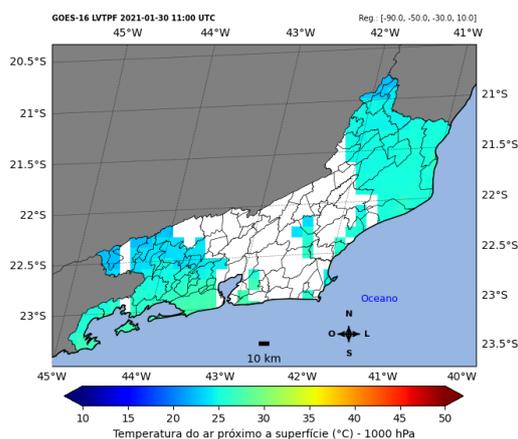


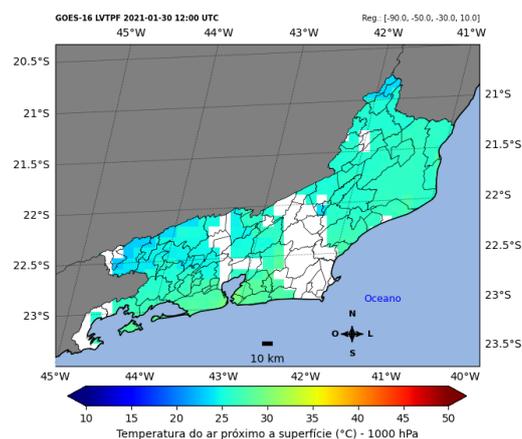
Figura 29 – Temperatura de Superfície

A figura 30 representa o processo de monitoramento horário da temperatura do ar próximo a superfície, para o período de 11 UTC A 23 UTC para o dia 30/01/2021 referente a uma onda de desconforto térmico que ocorreu sem a influência da onda de calor.

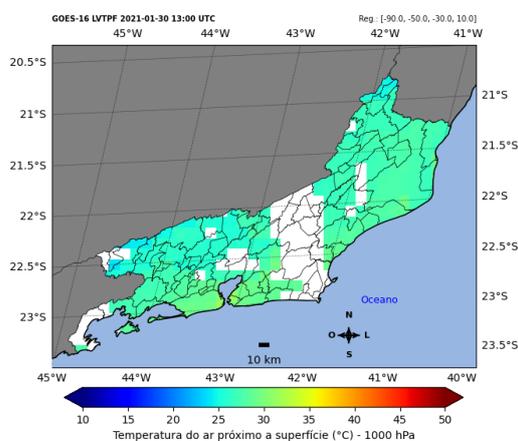
TEMPERATURA DO AR PRÓXIMO A SUPERFÍCIE



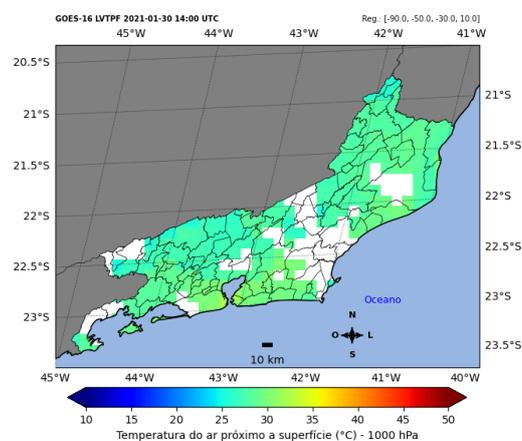
11 UTC



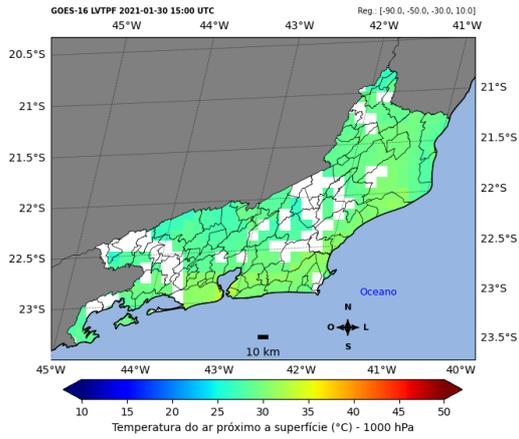
12 UTC



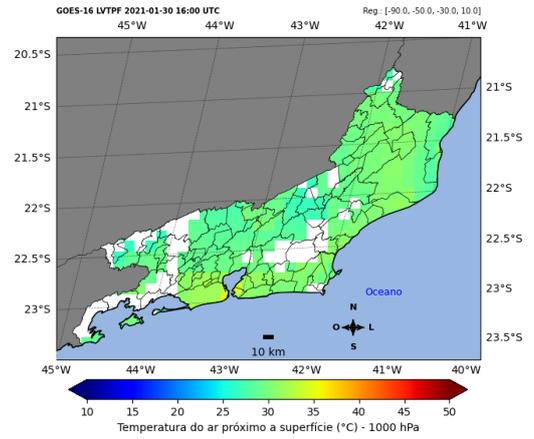
13 UTC



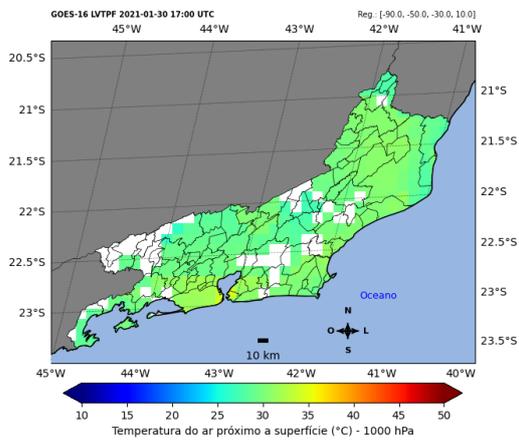
14 UTC



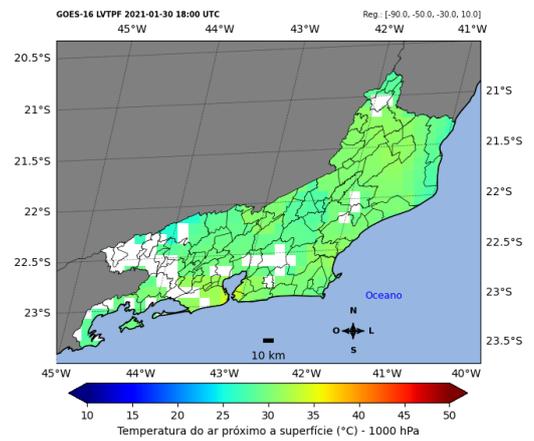
15 UTC



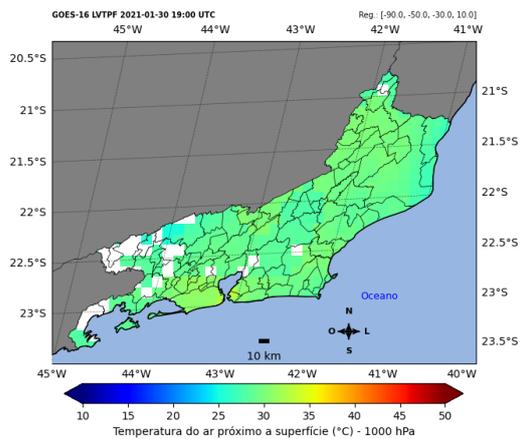
16 UTC



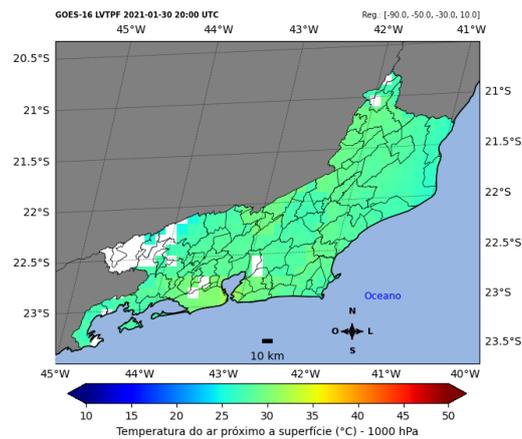
17 UTC



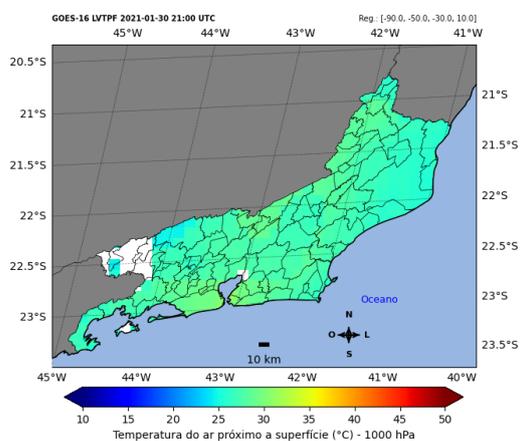
18 UTC



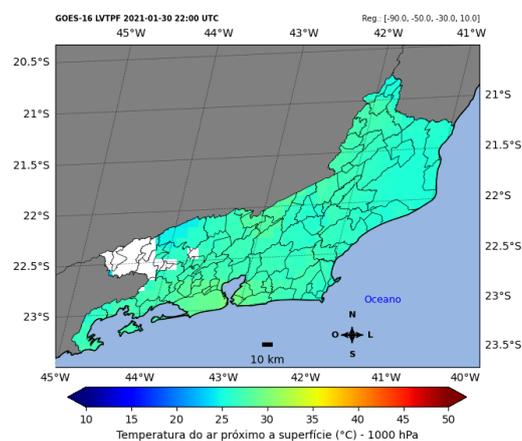
19 UTC



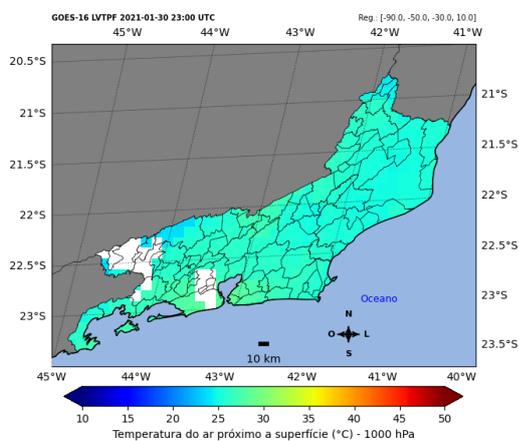
20 UTC



21 UTC



22 UTC



23 UTC

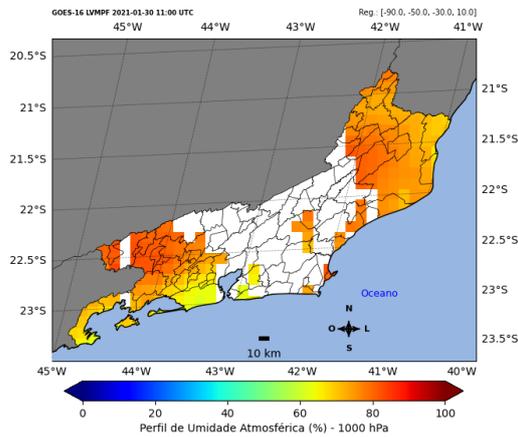
Figura 30 – Temperatura do Ar próximo a Superfície

A figura 31 representa o monitoramento horário da umidade relativa do ar para o período de 11 UTC a 23 UTC para o dia 30/01/2021 referente a uma onda de desconforto térmico que ocorreu sem a influência da onda de calor.

UMIDADE RELATIVA DO AR PRÓXIMO A SUPERFÍCIE

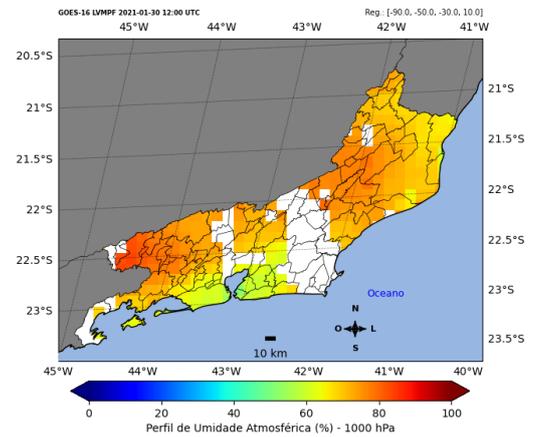
Estado do Rio de Janeiro

Estado do Rio de Janeiro



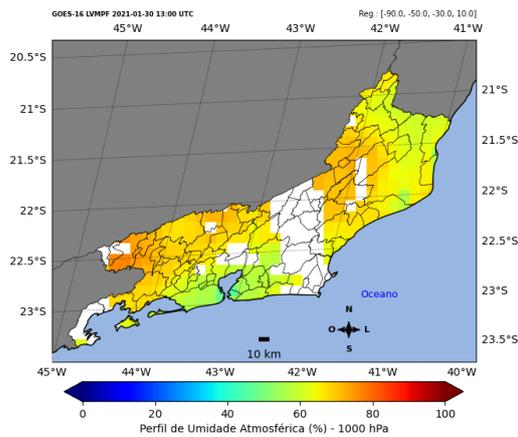
11 UTC

Estado do Rio de Janeiro

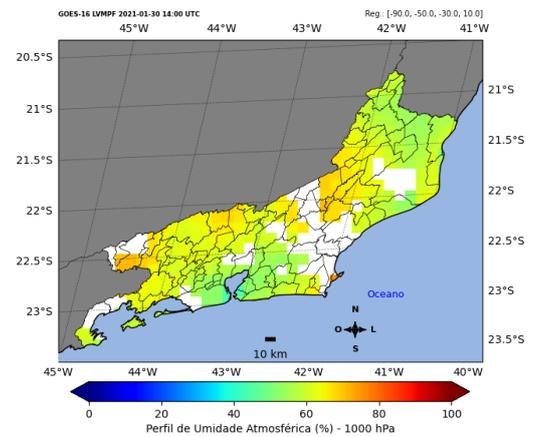


12 UTC

Estado do Rio de Janeiro

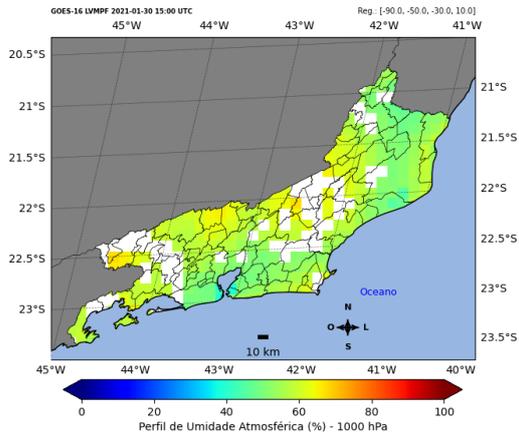


13 UTC



14 UTC

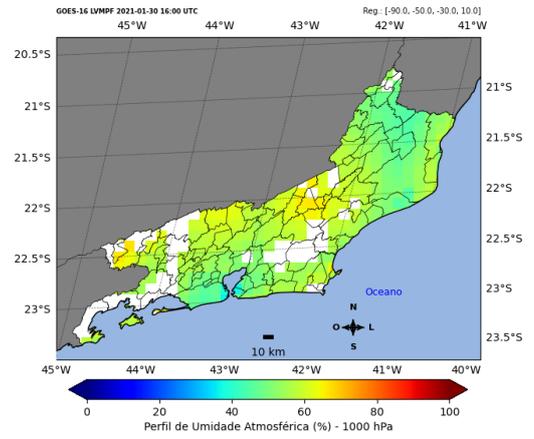
Estado do Rio de Janeiro



15 UTC

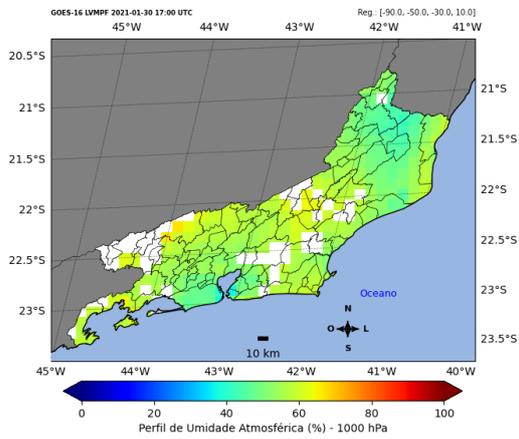
Estado do Rio de Janeiro

Estado do Rio de Janeiro

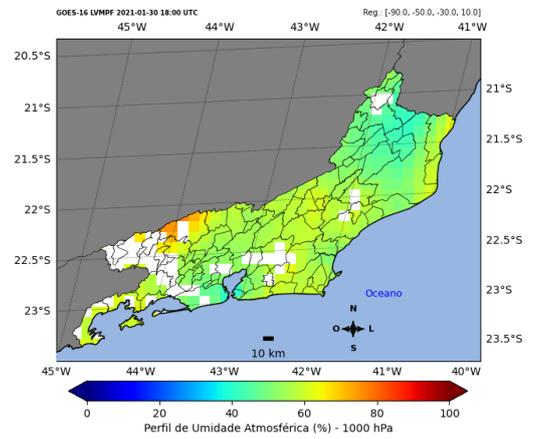


16 UTC

Estado do Rio de Janeiro



17 UTC



18 UTC

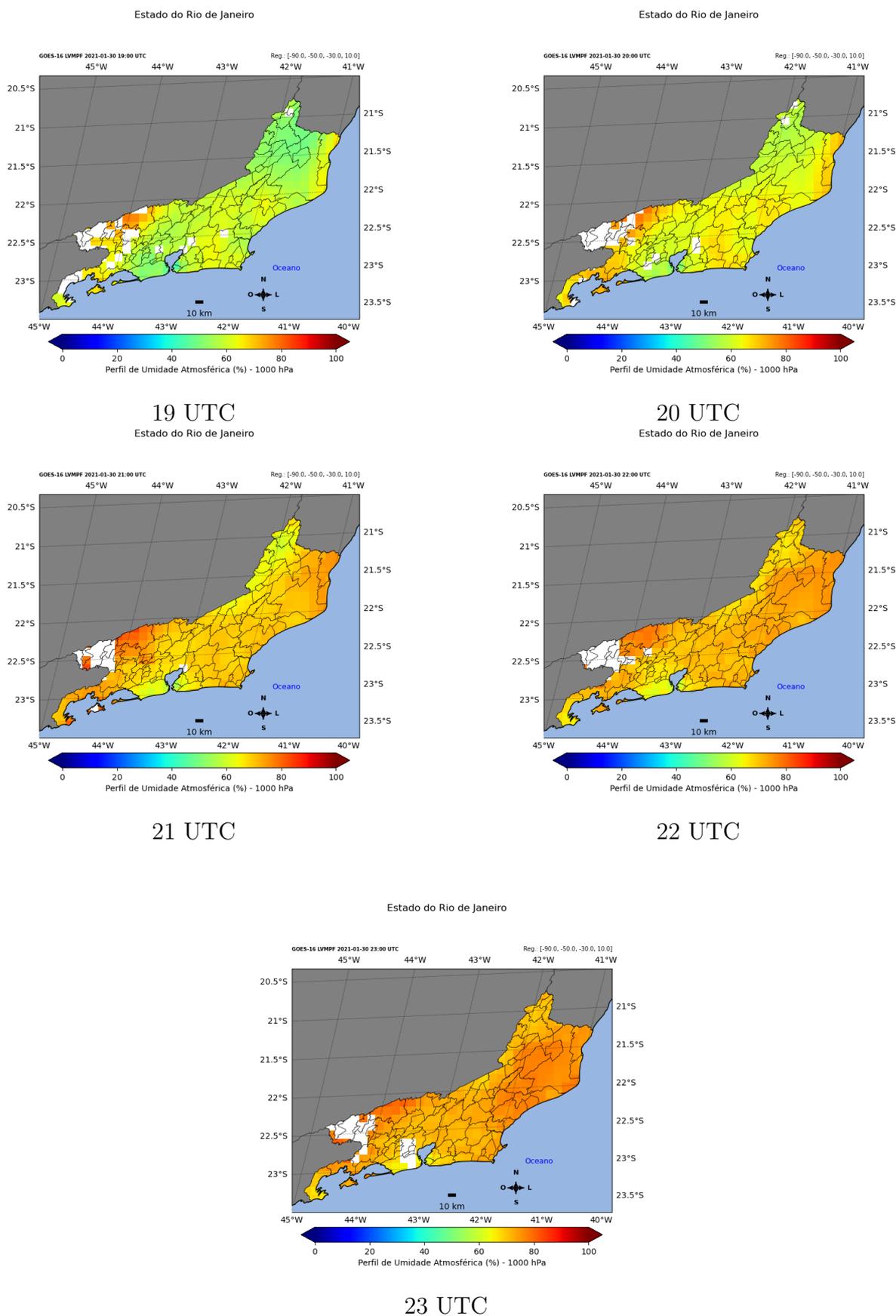
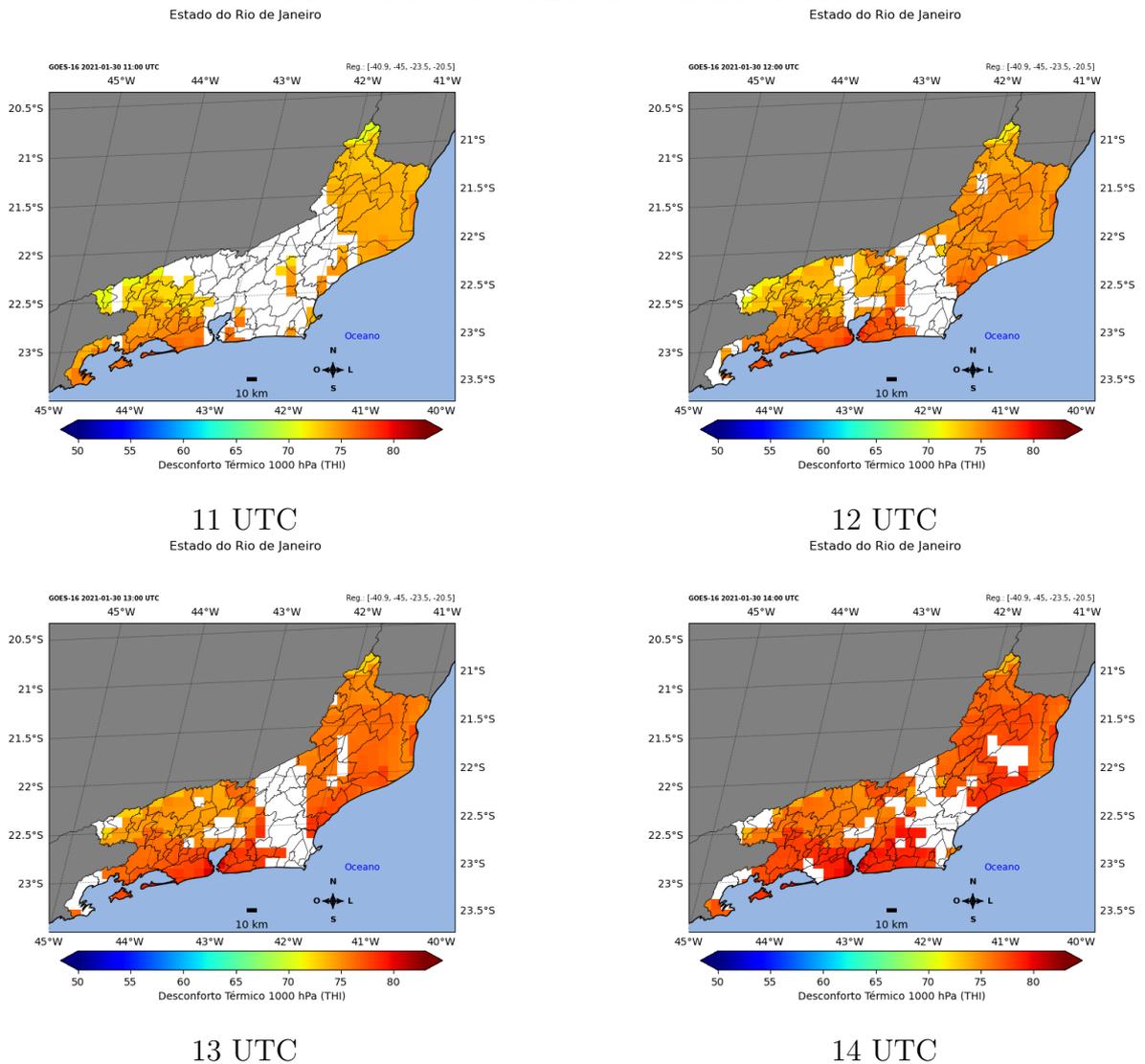


Figura 31 – Temperatura do Ar próximo a Superfície

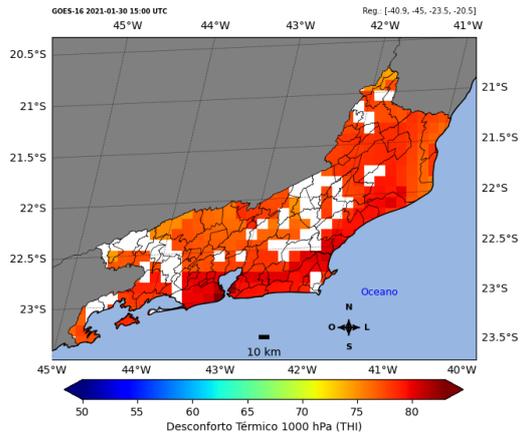
Monitoramento do Desconforto Térmico para o Estado do Rio de Janeiro no dia 30/01/2021

A figura 32 representa o monitoramento horário do desconforto térmico no estado do Rio de Janeiro. O índice THI calculado utilizou os dados estimados de temperatura do ar próximo a superfície e umidade relativa do ar próximo a superfície, para o dia 30/01/2021 no período de 11 UTC a 23 UTC referente a uma onda de desconforto térmico que ocorreu sem a influência de uma onda de calor.

DESCONFORTO TÉRMICO ÍNDICE THI



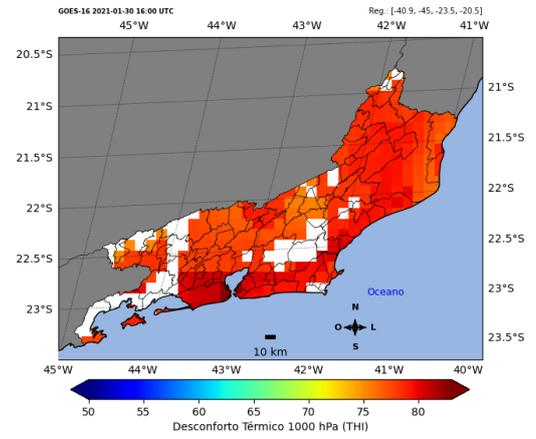
Estado do Rio de Janeiro



15 UTC

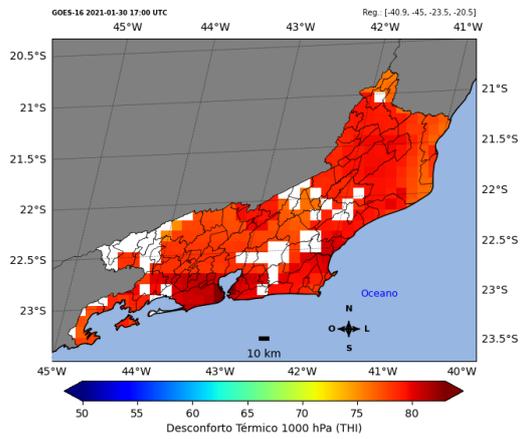
Estado do Rio de Janeiro

Estado do Rio de Janeiro

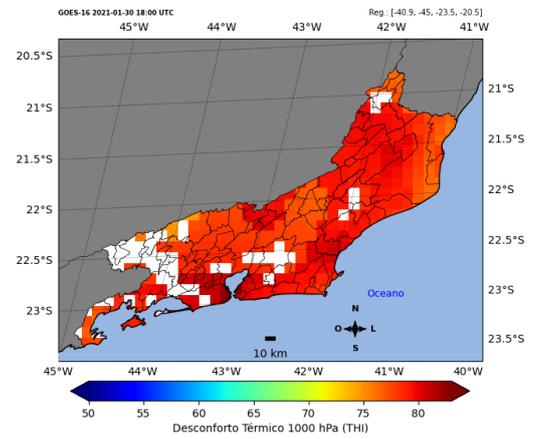


16 UTC

Estado do Rio de Janeiro



17 UTC



18 UTC

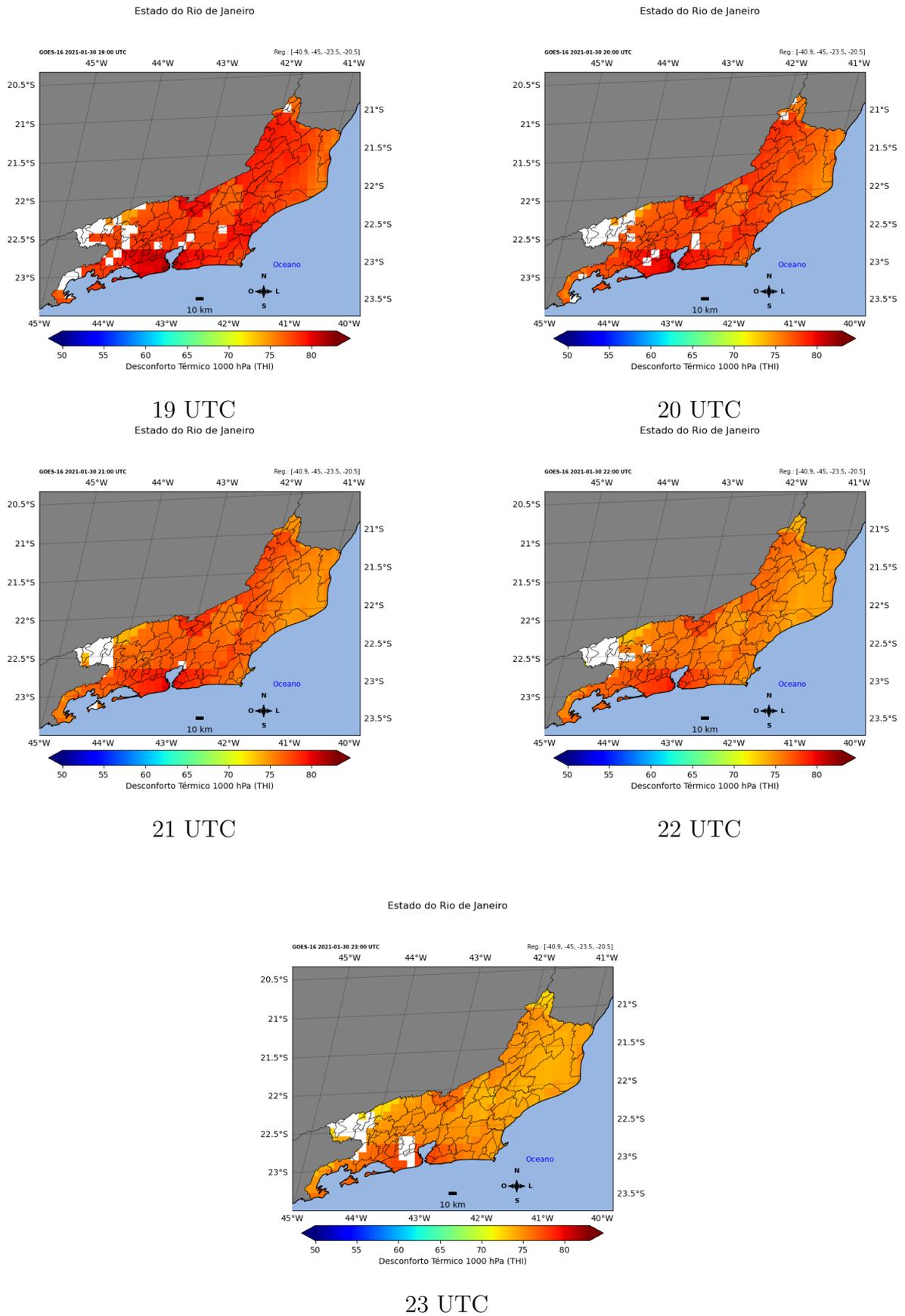


Figura 32 – Desconforto Térmico Índice THI

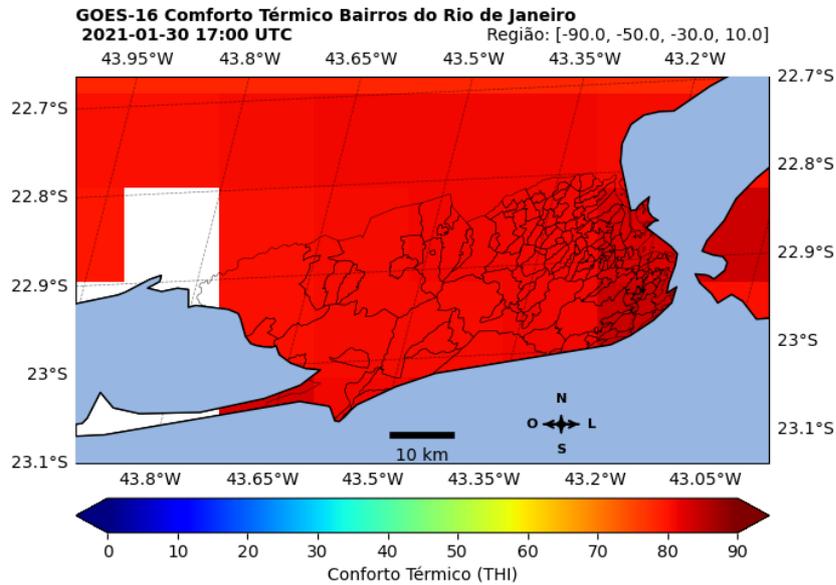


Figura 33 – Conforto Térmico Bairros do Rio de Janeiro

A figura 33 representa a distribuição do conforto térmico nos bairros de município do Rio de Janeiro estimado através dos dados fornecidos pelo satélite GOES-16, a ausência de dados por ocorrência de nuvens é registrada através da área em branco no mapa.

Monitoramento da temperatura de superfície, temperatura do ar, desconforto térmico e umidade relativa do ar em áreas de ilhas de calor

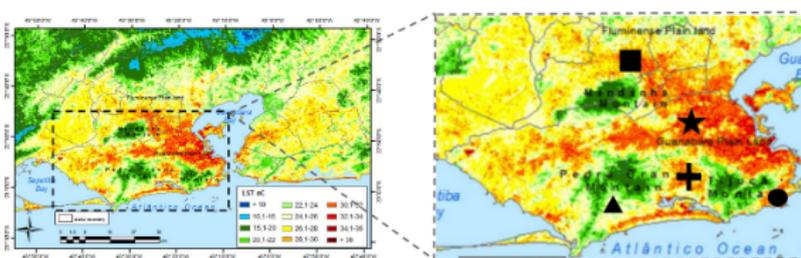


Figura 34 – Mapa de ilhas de calor [1]

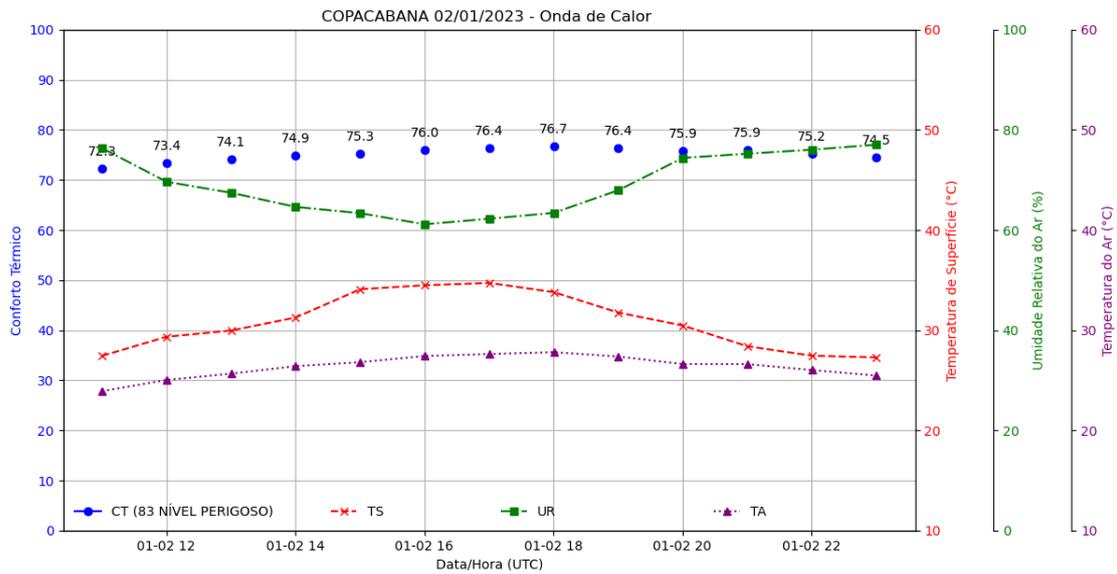
A figura 34 representa a identificação das ilhas de calor em [1]. Foram definidos cinco pontos para aquisição de dados estimados pelo satélite GOES-16, sendo eles: Círculo na cor preta identifica o bairro de Copacabana; Triângulo representa o bairro de Vargem Grande; Quadrado representa o município de Nova Iguaçu; Estrela representa o bairro de Irajá e o marcador em cruz representa o bairro de Jacarepaguá.

Para cada ponto, foram aquiritadas a temperatura de superfície, umidade relativa do ar e temperatura do ar. O desconforto térmico foi calculado utilizando a temperatura do ar e a umidade relativa do ar. Os pontos selecionados foram observados em três cenários distintos, o primeiro cenário foi referente a ocorrência de uma onda de calor, o segundo cenário fez referência ao registro de uma onda de calor e uma onda de desconforto térmico e o terceiro cenário refere-se ao sem onda de calor e sem onda de desconforto térmico. As figuras de 35 a 49.

O período escolhido para análise foi o mês de janeiro de 2023, o qual os três cenários de análise foram identificados. Para o evento de onda de calor foi analisado o dia 02/01/2023 para os cinco pontos de monitoramento. Para analisar o evento de associação entre ondas de calor e ondas de desconforto térmico foi monitorado o dia 15/01/2023. Para o período sem ocorrência de ondas de calor e ondas de desconforto térmico, foi monitorado o dia 18/01/2023.

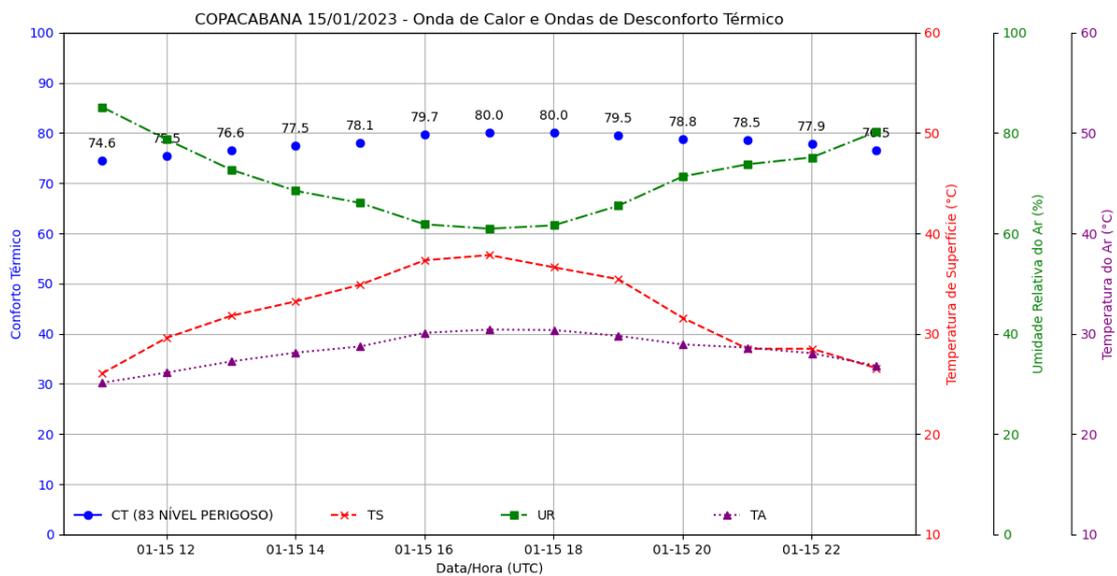
Os resultados demonstraram que os eventos em que ocorreram apenas as ondas de calor tiveram o nível de desconforto térmico inferior aos registrados nos períodos em que ocorreram as ondas de calor associadas as ondas de desconforto térmico. Os resultados obtidos para os períodos em que não ocorreram ondas de calor e ondas de desconforto térmico demonstraram que o desconforto térmico foi inferior a ambas as análises anteriores.

Bairro de Copacabana



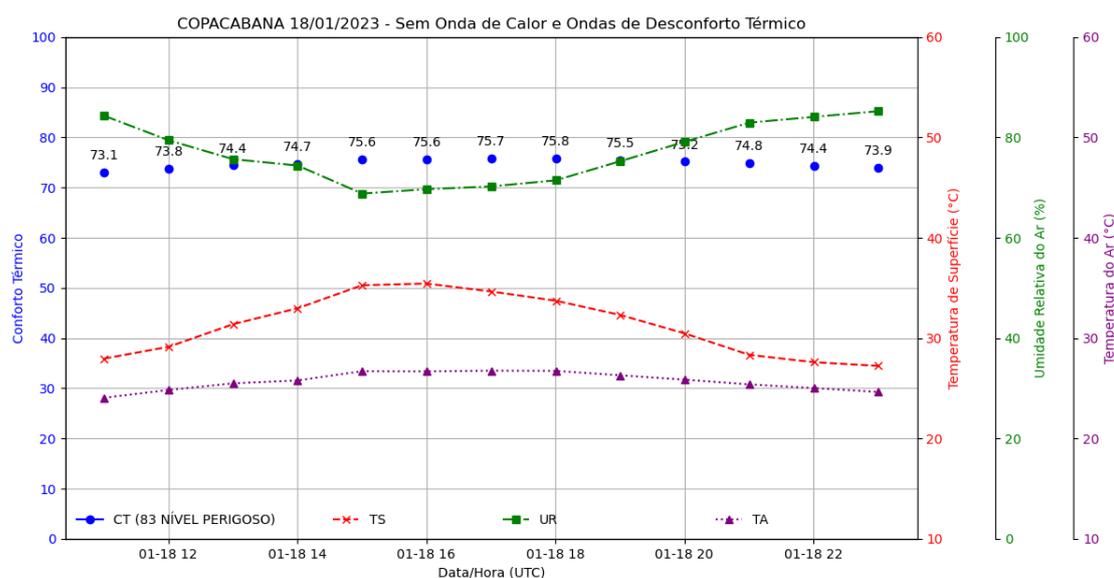
Fonte: autor

Figura 35 – Copacabana 02/01/2023 Onda de Calor



Fonte: autor

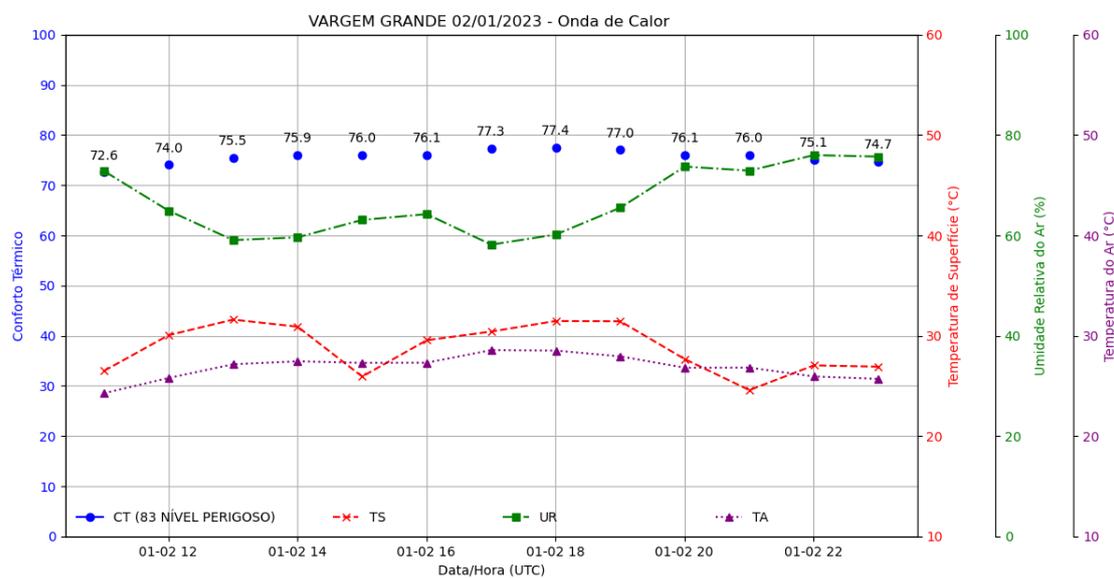
Figura 36 – Copacabana 15/01/2023 - Onda de Calor e Onda de Desconforto Térmico



Fonte: autor

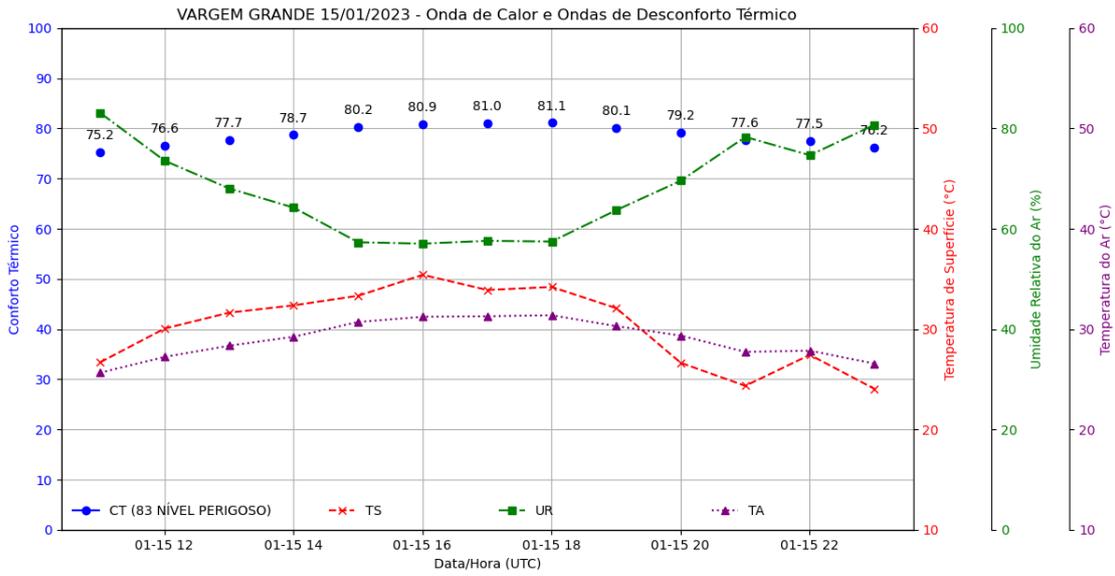
Figura 37 – Copacabana 18/01/2023 Sem Onda de Calor e Onda de Desconforto Térmico

Bairro de Vargem Grande



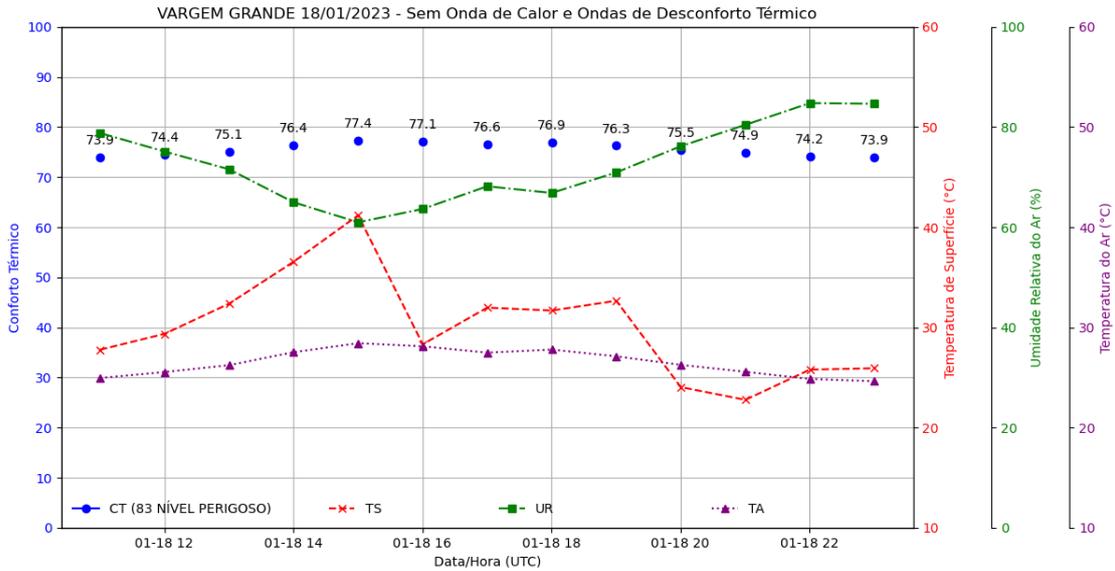
Fonte: autor

Figura 38 – Vargem Grande 02/01/2023 Onda de Calor



Fonte: autor

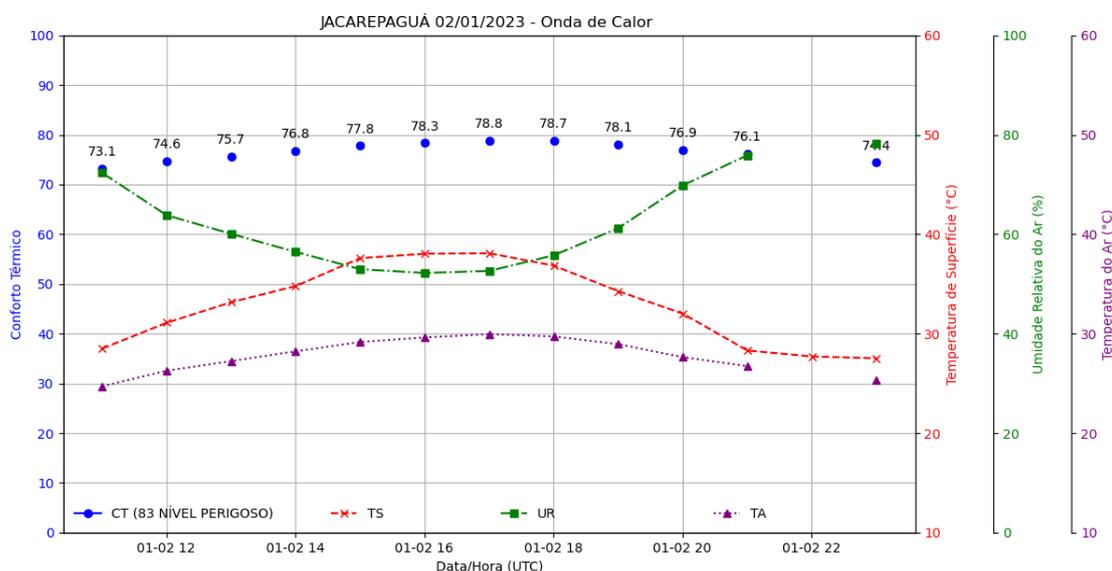
Figura 39 – Vargem Grande 15/01/2023 Onda de Calor e Ondas de Desconforto



Fonte: autor

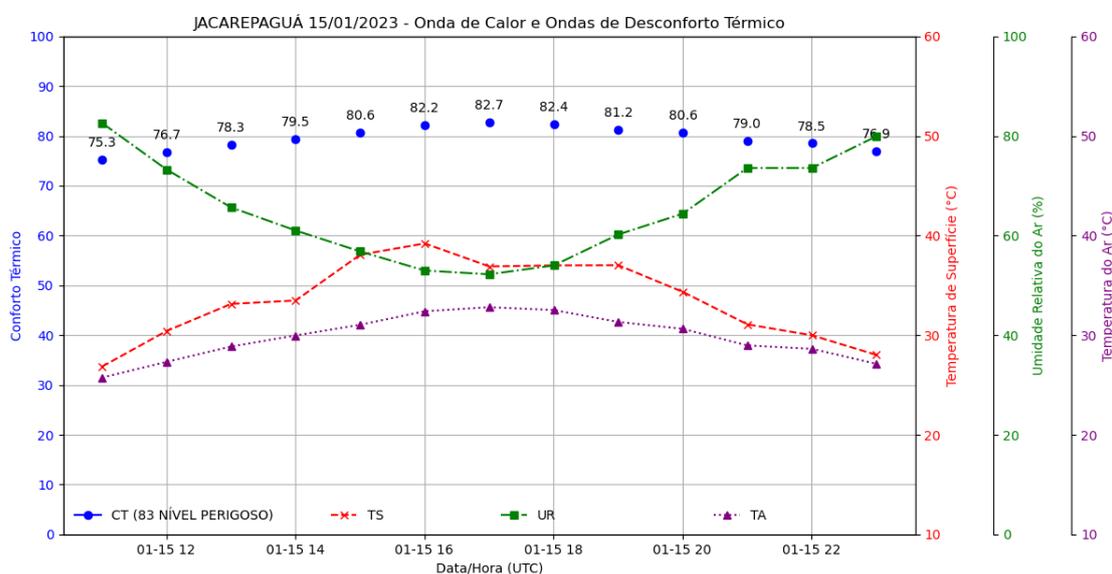
Figura 40 – Vargem Grande 18/01/2023 - Sem Onda de Calor e Onda de Desconforto Térmico

Bairro de Jacarepaguá



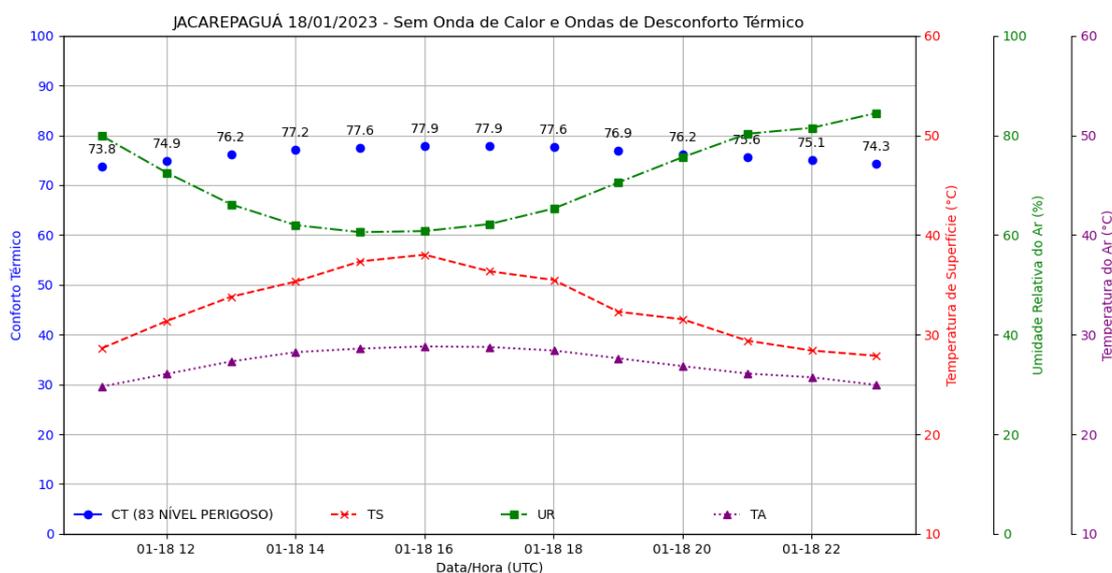
Fonte: autor

Figura 41 – Jacarepaguá 02/01/2023 Onda de Calor



Fonte: autor

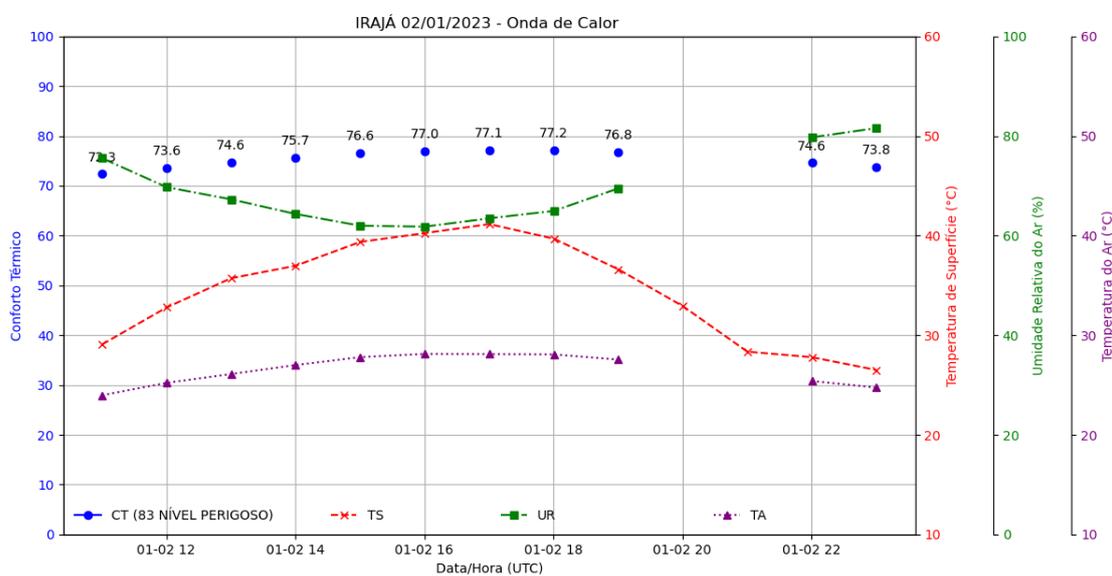
Figura 42 – Jacarepaguá 15/01/2023 - Onda de Calor e Onda de Desconforto Térmico



Fonte: autor

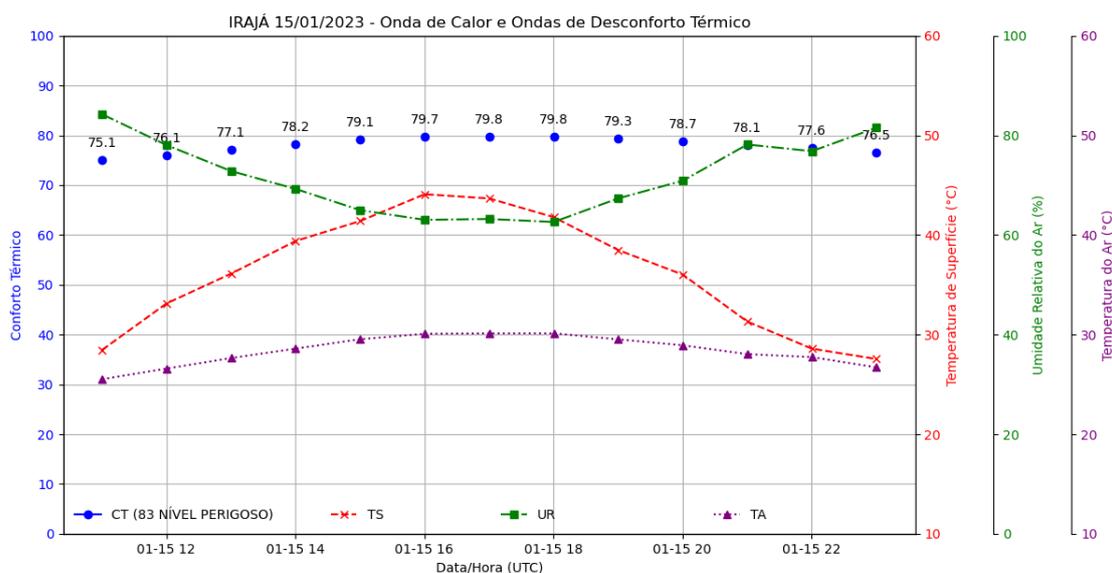
Figura 43 – Jacarepaguá 18/01/2023 - Sem Onda de Calor e Onda de Desconforto Térmico

Bairro de Irajá



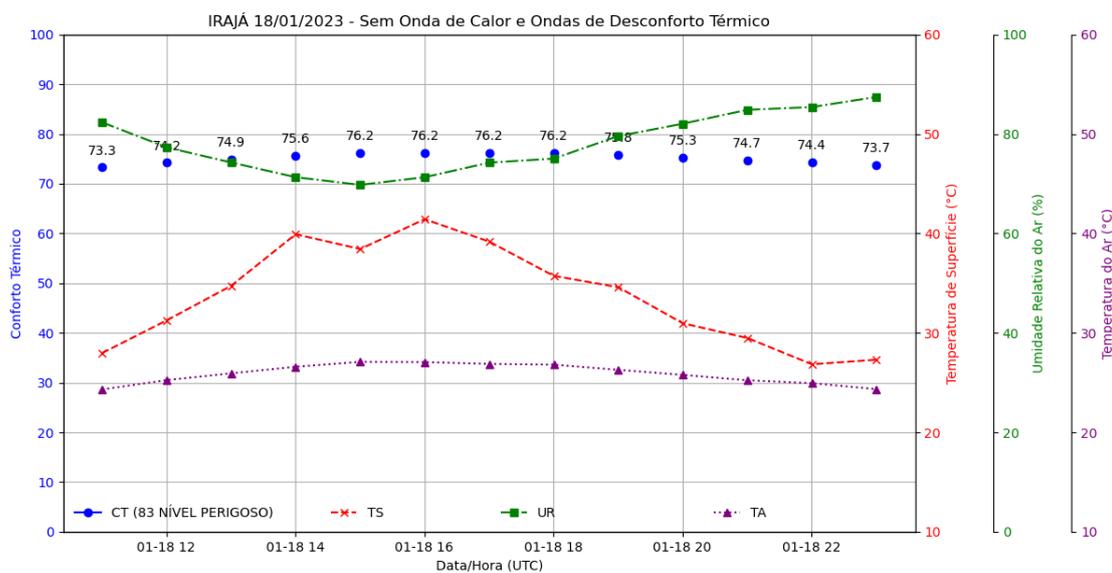
Fonte: autor

Figura 44 – Irajá 02/01/2023 Onda de Calor



Fonte: autor

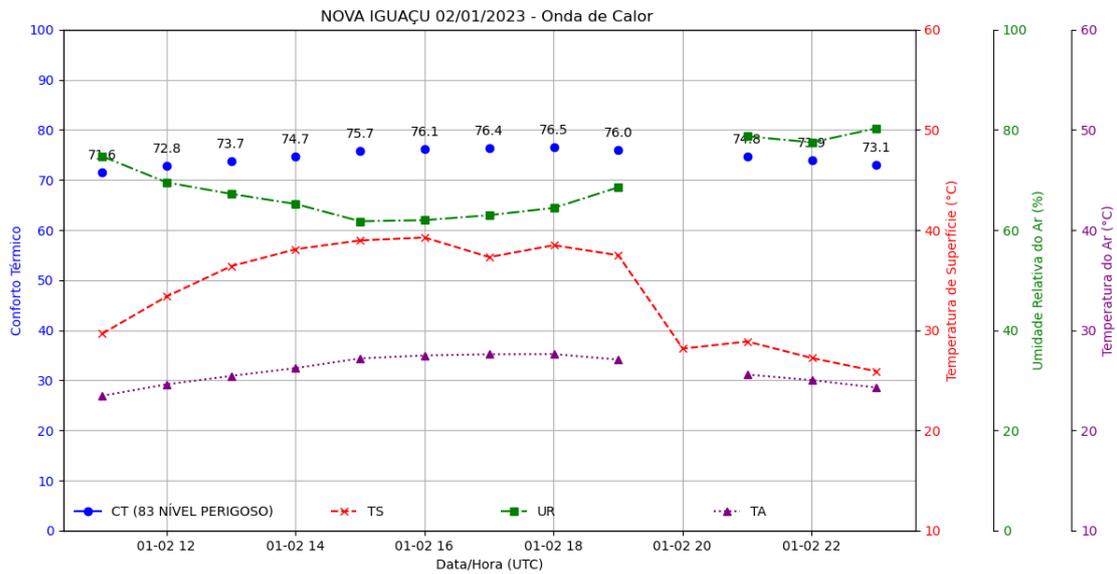
Figura 45 – Irajá 15/01/2023 - Onda de Calor e Ondas de Desconforto Térmico



Fonte: autor

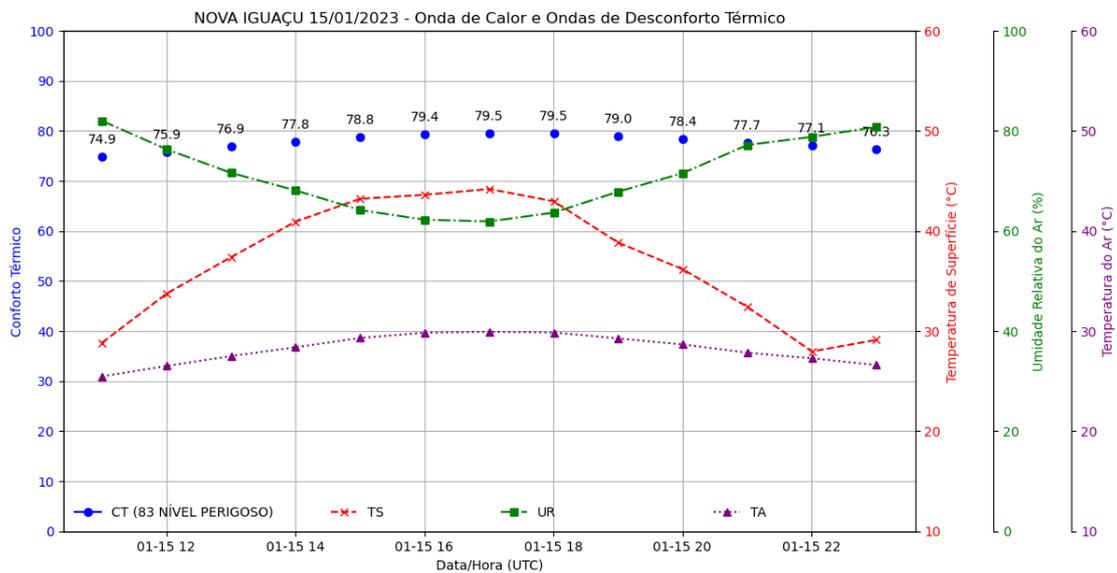
Figura 46 – Irajá 18/01/2023 - Sem Onda de Calor e Ondas de Desconforto Térmico

Bairro de Nova Iguaçu



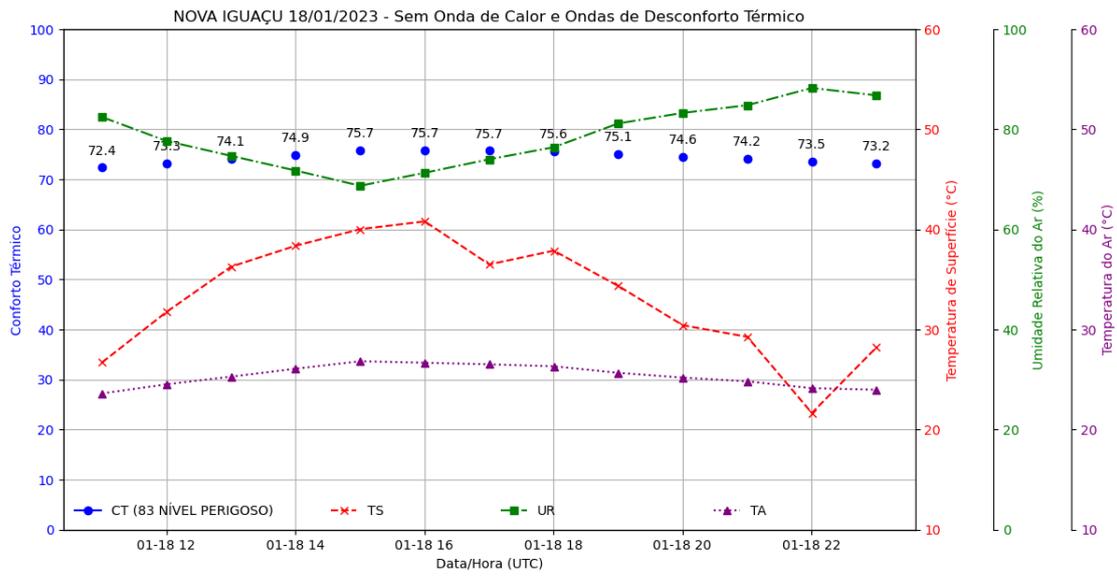
Fonte: autor

Figura 47 – Nova Iguaçu 02/01/2023 - Onda de Calor



Fonte: autor

Figura 48 – Nova Iguaçu 15/01/2023 - Onda de Calor e Onda de Desconforto Térmico



Fonte: autor

Figura 49 – Nova Iguaçu 18/01/2023 - Sem Onda de Calor e Ondas de Desconforto Térmico

Análise do impacto das Ondas de Calor e de Desconforto Térmico no registro de óbitos de 2021

Mês	ME 2008-2019	OO (2021)	O/E (2021)	OC (2021)	ODT (2021)
Janeiro	506	730	1.44	sim	sim
Fevereiro	439	593	1.35	não	não
Março	454	684	1.50	sim	sim
Abril	458	677	1.48	não	não
Maiο	518	688	1.33	não	não
Junho	539	706	1.31	não	não
Julho	569	800	1.41	não	não
Agosto	540	720	1.33	não	não
Setembro	498	647	1.30	não	não
Outubro	469	633	1.35	não	não
Novembro	446	596	1.34	não	não
Dezembro	491	898	1.83	sim	sim

Tabela 13 – Excesso de mortalidade por mês para 2021

A tabela 13 apresenta a média de óbitos esperados (ME) para cada mês do ano, tendo como base o período de 2008 a 2019, o número de óbitos observados (OO) para cada mês do ano de 2021, a taxa de óbitos observados e esperados (O/E) para cada mês do ano de 2021, registro de ondas de calor (OC) para os meses de 2021 e as ondas de desconforto térmico (ODT) para cada mês do ano de 2021.

Os resultados apresentados na tabela 13, sugerem um padrão de comportamento para os meses que tiveram o registro de OC e ODT simultaneamente. O padrão identifica que os meses onde ocorreram OC e ODT simultaneamente apresentam uma taxa O/E acima de 1.40 sendo os meses Janeiro, Março e Dezembro.

Os meses que não apresentaram ocorrência de OC e ODT simultaneamente, porém são precedidos por meses que apresentaram o registro de OC e ODT, podem apresentar uma taxa O/E acima de 1.40 conforme observado no mês de abril. O mês de julho apresentou

uma taxa O/E de 1.41, porém não houve um mês antecessor com ocorrência de OC e ODT que pudesse influenciar no aumento do registro de óbitos.

Análise do impacto das Ondas de Calor e de Desconforto Térmico no registro de óbitos de 2022

Mês	ME 2008-2019	OO (2022)	O/E (2022)	OC (2022)	ODT (2022)
Janeiro	506	753	1.49	não	não
Fevereiro	439	622	1.42	sim	sim
Março	454	666	1.46	sim	sim
Abril	458	604	1.32	não	não
Mai	518	669	1.29	sim	não
Junho	539	703	1.30	não	não
Julho	569	720	1.26	não	não
Agosto	540	626	1.16	não	não
Setembro	498	602	1.21	não	não
Outubro	469	629	1.34	não	não
Novembro	446	532	1.19	não	não
Dezembro	491	577	1.17	não	não

Tabela 14 – Excesso de mortalidade por mês para 2022

A tabela 14 apresenta a média de óbitos esperados (ME) para cada mês do ano, tendo como base o período de 2008 a 2019, o número de óbitos observados (OO) para cada mês do ano de 2022, a taxa de óbitos observados e esperados (O/E) para cada mês do ano de 2022, registro de ondas de calor (OC) para os meses de 2022 e as ondas de desconforto térmico (ODT) para cada mês do ano de 2022.

Os resultados apresentados a tabela 14 apresentam um comportamento similar ao período de 2021, os meses em que ocorreram OC e ODT simultaneamente possuem uma taxa de O/E acima de 1.40 sendo os meses Fevereiro, Março. O mês de Maio apresenta a ocorrência de uma OC, porém a taxa O/E ficou abaixo de 1.40, este resultado sugere que a taxa O/E é significativamente influenciada durante a ocorrência simultânea de OC e ODT.

O mês de Janeiro apresentou uma taxa O/E de 1.49, entretanto não houve ocorrência de OC e ODT. Este resultado pode ser justificado pela influência do mês de Dezembro de 2021 apresentado na tabela 13.

Análise do número de óbitos durante as ondas de calor e ondas de desconforto térmico

Mês	EM (2021)	IC 95 % (2021)	p-valor (2021)	Significância estatística
Janeiro	223	190 - 255	< 0.001	sim
Março	229	198 - 260	< 0.001	sim
Dezembro	406	373 - 439	< 0.001	sim

Tabela 15 – Significancia estatistica e intervalo de confiança 2021

A tabela 15, apresenta os resultados de significância estatística para o aumento de óbitos ocorridos em janeiro, março e dezembro durante eventos de ondas de calor associados aos eventos de ondas de desconforto térmico. A tabela mostra que os valores de Excesso de Mortalidade(EM), estão dentro dos respectivos intervalos de confiança(IC) de 95%. O p-valor encontrado no teste estatístico t de Student para dados de janeiro, março e dezembro foram abaixo do valor de referência de 0.05 evidenciando que o aumento de óbitos possuem significância estatística.

Mês	EM (2022)	IC 95 % (2022)	p-valor (2022)	Significância estatística
Fevereiro	182	146 - 218	< 0.001	sim
Março	211	180 - 242	< 0.001	sim
Maió	150	130 - 170	< 0.001	sim

Tabela 16 – Significancia estatistica e intervalo de confiança 2022

A tabela 16 apresenta os resultados de significância estatística para o aumento no número de óbitos nos meses de fevereiro, março e maio de 2022 que registraram a ocorrência de ondas de calor e ondas de desconforto térmico. O Excesso de Mortalidade(EM) registrados permaneceram dentro dos respectivos intervalos de confiança(IC), o teste t de Student evidencia que o aumento de óbtos ocorridos nos períodos de onda de calor são estatisticamente significativos.

6 Conclusões

Neste trabalho, inicialmente, analisou-se o comportamento do desconforto térmico nas áreas classificadas como ilhas de calor quando submetidas a ondas de calor. Para os índices CTX90pct e CTN90pct calculados baseando-se em dados de estações meteorológicas, foram identificadas 46 períodos classificados como ondas de calor, considerando os períodos diurnos e noturnos. A distribuição dos eventos registrados foi identificada da seguinte forma: Para o ano de 2020 foram registradas 8 ondas de calor; Para o ano de 2021 foram registradas 3 ondas de calor; Para o ano de 2022 foram registradas 3 ondas de calor; Para o ano de 2023 foram registradas 21 ocorrências de ondas de calor para o ano de 2024 (analisado até o mês de Maio) foram registradas 11 ocorrências de ondas de calor. Os anos de 2020, 2021 e 2022 apresentaram um quantitativo inferior aos anos de 2023 e 2024 possivelmente pela influência do evento meteorológico La Niña, já os anos de 2023 e 2024 sofreram a influência do evento meteorológico El Niño.

O conforto térmico foi estimado a partir do índice THI, sendo registradas para os anos de 2020, 2021, 2022, 2023 e 2024. O foco da análise referente ao conforto térmico foi baseado na classificação mais alta do índice identificada como "nível perigoso", sendo este o nível de maior desconforto térmico para o ser humano. Os resultados identificaram a ocorrência de 15 períodos com 3 ou mais dias consecutivos, com a classificação de desconforto térmico perigoso. As ocorrências foram distribuídas pelos anos de 2020 com 1 período de desconforto térmico, 2021 com 3 períodos de desconforto térmico, 2022 com 2 períodos de desconforto térmico, 2023 com 4 períodos de desconforto térmico e 2024 (analisado até o mês de Maio) com 5 períodos de desconforto térmico. A diferença entre o quantitativo de ondas de calor e períodos de desconforto evidenciou a distinção entre os eventos, sendo indentificado neste trabalho como "Onda de Desconforto Térmico" os períodos com 3 ou mais dias consecutivos classificados com o desconforto térmico perigoso.

Para analisar o comportamento do desconforto térmico em todo o Estado do Rio de Janeiro, foi realizada a espacialização dos dados através da utilização dos dados derivados do satélite GOES-16. Foram utilizados os produtos de temperatura do ar e umidade relativa do ar próximo a superfície, a validação dos dados estimados pelo satélite em relação aos dados observados foi baseada na utilização de 671 amostras estimadas pelo satélite para temperatura do ar, 671 amostras observadas para temperatura do ar, 659 amostras estimadas pelo satélite para umidade relativa do ar e 659 amostras observadas para umidade relativa do ar.

As métricas estatísticas aplicadas as amostras de dados foram: Correlação de Pearson com coeficiente de 0.88 e 0.38 para temperatura e umidade relativa do ar respectivamente; Desvios padrões para temperatura do ar estimada (3.18), temperatura do ar observada (3.63), umidade relativa do ar estimada (11.99), umidade relativa do ar observada (10.16); Erro quadrático Médio para temperatura do ar (3.26) e umidade

relativa do ar (252.36). O cálculo da BIAS e o processo de distribuição em percentis e Boxplot, indicam que os dados assumem o comportamento de subestimação em relação aos dados observados a partir de temperaturas mais altas, aproximadamente a partir de 22.5 °C. A análise da distribuição dos dados indicou que a maior parte das amostras está na região de temperaturas mais elevadas favorecendo a utilização dos dados de satélite para o cálculo do desconforto térmico.

O impacto das ondas de desconforto térmico no registro de óbitos no estado do Rio de Janeiro foi avaliado utilizando a taxa de óbitos observados e esperados (O/E). Os óbitos esperados foram calculados utilizando a média de óbitos esperados para cada mês, com dados referente ao período de 2008 a 2018 para doenças do sistema cardiocirculatório, com dados provenientes do sistema DATASUS. Foi evidenciado que os meses que registraram a ocorrência de ondas de calor e ondas de desconforto térmico atingiram as taxas mais elevadas, os meses que apresentaram apenas a ocorrência de ondas de calor registraram taxas mais baixas evidenciando que as ondas de desconforto térmico associadas a ondas de calor podem potencializar o números de óbitos.

A significância no aumento do número de óbitos, foi verificada utilizando o teste estatístico t Student associado ao cálculo do intervalo de confiança de 95%, a avaliação constatou a significância estatística do aumento de óbitos nos meses que ocorreram ondas de calor associadas a ondas de desconforto térmico.

7 Perspectivas Futuras

Os resultados apontam como perspectivas futuras a utilização das ondas de desconforto térmico como um parâmetro para estimar a potencialidade dos efeitos de uma onda de calor.

A metodologia de utilização das estimativas de temperatura do ar e umidade relativa do ar para calcular e monitorar o desconforto térmico horário permite o desenvolvimento de um sistema de monitoramento e alarme de desconforto térmico.

Referências

- [1] Leonardo de Faria Peres ; Andrews José de Lucena ; Otto Corrêa Rotunno Filho e José Ricardo de Almeida França. The urban heat island in Rio de Janeiro, Brazil, in the last 30 years using remote sensing data. *Int J Appl Earth Obs Geoinformation*, (doi.org/10.1016/j.jag.2017.08.012), 2018. Citado 4 vezes nas páginas 10, 15, 34 e 79.
- [2] Andrews José de Lucena ; Otto Corrêa Rotunno Filho ; José Ricardo de Almeida França ; Leonardo de Faria Peres e Luciano Nóbrega Rodrigues Xavier. Urban climate and clues of heat island events in the metropolitan area of Rio de Janeiro. *Springer-Verlag*, (doi 10.1007s0070401206680):1, 2012. Citado na página 15.
- [3] Vitor Miranda ; Leonardo Peres ; Andrews Lucena ; Jose Ricardo Franca e Renata Libonati. Urbanization-induced impacts on heat-energy fluxes in tropical South America from 1984 to 2020: The Metropolitan Area of Rio de Janeiro/ Brazil. *Building and Environment*, 216:109008, 05 2022. Citado na página 15.
- [4] María Sánchez Aparicio ; Paula Andrés Anaya ; Susana Del Pozo e Susana Lagüela. Retrieving Land Surface Temperature from Satellite Imagery with a Novel Combined Strategy. *Remote sensing*, (doi 103390rs12020277), 2020. Citado na página 15.
- [5] Jürg Luterbacher, Daniel Dietrich, Elena Xoplaki, Martin Grosjean, and Heinz Wanner. European seasonal and annual temperature variability, trends, and extremes since 1500. *Science (New York, N.Y.)*, 303:1499–503, 04 2004. Citado na página 15.
- [6] Kristie L Ebi, Anthony Capon, Peter Berry, Carolyn Broderick, Richard de Dear, George Havenith, Yasushi Honda, R Sari Kovats, Wei Ma, Arunima Malik, Nathan B Morris, Lars Nybo, Sonia I Seneviratne, Jennifer Vanos, and Ollie Jay. Hot weather and heat extremes: health risks. *The Lancet*, 398(10301):698–708, 2021. Citado na página 15.
- [7] Ismael H. Silveira; Tai sa Rodrigues Cortes; Michelle L. Bell e Washington Leite Junger. Effects of heat waves on cardiovascular and respiratory mortality in Rio de Janeiro, Brazil. *PLOS ONE*, 18(3):1–11, 03 2023. Citado 2 vezes nas páginas 15 e 21.
- [8] Diogo Prosdocimi and Kelly Klima. Health effects of heat vulnerability in rio de janeiro: a validation model for policy applications. *SN Applied Sciences*, 2, 12 2020. Citado na página 15.
- [9] José Ricardo de Almeida França ; Leonardo Faria Peres e Caio Atila Pereira Sena. Estudo da Ilha de Calor na Região Metropolitana do Rio de Janeiro usando dados do

- MODIS. *Anuário-IGEO UFRJ*, (doi 101113720142111122):111–122, 2014. Citado na página 15.
- [10] Safi Ullah; Abdullah Aldossary; Waheed Ullah e Sami G. Al-Ghamdi. Augmented human thermal discomfort in urban centers of the Arabian Peninsula. *Scientific Reports*, 14, 02 2024. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.
- [11] Krishna Kumar Shukla e Raju Attada. CMIP6 models informed summer human thermal discomfort conditions in Indian regional hotspot. *Scientific Reports*, 13, 08 2023. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.
- [12] Pravat Rabi Naskar; Mrutyunjay Mohapatra; Gyan Prakash Singh e Umasankar Das. Spatiotemporal variations of UTCI based discomfort over India. *Journal of Earth System Science*, 133, 03 2024. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.
- [13] Mehdi Asghari; Gholamabbas Fallah Ghalhari; Mohammadjavad Ghanadzadeh; Rahmatollah Moradzadeh; Reza Tajik; Sadegh Samadi e Hamidreza Heidari. Modeling of thermal discomfort based representative concentration pathways (RCP) scenarios in coming decades using temperature-humidity index (THI) and effective temperature (ET): a case study in a semi-arid climate of Iran. *Air Quality, Atmosphere Health*, 16:1–11, 03 2023. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.
- [14] Zanandra Boff de Oliveira e Alberto Eduardo Knies. Análise bioclimática e investigação do conforto térmico em ambiente externo na região central do RS. *ENERGIA NA AGRICULTURA*, 34:377–388, 09 2019. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.
- [15] Zhengtong Yin; Zhixin Liu; Xuan Liu; Wenfeng Zheng e Lirong Yin. Urban heat islands and their effects on thermal comfort in the US: New York and New Jersey. *Ecological Indicators*, 2023:1470–160, 10 2023. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.
- [16] Rafaela L. Costa; Gustavo M. Baptista; Helio Fábio B. Gomes; Fabricio D. S. Silva; Rodrigo L. da Rocha Júnior e Anderson S. Nedel. Analysis of future climate scenarios for northeastern Brazil and implications for human thermal comfort. *Anais da Academia Brasileira de Ciências*, 93:1–23, 02 2021. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.
- [17] Fernanda Rodrigues Diniz; Fábio L. T. Gonçalves; Carolina Letícia Zilli Vieira e Marina Piacenti-Silva. Impacts of Air Pollution and Thermal Discomfort in Hospitalizations for Multiple Sclerosis in Sao Paulo, Brazil. *Sclerosis*, 1:113–123, 09 2023. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.
- [18] Fernanda Rodrigues Diniz; Gustavo Santos Barbosa Miranda; Marina Piacenti-Silva e Jeferson Prietsch Machado. O Impacto do El Niño nos Focos de Incêndio e Desconforto Térmico Humano no Brasil no Período entre o Verão de 2014/2015 e o

- Outono de 2016. *Anuario do Instituto de Geociencias*, 42:192, 10 2019. Citado 2 vezes nas páginas 16 e 17.
- [19] Farzad Hashemi; Ute Poerschke; Lisa D. Iulo e Guangqing Chi. Urban Microclimate, Outdoor Thermal Comfort, and Socio-Economic Mapping: A Case Study of Philadelphia, PA. 13:1–19, 04 2023. Citado na página 17.
- [20] Safae Ahsissene; Cristina Peña e Naoufal Raissouni. Comparative Analysis of Summer Discomfort Index and Thermal Sensation Vote Using Remote Sensing Data in the Summer: A Case Study of the Mediterranean Cities Seville, Barcelona, and Tetuan. page 12, 01 2024. Citado na página 17.
- [21] Christian Ricardo Ribeiro; Alec Ponte Gonçalves e Fabrício Pires Bastos. Ilhas de Calor Urbanas e Conforto Térmico humano em cidades de porte médio: Estudo aplicado em Juiz de Fora (MG) Urban Heat Islands and Human Thermal Comfort in medium-sized cities: Study applied in Juiz de Fora (MG). *RA'E GA - O Espaço Geográfico em Análise*, 45:281–300, 01 2018. Citado na página 17.
- [22] Andrews Lucena. Uma análise de técnicas nos estudos de clima urbano para a região metropolitana do rio de janeiro. *Geo UERJ*, page e40954, 04 2019. Citado na página 18.
- [23] Claudine Dereczynski, Wanderson Silva, and Jose Marengo. Detection and projections of climate change in rio de janeiro, brazil. *American Journal of Climate Change*, 02:25–33, 01 2013. Citado na página 18.
- [24] Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC). *AR6 Synthesis Report: Climate Change 2023*. IPCC, 2023. Citado na página 20.
- [25] Juliana Mendes, Núbia Armond, and Leonardo Silva. Ilhas de calor urbanas de superfície, ondas de calor e de frio no município do rio de janeiro – rj (2015 - 2019). *Revista Brasileira de Climatologia*, 30:133–155, 02 2022. Citado na página 20.
- [26] Andrews Lucena, Otto Rotunno Filho, Jose Ricardo Franca, Leonardo Peres, and Levy Xavier. Urban climate and clues of heat island events in the metropolitan area of rio de janeiro. *Theoretical and Applied Climatology*, 111, 02 2012. Citado na página 20.
- [27] Matteo Migliari; Remi Babut; Camille De Gaulmyn; Loïc Chesne e Olivier Baverel. The Metamatrix of Thermal Comfort: A compendious graphical methodology for appropriate selection of outdoor thermal comfort indices and thermo-physiological models for human-biometeorology research and urban planning. *Sustainable Cities and Society*, 81:103852, 03 2022. Citado 3 vezes nas páginas 20, 36 e 37.

- [28] C. A. F. Monteiro. Teoria e clima urbano. *IGEOP/USP*, 1976. Citado na página 21.
- [29] Sarah Perkins-Kirkpatrick and Lisa Alexander. On the measurement of heat waves. *Journal of Climate*, 26:4500–4517, 07 2013. Citado na página 21.
- [30] Lida Dimitriadou, Panagiotis Nastos, and Christos Zerefos. Defining heatwaves with respect to human biometeorology. the case of attica region, greece. *Atmosphere*, 12(9), 2021. Citado na página 21.
- [31] João L. Geirinhas; Ricardo M. Trigo; Renata Libonati; Caio A. S. Coelho e Ana Cristina Palmeira. Climatic and synoptic characterization of heat waves in Brazil. *Royal Meteorological Society*, (DOI 10 1002 JOC 5294), 2017. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 34.
- [32] Adam L. Mahood; Maxwell B. Joseph; Anna I. Spiers; Michael J. Koontz; Nayani Ilangakoon; Kylene K. Solvik; Nathan Quarderer; Joe McGlinchy; Victoria M. Scholl; Lise A. St. Denis; Chelsea Nagy; Anna Braswell; Matthew W. Rossi; Lauren Herwehe; Leah Wasser; Megan E. Cattau; Virginia Iglesias; Fangfang Yao; Stefan Leyk e Jennifer K. Balch. Ten Simple rules for working with high resolution remote sensing data. *Peer Community Journal*, (DOI 1024072pcjournal223), 2023. Citado 2 vezes nas páginas 21 e 22.
- [33] Timothy J. Schmit; Jun Li; Su Jeong Lee; Zhenglong Li; Richard Dworak; Yong-Keun Lee; Michael Bowlan; Jordan Gerth; Graeme D. Martin; William Straka; Kevin C. Baggett e Lee Counce. Legacy Atmospheric Profiles and Derived Products From GOES-16: Validation and Applications. *Earth and Space Science*, 6(9):1730–1748, 2019. Citado 2 vezes nas páginas 24 e 27.
- [34] Yuhang Guo; Xiaoying Li; Tianhai Cheng; Shenshen Li; Xinyuan Zhang; Wenjing Lu e Weifang Fang. Construction of the Global Reference Atmospheric Profile Database. *Remote Sensing*, 15:3006, 06 2023. Citado na página 26.
- [35] Hongkun Wang; Dong Liu; Yingwei Xia; Wanyi Xie e Yiren Wang. Retrieval of Atmospheric Temperature Profile from Historical Data and Ground-Based Observations by Using a Machine Learning Algorithm. *Remote Sensing*, 15:2717, 05 2023. Citado na página 26.
- [36] Luiz Felipe Rodrigues do Carmo; Fernanda Cerqueira Vasconcellos; Wallace Figueiredo Menezes e Eduardo Charles Vasconcellos. Analysis of Instability Indexes for Intense, Moderate and low/no Rain in Southern and Southeastern Regions of Brazil. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, 42:769–782, 05 2019. Citado na página 26.

- [37] Yoonjin Lee; Christian D. Kummerow e Milija Zupanski. Latent heating profiles from GOES-16 and its impacts on precipitation forecasts. *Atmospheric Measurement Techniques*, 15:7119–7136, 12 2022. Citado na página 27.
- [38] Luyao Sun; Haonan Chen; Zhe Li e Lei Han. Cross Validation of GOES-16 and NOAA Multi-Radar Multi-Sensor (MRMS) QPE over the Continental United States. *Remote Sensing*, 13:4030, 10 2021. Citado na página 27.
- [39] Yamamoto. *Estatística, análise e interpolação de dados geoespaciais*. Gráfica Paulos, 2020. Citado 2 vezes nas páginas 32 e 33.
- [40] Fu Luo, Yuanjian Yang, Lian Zong, and Xueyan Bi. The interactions between urban heat island and heat waves amplify urban warming in guangzhou, china: Roles of urban ventilation and local climate zones. *Frontiers in Environmental Science*, 11, 2023. Citado na página 34.
- [41] Djacinto Monteiro dos Santos; Renata Libonati; Beatriz N. Garcia; João L. Geirinhas; Barbara Bresani Salvi; Eliane Lima e Silva; Julia A. Rodrigues; Leonardo F. Peres; Ana Russo; Renata Gracie; Helen Gurgel e Ricardo M. Trigo. Twenty-first-century demographic and social inequalities of heat-related deaths in Brazilian urban areas. *PLOS ONE*, 19(1):1–30, 01 2024. Citado na página 38.
- [42] Ricardo Trigo, Alexandre Ramos, Paulo Nogueira, F. Santos, Ricardo García-Herrera, Célia Gouveia, and M. Fátima Coelho. Evaluating the impact of extreme temperature based indices in the 2003 heatwave excessive mortality in portugal. *Environmental Science Policy*, 12:844–854, 08 2009. Citado na página 38.
- [43] Timothy Schmit, Scott Lindstrom, Jordan Gerth, and Mathew Gunshor. Applications of the 16 spectral bands on the advanced baseline imager (abi). *Journal of Operational Meteorology*, 06:33–46, 06 2018. Citado na página 42.
- [44] M. D. Goldberg, H. Kilcoyne, H. Cikanek, and A. Mehta. The goes-r series: Status, integration, and performance. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*, 118(21):12408–12418, 2013. Citado na página 42.
- [45] Z. Li, T. J. Schmit, K. J. Schrab, M. M. Gunshor, and M. D. Goldberg. Comprehensive radiometric calibration and uncertainty analysis of the goes-16 abi sensors. *Journal of Atmospheric and Oceanic Technology*, 34(1):57–68, 2017. Citado na página 42.
- [46] F. Yu, X. Wu, X. Sun, X. Zhao, T. J. Kopp, J. L. Carr, and D. W. Hillger. Goes-16 radiometric calibration and performance of the advanced baseline imager (abi). *Remote Sensing*, 11(13):1583, 2019. Citado na página 42.

-
- [47] V. R. Barros, A. M. Grimm, and M. E. Doyle. Relationship between temperature and circulation in southeastern south america and its influence from el niño and la niña events. *Journal of the Meteorological Society of Japan*, 80(1):21–32, 2002. Citado na página 48.
- [48] A. M. Grimm. Interannual climate variability in south america: impacts and perspectives. *SpringerLink*, 2019. Citado na página 48.