



**UNIVERSIDADE FEDERAL DO CEARÁ  
INSTITUTO DE CIÊNCIAS DO MAR  
CURSO DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS**

**LIA SALETE DA COSTA VAZ**

**TESTE DE SENSIBILIDADE DA PBL (CAMADA LIMITE PLANETÁRIA) NO  
MODELO NUMÉRICO WRF EM SINERGIA COM IMAGENS DO SATÉLITE  
METEOSAT PARA ANALISAR ILHAS DE CALOR EM FORTALEZA-CE.**

**FORALEZA**

**2021**

LIA SALETE DA COSTA VAZ

TESTE DE SENSIBILIDADE DA PBL (CAMADA LIMITE PLANETÁRIA) NO MODELO  
NUMÉRICO WRF EM SINERGIA COM IMAGENS DO SATÉLITE METEOSAT PARA  
ANALISAR ILHAS DE CALOR EM FORTALEZA-CE.

Monografia apresentada ao Curso de Graduação  
em Ciências Ambientais da Universidade  
Federal do Ceará, como requisito parcial à  
obtenção do título de Bacharel em Ciências  
Ambientais.

Orientador: Prof. Dr. Antônio Geraldo Ferreira.

FORTALEZA

2021

LIA SALETE DA COSTA VAZ

TESTE DE SENSIBILIDADE DA PBL (CAMADA LIMITE PLANETÁRIA) NO MODELO  
NUMÉRICO WRF EM SINERGIA COM IMAGENS DO SATÉLITE METEOSAT PARA  
ANALISAR ILHAS DE CALOR EM FORTALEZA-CE.

Monografia apresentada ao Curso de  
Graduação em Ciências Ambientais do Instituto  
de Ciências do Mar da Universidade Federal do  
Ceará, como requisito parcial à obtenção do  
título de Bacharel em Ciências Ambientais.

Aprovada em: \_\_/\_\_/\_\_.

BANCA EXAMINADORA

---

Prof. Dr. Antônio Geraldo Ferreira (Orientador)  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

---

Dr. Domingo Cassain Sales  
Fundação Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME)

---

Dr<sup>a</sup>. Maria Elisa Zanella  
Universidade Federal do Ceará (UFC)

*Em memória do meu  
melhor amigo Edy.*

## AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus pais e familiares que sempre se esforçaram para que eu tivesse o melhor ensino, desde o básico até o final da escola, em especial a minha mãe Maria Laênia.

A meu namorado Jones por ser tão incrível, inteligente e disposto a me ajudar estando sempre ao meu lado me apoiando e aconselhando em todas as minhas decisões não me deixando na mão em nenhum momento.

A meus companheirinhos de vida não-humanos, porém, tão importantes quanto. Meus animais, que eu amo tanto cuidar e compartilhar a minha vida através de momentos tão singelos, mas muito verdadeiros, que me traz paz só em estar próxima deles.

Ao meu orientador Dr. Antônio Geraldo Ferreira pela oportunidade de desenvolver pesquisa nessa área tão rica e por ter acreditado no meu potencial diante de um trabalho bem desafiador. Sou grata por toda confiança e ajuda durante a graduação.

A Fundação de Cearense de Meteorologia e Recursos Hídricos (FUNCEME) por disponibilizar o espaço para que eu pudesse estudar não só durante, mas também após meu estágio e pela assistência de seus profissionais, principalmente ao Dr. Domingo Cassain que disponibilizou do seu tempo para me ensinar a utilizar o modelo numérico WRF e também me ajudar a estruturar melhor meu trabalho com tanta paciência e dedicação.

A todos que compõem a sala de Modelagem Numérica que me proporcionaram tantos momentos engraçados e salgadinhos na sexta-feira.

Ao Rodrigo Passos e Lais Erika (bolsistas do Laboratório de Observação da Terra (EPLLab) do Labomar) que me forneceram os dados de satélite METEOSAT e por todas as conversas e ajudas desse período, foi muito importante.

Aos professores convidados para a banca examinadora, Dr. Domingo Cassain e Dra. Maria Elisa Zanella, por aceitarem o convite, é de extrema importante para mim tê-los pois os admiro muito e pelas contribuições atribuídas para o melhoramento deste trabalho.

Aos meus amigos da turma de Ciências Ambientais de 2016.1 que tive o prazer de conhecer e viver bons momentos.

A minha primeira amizade de graduação, Yasmin Girão por ser tão gentil, humilde e disposta a ajudar, por sempre me chamar para estudar e passar a noite virada no café forte (do pai dela) para garantir aquela nota boa nas provas e por todas as conversas e momentos divertidos e sérios, todos eles foram muito significativos pra mim.

A minha duplinha de graduação, Evelyne Alves por estar sempre comigo desde o dia que nós nos falamos a primeira vez (logo nas primeiras semanas), pela parceria e companhia em tudo e por ter muita paciência comigo, mesmo eu muitas vezes sendo bem chata e implicar tanto, mas você nunca desistiu de mim <3. Você foi umas das pessoas que mais me ajudou a entender muitas questões da vida quando me encontrava perdida.

Aos meus amigos Amanda, Karol e Matheus por compartilharem e estarem sempre presentes em momentos importantes da minha vida; Vladimir, Ana Paula, Laymara, Virgínia e Thayane pela companhia durante as viagens de campo, momentos engraçados vividos, rolês aleatórios e ajudas nos trabalhos durante a graduação.

A turma dos veteranos que foram tão acessíveis e por dar tanto suporte para mim e minha turma nos semestres iniciais, em especial ao Rafael, Álef, Lucas, Débora e Vanessa. Também por serem pessoas de corações tão grandes que viraram meus amigos ao longo do curso.

As minhas amigas de vida Lectycia Maria, Letícia Kelly, Isabel Cristina pela amizade e por todas as conversas e incentivos nos momentos que eu me senti mais pra baixo.

A Universidade Federal do Ceará (UFC) por proporcionar professores excelentes que nos instigam a constante busca por conhecimento e por ter me proporcionado conhecer pessoas maravilhosas, conhecer diversos lugares, viver momentos tão incríveis, adquirindo conhecimentos tão importantes e essenciais para formação de quem sou hoje, que vão além de assuntos de estudo, mas de vida.

A todos os servidores, técnico-administrativos e terceirizados que compõem o corpo do Instituto de Ciências do Mar, especialmente a todos os professores que participaram da minha vida acadêmica.

“Enquanto uma pessoa hesita por se sentir inferior, outra está ocupada cometendo erros e se tornando superior”

**Henry C. Link**

## RESUMO

Neste trabalho foi realizado um teste de sensibilidade a partir da mudança das parametrizações nas simulações do modelo Weather Research and Forecast no período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019, para o Estado do Ceará a fim de analisar o fenômeno ilha de calor para a região metropolitana da cidade de Fortaleza. Para este propósito, foram configuradas quatro simulações experimentais, sendo alternadas as parametrizações de Camada Limite Planetária (CLP) – os esquemas Asymmetric Convective Model V2 (ACM2), Yonsei University (YSU), Bougeault-Lacarrere (BOULAC) e Medium Range Forecast Model (MRF). Foi avaliada a temperatura do ar a 2m simuladas pelo modelo, e comparadas a partir do cálculo estatísticos Índice de Correlação, o Viés Estatístico, Erro Absoluto e Raiz do Erro Quadrático Médio, com dados de estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET). Os resultados mostraram que o modelo foi sensível à alteração dos esquemas físicos. Os experimentos configurados com o esquema ACM2, apresentaram melhores correlações e o YSU os melhores valores para erro (viés, MAE e RMSE). Neste sentido, o esquema YSU foi selecionado para estudar o fenômeno da ilha de calor em Fortaleza. Os dias selecionados foram 08 a 10 de agosto de 2019 devido a ausência total de nuvens. Foram analisados mapas de temperatura superficial a partir dos dados de satélite (METEOSAT -11) e do modelo regional WRF para os horários de 9:00h, 15:00h e 21:00h. Nos mapas das 9:00h o modelo subestima a temperatura superficial em relação aos dados de satélite, enquanto às 15:00h e 21:00h o modelo superestima. Os resultados observados referentes a temperatura da superfície se mostraram mais elevadas nas regiões centrais da cidade de Fortaleza que nas regiões periféricas, evidenciando a presença de IC na região metropolitana de Fortaleza apresentando 6°C a 9°C às 15:00h.

**Palavras-chaves:** WRF, Parametrização, Camada limite planetária, Dados de satélite, Ilha de calor.



## ABSTRACT

In this work, a sensitivity test was performed from the change of parameterizations in the simulations of the Weather Research and Forecast model from August 1 to August 10, 2019, for the State of Ceará in order to analyze the heat island phenomenon for the metropolitan region of the city of Fortaleza. For this purpose, four experimental simulations were configured, alternating the parameterizations of the Planetary Boundary Layer (PLC) - the Asymmetric Convective Model V2 (ACM2), Yonsei University (YSU), Bougeault-Lacarrere (BOULAC) and Medium Range Forecast Model (MRF). The air temperature at 2m simulated by the model was evaluated and compared using the statistical calculation Correlation Index, Statistical Bias, Absolute Error and Root Mean Square Error, with data from meteorological stations of the National Institute of Meteorology (INMET). The results showed that the model was sensitive to changes in physical schemes. The experiments configured with the ACM2 scheme, showed better correlations and YSU the best values for error (bias, MAE and RMSE). In this sense, the YSU scheme was selected to study the phenomenon of the heat island in Fortaleza. The selected days were August 8-10, 2019 due to the total absence of clouds. Surface temperature maps were analyzed using satellite data (METEOSAT -11) and the regional WRF model for the hours of 9:00 am, 3:00 pm and 9:00 pm. On 9:00 am maps, the model underestimates the surface temperature in relation to satellite data, while at 3:00 pm and 9:00 pm the model overestimates. The observed results referring to the surface temperature were higher in the central regions of the city of Fortaleza than in the peripheral regions, showing the presence of HF in the metropolitan area of Fortaleza, presenting 6°C to 9°C at 15:00h.

**Keywords:** WRF, Parameterization, Planetary boundary layer, Satellite data, Heat island.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Perfil vertical da troposfera.....	18
Figura 2 – Ciclo diário da Camada Limite Planetária.....	19
Figura 3 – Variação da temperatura do ar sobre as áreas rurais até as áreas urbanas.....	21
Figura 4 – Satélite METEOSAT-11.....	25
Figura 5 – Sensor SEVIRI ( <i>Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager</i> ).....	26
Figura 6 – Ilustração de alguns esquemas de parametrizações importantes.....	26
Figura 7 – Localização da Região Metropolitana do Município de Fortaleza-CE.....	28
Figura 8 – Localidades das Estações Meteorológicas do INMET.....	33
Figura 9 – Temperatura superficial a partir dos dados de satélite (esquerda) e do modelo WRF (direita), sobre a região metropolitana de Fortaleza para o dia 8 de agosto de 2019 às: 9am (primeira linha), 15pm (segunda linha) e 21pm (terceira linha).	41
Figura 10 – Temperatura superficial a partir dos dados de satélite (esquerda) e do modelo WRF (direita), sobre a região metropolitana de Fortaleza para o dia 9 de agosto de 2019 às: 9am (primeira linha), 15pm (segunda linha) e 21pm (terceira linha).	42
Figura 11 – Temperatura superficial a partir dos dados de satélite (esquerda) e do modelo WRF (direita), sobre a região metropolitana de Fortaleza para o dia 9 de agosto de 2019 às: 9am (primeira linha), 15pm (segunda linha) e 21pm (terceira linha).	43

## LISTA DE GRÁFICOS

Gráfico 1 – Série temporal entre os dados da Estação Fortaleza (305) do INMET e os dados do satélite METEOSAT-11 para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.....	38
Gráfico 2 – Precipitação da Cidade de Fortaleza para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.....	39

## LISTA DE TABELAS

Tabela 1	– Características importantes que contribuem para a formação de ilhas de calor e seus efeitos sobre o balanço de radiação.....	23
Tabela 2	– Estações meteorológicas do INMET.....	32
Tabela 3	– Configurações de grade utilizada.....	32
Tabela 4	– Parametrizações escolhidas para cada experimentos.....	35
Tabela 5	– Índice de correlação da temperatura calculada entre os dados das estações do INMET do Estado do Ceará e os dados de satélite METEOSAT-11, para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.....	37
Tabela 6	– Correlação da temperatura calculada entre os dados das estações do INMET do Estado do Ceará e os dados dos experimentos do modelo WRF, utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.....	39
Tabela 7	– Viés da temperatura calculada entre os dados das estações do INMET do Estado do Ceará e os dados dos experimentos do modelo WRF , utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.....	40
Tabela 8	– Erro Absoluto da temperatura calculada entre os dados das estações do INMET do Estado do Ceará e os dados dos experimentos do modelo WRF, utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.....	41
Tabela 9	– Raiz do Erro Quadrático Médio da temperatura calculada entre os dados das estações do INMET do Estado do Ceará e os dados dos experimentos do modelo WRF, utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.....	42

## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

ACM2	<i>Asymmetric Convective Model V2</i>
BOULAC	<i>Bougeault-Lacarrere</i>
BDMEP	Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa
CI	Camada de Inversão
CLN	Camada Limite Noturna
CLP	Camada Limite Planetária
CLU	Camada Limite Urbana
CM	Camada de Mistura
CR	Camada Residual
DCS	<i>Data Collection System</i>
ECMWF	<i>European Centre for Medium-Range WeatherForecasts</i>
ESA	<i>European Space Agency</i>
EUMETSAT	<i>European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites</i>
GERB	<i>Geostationary Earth Radiation Budget</i>
GEOS&R	<i>Geostationary Search and Rescue</i>
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IC	Ilha de Calor
INMET	Instituto Nacional de Meteorologia
IPECE	Instituto de Pesquisa e Estratégia Econômica do Ceará
Land SAF	<i>Satellite Applications Facility on Land Surface Analysis</i>
LSM	<i>Land Soil Model</i>
MAE	<i>Mean Absolute Error</i>
MRF	<i>Medium Range Forecast Model</i>
MYJ	<i>Mellor-Yamada-Janjic Scheme</i>
MYNN2.5	<i>Mellor Yamada Nakanish and Niino 2.5</i>
NCAR	<i>National Center for Atmospheric Research</i>
NCEP	<i>National Centers for Environmental Prediction</i>
RMSE	<i>Root Mean Square Error</i>
SEVIRI	<i>Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager</i>
WRF	<i>Weather Research and Forecasting</i>
YSU	<i>Yonsei University</i>
ZE	Zona de Entranhamento

## SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b> .....	15
<b>2 OBJETIVOS</b> .....	17
<b>2.1 Objetivo geral</b> .....	17
<b>2.2 Objetivos específicos</b> .....	17
<b>3 REFERENCIAL TEÓRICO</b> .....	18
<b>3.1 Camada Limite Planetária – CLP</b> .....	18
<b>3.2 Ilha de Calor</b> .....	22
<b>3.3 Sensoriamento Remoto</b> .....	24
<b>3.4 Modelo Numérico Atmosférico e Parametrizações Físicas</b> .....	26
<b>3.5 Estudos de Camada Limite Planetária em modelos atmosféricos</b> .....	28
<b>4 MATERIAL E MÉTODOS</b> .....	30
<b>4.1 Área de Estudo</b> .....	30
<b>4.2 Dados utilizados</b> .....	31
<b>4.2.1 Estações automáticas - INMET</b> .....	32
<b>4.2.2. Dados de Satélite – METEOSAT -11</b> .....	33
<b>4.3 WRF</b> .....	34
<b>4.4 Métricas estatísticas</b> .....	36
<b>5 RESULTADOS</b> .....	37
<b>5.1 Comparação entre os dados de estação e de satélite</b> .....	37
<b>5.2 Análise das parametrizações de Camada Limite Planetária</b> .....	38
<b>5.3 Estudo de caso: ilha de calor</b> .....	43
<b>6 CONCLUSÃO</b> .....	48
<b>REFERÊNCIAS</b> .....	49
<b>APÊNDICE A</b> .....	53
<b>APÊNDICE B</b> .....	60

## 1 INTRODUÇÃO

Com o processo de urbanização as cidades se tornaram o principal cenário do desenvolvimento das relações humanas. A cidade é o ambiente onde procedem as relações políticas, sociais, econômicas e culturais de uma época e sociedade específica, na qual seus métodos de produção desencadearam constantes modificações no espaço e por consequência no clima urbano (SAYDELLES, 2005). Afirmar Saydelles (2005) ser indispensável o entendimento das complexas relações entre o sítio urbano e as funções desenvolvidas no espaço urbano na análise do clima interno das cidades e no planejamento deste.

Percebe-se que após as cidades constituírem o principal modo de vida do ser humano, há um processo de mudanças da paisagem natural e os seus impactos são observados na morfologia do terreno no qual são inseridas, modificando também as condições ambientais e climáticas daquele local (DORIGON e AMORIM, 2017). Dentre os impactos gerados está o aumento da temperatura das superfícies, devido seus materiais possuírem capacidades caloríficas altas, e o aumento da temperatura do ar, em virtude da maior retenção de calor pela superfície que influenciará diretamente nos fluxos atmosféricos próximos e consequentemente a estabilidade da camada limite planetária acima da superfície.

A camada limite planetária é a região mais próxima baixa da troposfera na qual são conduzidos os fluxos de calor da superfície que se comportam de forma diferente durante o dia e a noite sobre condições semelhantes. Com a mudança do uso do solo e a presença de edifícios e áreas urbanas a partição dos fluxos de calor sofreu alterações.

Deste modo, surge o fenômeno urbano ilha de calor, caracterizado pelo aquecimento das cidades, principalmente quando comparadas a áreas rurais. No Brasil vários estudos sobre clima urbano têm sido realizados. Entre eles podemos citar Lombardo (1985), sendo um estudo pioneiro, analisou o fenômeno ilha de calor em São Paulo; Saydelles (2005), em Santa Maria- RS; Nascimento e Oliveira (2011), em Goiânia- GO; Moura et al. (2008), em Fortaleza- CE; Corrêa *et al.* (2016), em Manaus-AM, Gamarra *et al.* (2014); Londrina-PR, dentre outros.

A maioria dos estudos de clima urbano, possuem algo em comum: a) utilizam dados “*in situ*” coletados por estações meteorológicas convencionais/automáticas, ou de transectos móveis para desenvolvê-los. Estas podem fornecer dados com baixa/alta resolução temporal (estações convencionais/estações automáticas), porém, possuem pobre resolução espacial, pois medem localmente; e b) quando utilizam dados de satélites, estes são de órbita polar, que

apresentam boa resolução espacial (30 m a 1 km), porém baixa resolução temporal (alguns podem fornecer no máximo 2 imagens por dia sobre a mesma área). Uma outra tecnologia a se utilizar são os dados de satélite geoestacionários que apresentam alta resolução espacial e temporal cobrindo todo o ciclo diurno da temperatura.

Adicionalmente, os modelos atmosféricos também são ferramentas úteis para se estudar ilhas de calor urbano (PINHEIRO, 2017), bem como realizar estudos específicos sobre CLP (MOLLMANN *et al.*, 2019). Como os modelos atmosféricos regionais e globais possuem uma resolução espacial superior aos processos de turbulência, a CLP deve ser parametrizada. Diversos esquemas de parametrizações foram desenvolvidos por diversos centros de pesquisa e universidades, e testá-los se faz uma necessidade para previsores e pesquisadores a fim de buscar melhores resultados oriundos dos modelos a serem utilizados em produtos operacionais de previsão.

Nesse contexto, este estudo aborda o uso de duas tecnologias (dados de satélite geoestacionário e modelagem atmosférica regional) em busca de uma análise mais detalhada acerca do fenômeno de ilha de calor urbano em Fortaleza/CE. Estudos nessa linha são novidade para a região de Fortaleza e importantes para demonstrar como o desenvolvimento urbano desordenado pode afetar o microclima de cidades, bem como podem auxiliar futuros planejamentos estratégicos de desenvolvimento urbano.



## **2 OBJETIVOS**

### **2.1 Objetivo geral**

Este estudo tem como objetivo geral realizar um teste de sensibilidade de diferentes parametrizações de camada limite planetária no modelo WRF, a fim de obter a parametrização que melhor representa a cidade de Fortaleza, comparar com dados de satélite geoestacionário, para o estudo de caso da formação das ilhas de calor.

### **2.2 Objetivos específicos**

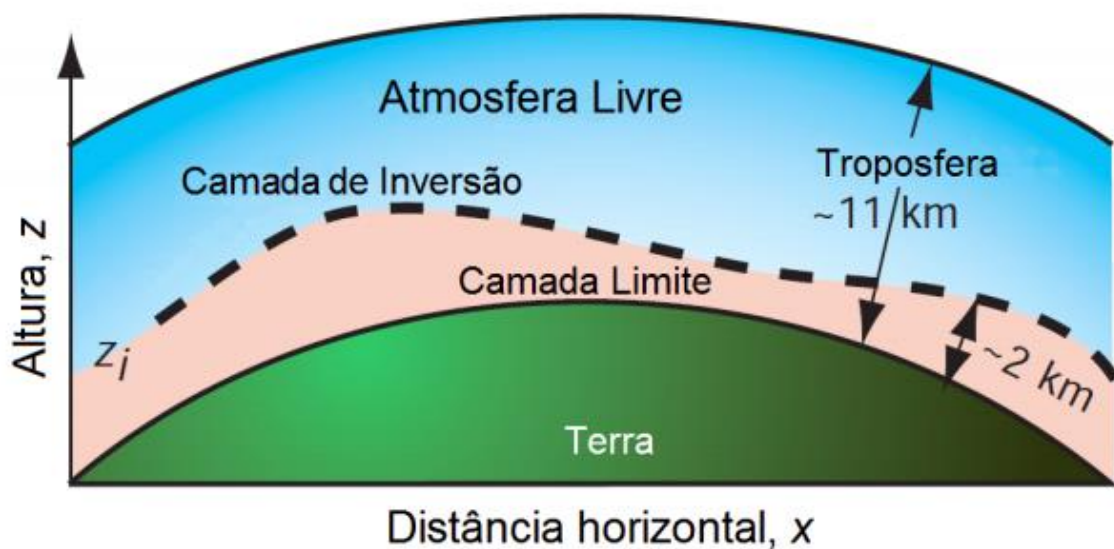
- Relacionar os dados de estação automática de temperatura do ar 2 metros da superfície com os dados de satélite METEOSAT de temperatura superficial, no estado do Ceará.
- Realizar um teste de sensibilidade, no modelo atmosférico WRF 4.0, de parametrização da camada limite planetária, no estado do Ceará.
- Comparar a temperatura superficial a partir dos dados do satélite com a do modelo atmosférico WRF 4.0 que obteve melhor parametrização de CLP, com um enfoque em Fortaleza/CE.

### 3 REFERENCIAL TEÓRICO

#### 3.1 Camada Limite Planetária – CLP

A atmosfera é composta por diversas camadas, uma delas é a troposfera compreendida entre a superfície terrestre até aproximadamente 11 km de altitude. A troposfera é dividida em duas partes principais, a Camada Limite Atmosférica ou Planetária (CLP), também chamada de apenas camada limite, que fica justaposta à superfície, e a atmosfera livre, referente ao ar troposférico acima, como mostra a Figura 1 (AMORIM, 2015; STULL, 1988).

Figura 1 – Perfil vertical da troposfera.



Fonte: Amorim (2015), adaptado de Wallace e Hobbs (2006).

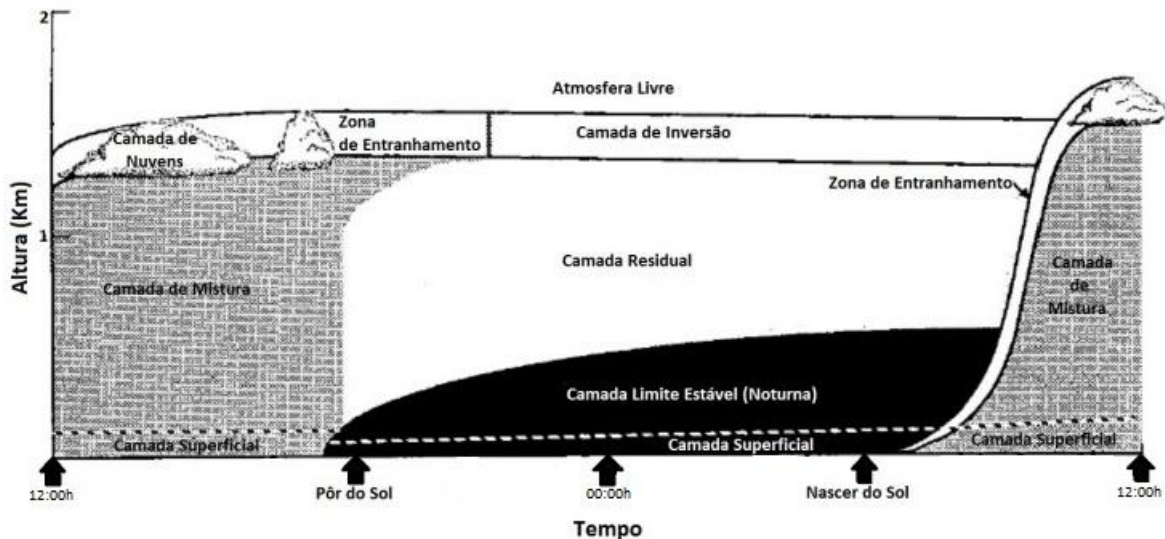
A CLP é a região mais baixa da troposfera, que, segundo Stull (1988) é influenciada diretamente pelas trocas de calor, fluxos de *momentum* e massa por meio de processos turbulentos que responde às forçantes da superfície em um intervalo de uma hora ou menos. Essas forçantes incluem o arrasto friccional (atrito), evaporação, transpiração, transferência de calor, emissão de poluentes e modificação da superfície. A espessura da CLP modifica bastante, tanto em termo espacial como temporal, apresenta uma escala de altura da ordem de centenas de metros a aproximadamente 2 km (STULL, 1988).

A CLP apresenta características diferentes de acordo com o tipo de superfície e localidades do globo (SILVA, 2017). Em áreas continentais a CLP é bem mais espessa devido a grande variação da temperatura diária e rugosidade do solo, já em superfícies oceânicas a altura é reduzida pela metade (cerca de 800m), pois a temperatura da superfície do mar apresenta pequena variação diurna, por ser uma superfície mais homogênea e a água possuir

uma alta capacidade calorífica, absorvendo grande quantidade da radiação solar durante o dia (ARYA, 2001; SILVA, 2017). De acordo com Silva (2017), essas diferenças surgem por conta da termodinâmica e dinâmica de cada uma dessas superfícies.

A Figura 2 apresenta um esquema do ciclo diuturno da altura da CLP, afirma Stull (1988) ser altamente variável, tendo como principais componentes a Camada de Mistura (CM), a Camada Residual (CR), a Camada Limite Noturna (CLN).

Figura 2 – Ciclo diário da Camada Limite Planetária.



Fonte: Adaptado de Stull (1988).

No período diurno com início após o nascer do sol, a atmosfera inicia seu processo de aquecimento pelo fluxo de calor turbulento de origem na camada superficial, que se estende do solo até os primeiros metros da CLP, em seguida, ocorre o desenvolvimento da CM, uma camada muito turbulenta e de longa profundidade vertical delimitada por uma Zona de Entranhamento (ZE) que vai até o topo da CLP (STULL, 1988; FOKEN, 2008). Na CM acontecem movimentos convectivos, que consistem na ascensão das parcelas de ar próximos à superfície do solo aquecida e rapidamente se estendem por todo o perfil da CLP até alcançarem um nível de equilíbrio (MOREIRA, 2013).

A incidência solar pode ser considerada a fonte primária de energia que influencia a variação da temperatura próximo à superfície, mas também existem outros fatores como a cobertura de nuvem presente, a composição da atmosfera local e as condições de superfície (SILVA, 2017).

Afirma Moreira (2013), que há um aumento nos processos convectivos, com o passar das horas, devido ao aumento do fluxo de calor na superfície, responsável pelo

crescimento da CLP e obtenção de sua forma padrão. A CM atinge seu tamanho máximo durante o período da tarde, pois é o momento em que a turbulência se mostra mais forte, podendo atingir 2 km em dias claros (MOREIRA, 2013). Durante a tarde também, a energia solar recebida pela superfície da Terra começa a diminuir, a turbulência reduz e inicia-se a transição da tarde (SILVA, 2017).

Próximo ao pôr do sol, verifica-se a inversão de calor por conta da diminuição da emissão da radiação de onda curta na superfície do solo que após ser aquecida pelo sol durante o dia, perde calor iniciando o processo de resfriamento (FOKEN, 2008; SOUZA, 2014). Segundo Moreira (2013), após o pôr do sol, o processo de convecção começa a enfraquecer, depois de algumas horas já tem se encerrado por completo, interrompendo assim o processo de mistura, gerando alterações no fluxo de calor. É neste instante que se forma a Camada Limite Estável ou Noturna (CLN), pois a superfície se encontra mais fria do que a camada de ar próximo, ocasionando um fluxo de calor negativo, na qual a camada de ar perde calor para a superfície, que dentro de algum tempo se torna fria e densa (MOREIRA, 2013). Nesta etapa a atmosfera é responsável por aquecer a superfície. Ainda conforme Moreira (2013), a CLN no início de sua formação é bem fina, podendo chegar a 300 metros com o avançar de seus processos.

Os poluentes emitidos na CLN, se dispersam mais na horizontal, ficando assim, retidos em níveis mais baixos, sendo liberados a maiores altitudes após o amanhecer (STULL, 1988). Isso resulta em um fenômeno comum de grandes centros urbanos, a inversão térmica, onde as massas de ar quente impedem a ascensão das massas de ar frio abaixo, impedindo também a dispersão dos poluentes e fazendo com que a concentração dos mesmos na CLN seja maior (MOREIRA, 2013).

Acima da CLN tem a CR, oriunda da CM menos turbulenta, que fica sob a Camada de Inversão (CI) localizada no topo da CLP (FOKEN, 2008). A CR se mantém por um tempo de manhã, antes de ser desfeita para se transformar em CM. A CI é uma camada estável situada na interface entre a atmosfera livre e a CLP, que atua como tampa para as termas que sobem, o que restringe o domínio da turbulência da noite, durante o dia esta camada chama-se de ZE (MOREIRA, 2013).

Sobre superfícies ideais a CLP mantém suas características de acordo com as da superfície local, sendo horizontalmente homogênea. Contudo em casos de superfícies que não apresentam as mesmas propriedades, por exemplo, diferentes tipos de vegetação, tipos de relevo, área rural e áreas urbanas, ocorrem significativas alterações sobre os fluxos atmosféricos (ARYA, 2001). Visto que com as propriedades diferentes, os fluxos encontram mudanças na

rugosidade, temperatura e umidade da superfície. Tais mudanças modificam as características da CLP, gerando a chamada Camada Limite Urbana (CLU) (OKE, 1987; ARYA, 2001).

Segundo Oke (1987), o processo de urbanização produz mudanças radicais nas características da superfície urbana e atmosférica da região. Com isso, mais frequente é o aumento da temperatura da superfície do ar sobre as áreas urbanas em comparação aos arredores rurais, gerando o fenômeno ilha de calor (Figura 3).

Figura 3 – Variação da temperatura do ar sobre as áreas rurais até as áreas urbanas.



Fonte: Adaptado de Oke (1987).

### 3.2 Ilha de Calor

Na metade do século XVIII, marcado pela revolução industrial, caracterizado como um evento histórico de grandes transformações socioeconômicas que ocasionou um grande e grave problema social, principalmente nos países em desenvolvimento: a urbanização acelerada e desordenada. A evolução do processo de crescimento da malha urbana mostrou afetar diretamente o ambiente em si e a qualidade de vida das pessoas, alterando a paisagem natural. É possível notar os diversos impactos que o processo da urbanização desordenada gerou, como, mudança do uso e cobertura do solo urbano, redução das áreas verdes, adensamento urbano dentre outros. Estes fatores têm contribuído para minar a capacidade de suporte das cidades gerando muitos danos e modificações na sua estrutura. A mudança e descaracterização da paisagem natural para dar lugar a edificações humanas culminou no fenômeno climático conhecido como ilha de calor.

A primeira documentação registrada sobre mudança no clima urbano, aconteceu em 1818, por Luke Howard que observou o calor excessivo e poluição atmosférica na cidade de Londres em comparação com o campo, na segunda metade do século XIX, em 1855, Emilien Renou fez descobertas similares em Paris (GARTLAND, 2010). Posteriormente, o estudo do clima urbano foi impulsionado, principalmente depois da Segunda Guerra Mundial com o aumento acelerado das áreas metropolitanas e a industrialização (CORRÊA, 2013). O trabalho que mais teve relevância na metade do século XX foi o de Oke (1987), em que ressalta as modificações no ambiente urbano que aumentam o fluxo de calor à superfície através da alteração das propriedades físicas dos materiais constituintes da superfície urbana, causando um aumento da temperatura do ar nessas áreas (OKE, 1987; CORRÊA, 2013).

No Brasil um dos estudos pioneiros foi de Lombardo (1985), com a análise da variação da temperatura na cidade de São Paulo utilizando dados de satélite e percebeu diferenças de até 10 °C do centro urbano ao ambiente rural. As diferenças são bastantes consideradas pois modificaram radicalmente o clima da cidade de São Paulo e diversas consequências no ambiente urbano, como, aumento da densidade de ocupação vertical, congestionamento de trânsito, fumaça expelida pelos veículos e indústrias, concentração de edifícios e pessoas, aumento da impermeabilidade do solo pela pavimentação das ruas e avenidas, intensificação de enchentes, diminuição das áreas verdes, êxodo dos pássaros dentre outros.

Ilha de calor é um fenômeno urbano que consiste nas diferenças térmicas entre as áreas centrais e rurais no mesmo instante (OKE, 1987). As ilhas térmicas são resultantes da

mudança dos fluxos de energia solar incidente na superfície da cidade que, conseqüentemente, por meio de processos físicos, produz alterações na temperatura do ar (MOURA *et al.*, 2008). De acordo com Barros e Lombardo (2016), a sua natureza complexa se relaciona com outros importantes fatores climáticos como poluição atmosférica, fortes precipitações com risco de inundações e alteração nas amplitudes térmicas, além da dinâmica de uso e cobertura do solo e outros conjuntos de variáveis como habitação e saúde pública.

Segundo Corrêa (2013), o fenômeno ilha de calor é característico de toda cidade e metrópole, porém, sua distribuição e intensidade é proporcional ao tamanho da cidade e sua população. Além disso, Moreira (2013) afirma que a intensidade depende também do consumo de energia, a localização geográfica, mês, estação do ano e hora.

Fernández García (1996), definiu a intensidade e a magnitude das ilhas de calor em quatro categorias, são elas: ilha de calor de magnitude fraca, quando as diferenças entre as localidades mais quentes e mais frias variam de 0 °C a 2 °C; de média magnitude, entre 2 °C a 4 °C; de forte magnitude, entre 4 °C a 6 °C; e muito forte quando superiores a 6 °C.

As principais causas de formação da ilha de calor, baseada nos estudos de Gartland (2010), estão descritas na tabela abaixo.

Tabela 1 – Características importantes que contribuem para a formação de ilhas de calor e seus efeitos sobre o balanço de radiação.

<b>Características que contribuem para a formação de ilhas de calor</b>	<b>Efeito sobre o balanço de radiação</b>
Falta de vegetação	Reduz a evaporação
Utilização de superfícies impermeáveis	Reduz a evaporação
Maior capacidade térmica dos materiais	Aumenta o armazenamento de calor
Baixa reflectância solar dos materiais urbanos	Aumenta o saldo de radiação
Geometrias urbanas que aprisionam o calor	Aumenta o saldo de radiação
Geometrias urbanas que diminuem as velocidades dos ventos	Reduz a convecção
Aumento dos níveis de poluição	Aumenta o saldo de radiação
Aumento dos níveis de energia	Aumenta o calor antropogênico

Fonte: Adaptado de Gartland (2010).

Conforme Moura *et al.* (2008), o termo ilhas de calor se associa tanto em contextos intra-urbanos, quando as diferenças da temperatura do ar são realizadas simultaneamente, dentro dos limites territoriais da cidade, como nos inter-urbanos quando as diferenças são obtidas pelo maior valor verificado na cidade com o valor coletado por um ponto de referência no ambiente rural.

### 3.3 Sensoriamento Remoto

O processo de urbanização é caracterizado pela extensão das áreas urbana e da população residente nestas áreas. Deste modo, manifesta-se a necessidade de se conhecer a intensidade desta expansão, sua dinâmica e tendências. É fundamental esse conhecimento para a elaboração de um planejamento urbano, pois através desse conhecimento das mudanças torna-se possível a elaboração de diagnósticos e propostas para a melhoria da qualidade de vida urbana. Uma técnica ligada a esse estudo é o sensoriamento remoto (DONAT, 2011)

Sensoriamento remoto é definido por Florenzano (2011) como “uma tecnologia que permite obter imagens da superfície terrestre, por meio da captação e do registro da energia refletida ou emitida pela superfície”. O termo sensoriamento atribui-se a obtenção de dados por sensores e remoto significa distante, ou seja, sem contato físico entre o sensor e objetos na superfície terrestre (FLORENZANO, 2011). As técnicas de sensoriamento remoto surgem como uma alternativa viável e eficiente para a análise do processo de crescimento do espaço urbano, e associado a outras tecnologias possibilitam o monitoramento não só de áreas urbanas, mas também de problemas ambientais decorrentes do processo de expansão da mancha urbana.

Gartland (2010) afirma que o sensoriamento remoto pode ser utilizado para medir temperaturas e outras características de superfícies, por exemplo, coberturas, pavimentos, vegetação e solo nu, por meio da análise de energia refletida e emitida destes. Utiliza-se em aeronaves ou satélites equipamentos especiais para capturar a energia visível e invisível que irradia tanto das cidades como seus arredores. O uso do sensoriamento remoto traz vantagem quanto ao poder de visualizar grandes áreas, porém mostra apenas uma visão ampla das temperaturas urbanas, não captando a temperatura de paredes e vegetação e as temperaturas abaixo das árvores. Tais superfícies que se caracterizam sobre um plano vertical e sombreadas são de grande importância para o estudo da ilha de calor quanto às superfícies planas e vistas de cima (GARTLAND, 2010).

De acordo com Dorigon e Amorim (2017), no estudo de climas urbanos, as principais aplicações do sensoriamento remoto consistem em avaliar relações entre a estrutura espacial dos padrões térmicos urbanos e as características da superfície urbana. Além disso, permite um maior grau de detalhes e uma visão espacial das temperaturas da superfície de uma região específica e do seu entorno. As imagens de satélite propiciam um panorama em conjunto de vários períodos de tempo e incontáveis áreas da superfície terrestre (FLORENZANO, 2011).

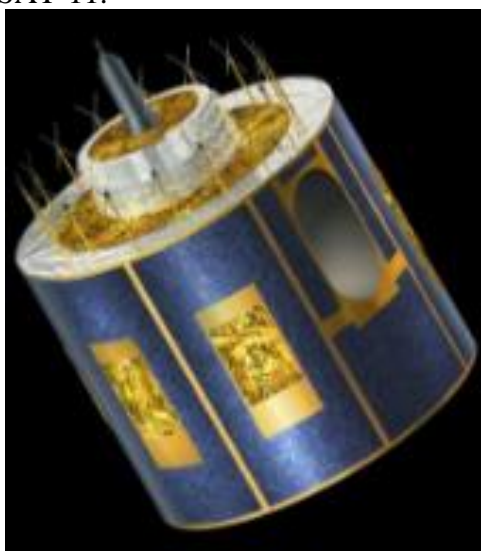
Existem diversos satélites orbitando a terra em operação. Nesta pesquisa foi utilizado o satélite geoestacionário da série MSG (*Meteosat Second Generation*), METEOSAT-



11(Figura 4) com o sensor SEVIRI (Figura 5) a bordo. A série de satélites METEOSAT, controlado pela *European Organization for the Exploitation of Meteorological Satellites* (EUMETSAT) e a *European Space Agency* (ESA) é responsável pelo lançamento de 11 satélites de órbita geoestacionária, seus dados e serviços são principalmente direcionados para a meteorologia, com destaque no apoio à previsão do tempo, mas também podem ser usados em outras áreas de conhecimento. Os satélites METEOSAT são divididos em duas gerações, a primeira formada por sete satélites, promovendo pesquisas por mais de 30 anos (1977 a 1997). A segunda geração, marcada por avanços na ciência meteorológica, iniciada em 2002 com a presença de novos instrumentos que produzem dados de maior frequência e melhor acurácia. Os instrumentos são: o radiômetro GERB (*Geostationary Earth Radiation Budget*), instrumentos de comunicação como o GEOS&R (*Geostationary Search and Rescue*), a plataforma de armazenamento de dados DCS (*Data Collection System*) e o sensor SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible and Infrared Imager*) (EMBRAPA, 2020).

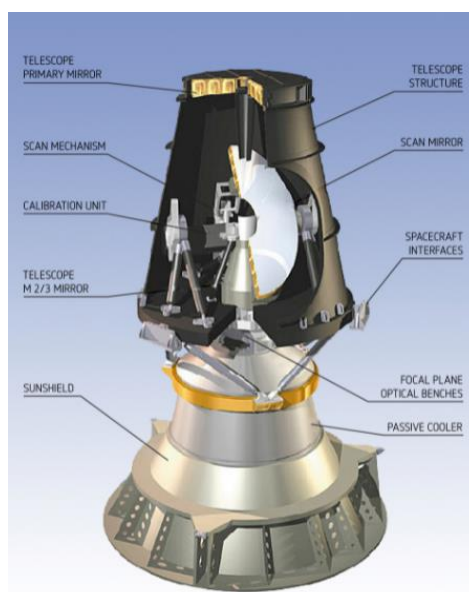
O sensor SEVIRI possui doze canais espectrais, nas regiões do visível, infravermelho próximo e infravermelho termal, ótima resolução temporal (15 min ou até 5 min em modo mais rápido), alta sensibilidade radiométrica (*10 bits*), resolução espacial variando de 3 km a 1 km. O campo visual do sensor SEVIRI cobre toda a África, grande parte da Europa Ocidental, Oriente Médio e nordeste da América do Sul, incluindo o Brasil (SCHMETZ *et al.*, 2002).

Figura 4 – Satélite METEOSAT-11.



Fonte: EUMETSAT (2019).

Figura 5 – Sensor SEVIRI (Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager).



Fonte: EUMETSAT (2019).

### 3.4 Modelo Atmosférico Regional e Parametrizações Físicas

O modelo numérico atmosférico consiste num sistema com uma série de equações diferenciais, capaz de simular a evolução da atmosfera. Para seu processamento, há possibilidade de se configurar vários parâmetros, por exemplo, resolução horizontal, número de níveis de solo e de altitude, número de horas de previsão, etc. Esses parâmetros definirão a quantidade de processamento exigida pelo modelo (BRAGA,2008). Os modelos são divididos em globais, que simulam ou fazem previsões/projeções em todo o globo, caracterizando bem o comportamento geral da atmosfera em grandes porções horizontais, não sendo possível captar a particularidade de cada região, e regionais, que simulam a atmosfera para uma área específica, podendo ter dimensões continentais, regionais ou locais. Os modelos globais atmosféricos, para serem utilizados, necessitam de condições iniciais atmosféricas. Já os modelos atmosféricos regionais, além das condições iniciais, necessitam de condições atmosféricas de grande escala.

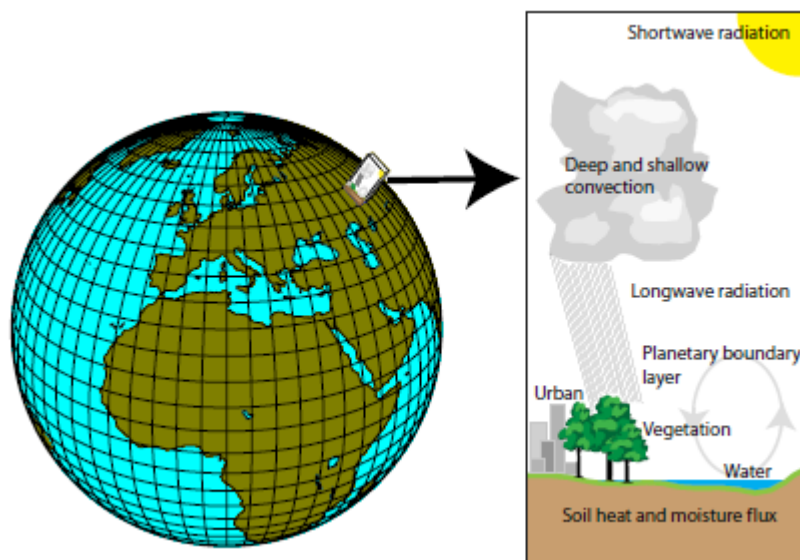
O modelo recebe como entrada as condições iniciais, posteriormente, é feita a análise que mostra as condições da atmosfera num dado momento. Então, a partir desse momento que o modelo processa a evolução da atmosfera conforme suas equações. Com os dados de saída são oriundos dos modelos atmosféricos, os meteorologistas geram a previsão do tempo (BRAGA, 2008). Os modelos numéricos desempenham um papel na previsão sazonal e são componentes chaves para o estudo de mudanças climáticas globais. Dentro dos modelos existem componentes muito importantes que representam processos que não podem ser

resolvidos de forma precisa e objetiva, são eles os esquemas de parametrizações físicas (STENSRUD et al., 2015).

Esses esquemas foram criados para que o modelo possa representar variáveis climáticas que não são calculadas explicitamente (como velocidade do vento zonal e meridional, e temperatura), ou seja, calcular variáveis que estão em uma escala espacial e temporal menor que o modelo pode representar, quase sempre tratam processos dentro da coluna vertical de cada ponto da grade do modelo (Figura 6) e raramente lidam com processos na direção horizontal. Os processos físicos que são parametrizados em um modelo são: convecção profunda, convecção rasa e turbulência, microfísica, radiação, processos de superfície, camada limite planetária (STENSRUD *et al.*, 2015).

Os esquemas de parametrização são importantes porque eles possuem grande influência no comportamento do modelo na obtenção de sua melhor capacidade ou habilidade na previsão de mesoescala, sendo necessário ter conhecimento avançado do modelo e os esquemas de parametrização (STENSRUD et al., 2015). Para isso torna-se indispensável a avaliação da sensibilidade do modelo a partir da alteração das parametrizações deste em diferentes regiões do globo. Estes estudos constituem a primeira etapa para uma determinada aplicabilidade, seja uma implementação do modelo de forma operacional ou para estudos de caso como simulação numérica de fenômenos ou condições atmosféricas (MOLLMANN et al., 2018). No tratar deste trabalho tem-se como foco a camada limite planetária, na qual é diretamente influenciada pela superfície da Terra e responde os fluxos de superfície em uma escala de tempo entre uma hora ou menos como descrita na seção sobre camada limite (2.1. Camada Limite Planetária – CLP). Com isso, o comportamento da superfície terrestre e da camada limite planetária estão fortemente ligados (STENSRUD et al., 2015).

Figura 6 – Ilustração de alguns esquemas de parametrizações importantes.



Fonte: Stensrud *et al.*, 2015.

### 3.5 Estudos de Camada Limite Planetária em modelos atmosféricos

Em relação a trabalhos de camada limite planetária que envolvem modelagem atmosférica, Marchi *et al.* (2009) avaliaram a sensibilidade que o modelo atmosférico regional WRF (Weather Research and Forecasting Model) têm, relacionado à parametrização da CLP, em simular o vento no estado de Alagoas. Comparando os resultados do modelo com os observados pelas estações do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia), as simulações foram feitas para três esquemas: Mellor-Yamada-Janjic Scheme (MYJ), Yonsei University Scheme (YSU) e o do Bougeault-Lacarrere (BOULAC). O esquema numérico de CLP BOULAC apresentou melhores resultados na estimativa do campo de vento, com correlação chegando a 0,93 (MARCHI *et al.*, 2009).

Ruiz *et al.* (2010) analisaram as saídas do WRF para o uso de diversas parametrizações (nuvens cumulus, camada limite planetária e modelo de superfície do solo) em duas regiões distintas da América do Sul, mais especificamente no Nordeste da Argentina, Uruguai, Sul e Centro-oeste do Brasil, Paraguai e uma pequena área da Bolívia. Conforme afirmam os autores, a região exibe fortes gradientes de condições de superfície que estende desde os trópicos até latitudes médias, apresentando desafios marcantes na identificação das melhores parametrizações em todo o domínio. As combinações das parametrizações tiveram resultados bem variados (RUIZ *et al.*, 2010).

Carvalho *et al.* (2012) avaliaram o desempenho do WRF na simulação do vento para uma área de Portugal, localizada em terrenos complexos e caracterizada pelo seu significativo recurso de energia eólica. A pesquisa realizou simulações do vento próximo à superfície utilizando os esquemas de parametrização de CLP, os quais foram avaliados. Comparou-se dados de três estações de medição de vento com os resultados do modelo, representando com precisão o regime de vento local, mas uma subestimação da velocidade do vento. O conjunto de parametrização mais adequado foram os esquemas físicos MM5 - Yonsei University – Noah. Foi visto que em locais com maior complexidade do terreno os resultados são piores. De acordo com os resultados encontrados, os autores sugerem que para a minimização dos erros na simulação do vento é preciso testar e escolher uma configuração adequada para a região de interesse (CARVALHO *et al.*, 2012).

Mollmann *et al.* (2018) realizaram testes de sensibilidade de parametrizações de CLP para o período de verão e inverno de 2014 do Estado do Rio Grande do Sul, utilizando o modelo WRF. Os autores utilizaram como métrica estatística o erro de viés e a raiz do erro quadrático médio. Como dados observacionais foram utilizadas as estações do INMET. Os resultados mostraram que o modelo foi sensível à alteração dos esquemas físicos tanto nas análises horárias quanto nas sazonais. Os autores encontraram que a parametrização YSU foi a que melhor representou a temperatura a 2m e o vento a 10m. Os autores sugerem que isso é devido a uma melhor representação dos fluxos de superfície.

Sousa *et al.* (2019) realizaram duas simulações do WRF diferindo a parametrização da CLP, na qual a variável avaliada foi sua altura. Foram utilizados dados de 72 radiossondas lançadas em Fortaleza entre os dias 5 e 25 de abril de 2011. As parametrizações analisadas foram Asymmetric Convective Model V2 (ACM2) e Mellor Yamada Nakanish and Niino 2.5 (MYNN2.5). Comparando dados observados com os do modelo através das estatísticas, erro médio absoluto (MAE, em inglês, *Mean Absolute Error*) e o índice refinado de concordância de Willmott (dr), foi visto que a parametrização ACM2, os autores obtiveram valores de MAE iguais a 282 m e 519 m e dr de 0,53 e 0,37, para o período diurno e noturno, respectivamente. Já para a parametrização MYNN2.5, foram encontrados valores de MAE entre 312 m e 266 m, com dr entre 0,59 e 0,56 para os mesmos períodos. A parametrização MYNN2.5 mostrou-se mais eficiente dentre as métricas selecionadas (SOUSA *et al.*, 2019).

## 4 MATERIAL E MÉTODOS

### 4.1 Área de Estudo

A cidade de Fortaleza, localizada na faixa litorânea do estado do Ceará, região Nordeste do Brasil tem limites com os municípios de Aquiraz, Eusébio, Itaitinga, Pacatuba, Maracanaú e Caucaia (Figura 7). Fortaleza possui aproximadamente 312,353 km<sup>2</sup> de área e 2.686.612 habitantes, com densidade demográfica de 7.786,44 hab/km<sup>2</sup>. No censo de 2010, Fortaleza apresentou 2.452.185 habitantes, o que representa um aumento de 234.427 nos últimos 10 anos (IBGE, 2021). As características climáticas de Fortaleza são fortemente influenciadas pela sua proximidade com a Linha do Equador com temperatura média variando entre 26 °C e 28 °C (IPECE, 2017), apresenta temperaturas elevadas, porém baixa amplitude térmica mensal e anual e apenas duas estações no ano, uma chuvosa e outra seca.

O processo de crescimento urbano na cidade de Fortaleza teve início no século XVII, às margens do Riacho Pajeú, porém veio se tornar um centro administrativo no século XIX, em que o primeiro plano diretor foi estabelecido (PETALAS, 2015). Evidenciando a segunda metade do século XX, a população brasileira mais que triplicou até o final do século, Fortaleza vivenciou um rápido crescimento populacional, motivado principalmente pelas migrações rurais-urbanas, junto a isso frequentes secas são registradas no Estado do Ceará impulsionando o crescimento urbano desordenado devido ao êxodo rural (PAIVA, 2018; PETALAS, 2015).

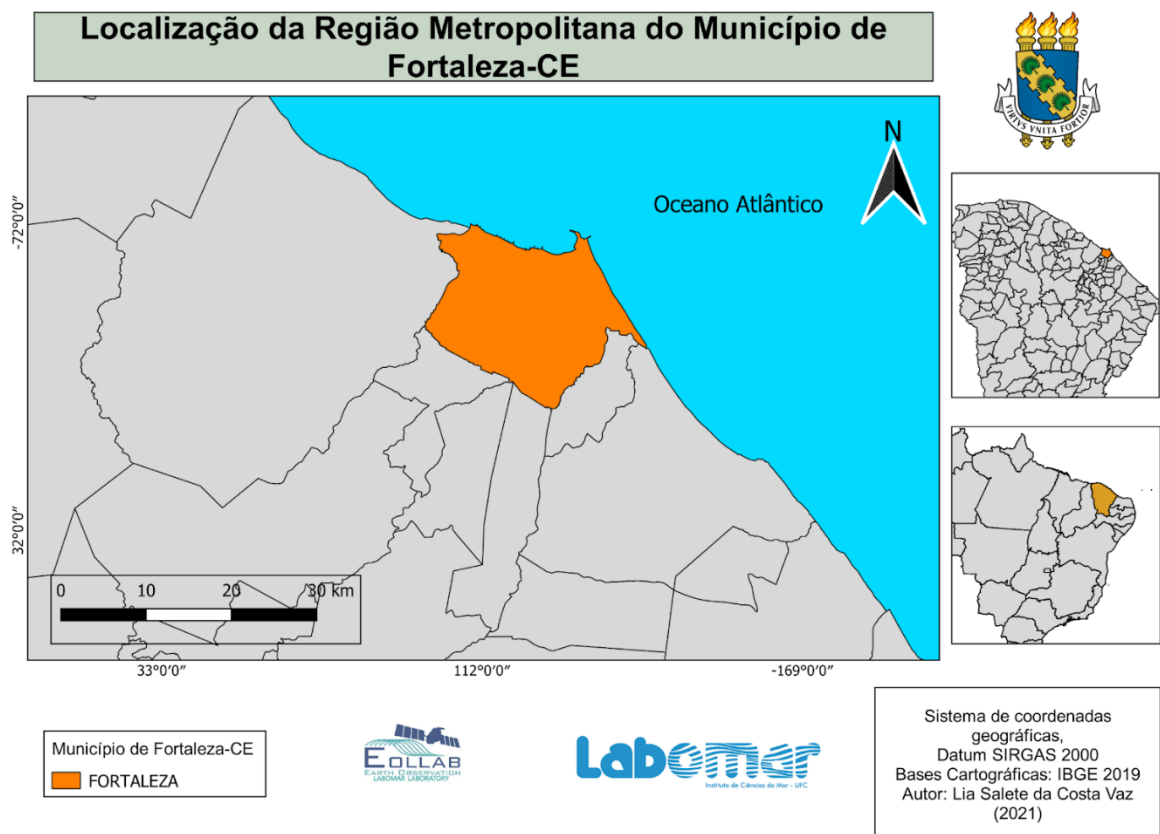
Conforme afirma Paiva (2018), “A cidade passa a ser vista como esperança de melhores condições de vida e de trabalho, uma vez que a estrutura social e as condições naturais no campo já não permitiam a permanência do homem na zona rural”. O grande problema para esses migrantes que chegam à cidade é a grande competição para entrar no mercado de trabalho, devido a alta demanda populacional existente nem todos conseguem se estabelecer.

Ainda segundo Paiva (2018), o rápido crescimento populacional de Fortaleza, sobretudo nas décadas de 1950 a 1980, acarretaram o surgimento de uma série de problemáticas urbanas no setor da saúde, segurança, educação, saneamento, habitação, dentre outros. Isso ocorreu devido ao fato do processo de urbanização verificado na cidade não ter sido acompanhado por uma política que contemplasse a demanda gerada por esse crescimento (PAIVA, 2018).

A cidade cresce e estende seu tecido urbano pelo interior da cidade, isso por meio das ações do Estado, do setor imobiliário e da população. É nesse período que se proliferam as favelas, conjuntos habitacionais e os novos recortes urbanos de Fortaleza (MOURA, 2008).

Fortaleza é a maior cidade do Estado do Ceará e a quinta do Brasil, com IDH de 0,754 considerado alto, seu desenvolvimento é reconhecido, porém sua estrutura sem muito planejamento eficiente está comprometida. Afirma Moura (2008), a modificação do clima de fortaleza e o surgimento no fenômeno ilha de calor tem sido observada através das mudanças no uso e ocupação do solo alterando o balanço de radiação, velocidade dos ventos, permeabilidade do solo, temperatura da superfície dentre outros.

Figura 7 – Localização da Região Metropolitana do Município de Fortaleza-CE.



Fonte: Autora (2021).

## 4.2 Dados utilizados

Neste trabalho utilizou-se dados meteorológicos de estações automáticas do INMET e do satélite METEOSAT-11, comparadas entre si e com as simulações realizadas pelo modelo numérico WRF (Weather Research and Forecasting Model) através de dados de reanálise ERA-Interin.

#### 4.2.1 Estações automáticas – INMET

Foram utilizados dados históricos de estações meteorológicas do Banco de Dados Meteorológicos para Ensino e Pesquisa (BDMEP) do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019 (disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>). O BDMEP inclui dados meteorológicos diários em forma digital de séries históricas de várias estações meteorológicas convencionais espalhadas no território nacional da rede do INMET, de acordo com as normas técnicas internacionais da Organização Meteorológica Mundial. As 14 estações selecionadas estão distribuídas pelo Estado do Ceará (Tabela 2 e Figura 8). As variáveis meteorológicas utilizadas na pesquisa foram temperatura do ar e precipitação.

A base de dados do INMET para o Ceará possui 16 estações, porém duas apresentaram ausência significativa de dados, portanto, não sendo consideradas neste estudo, são elas Itapipoca e Crateús. Na estação de Jaguaruana também faltaram dados, mas foram quantitativamente irrelevantes e não invalidou a análise.

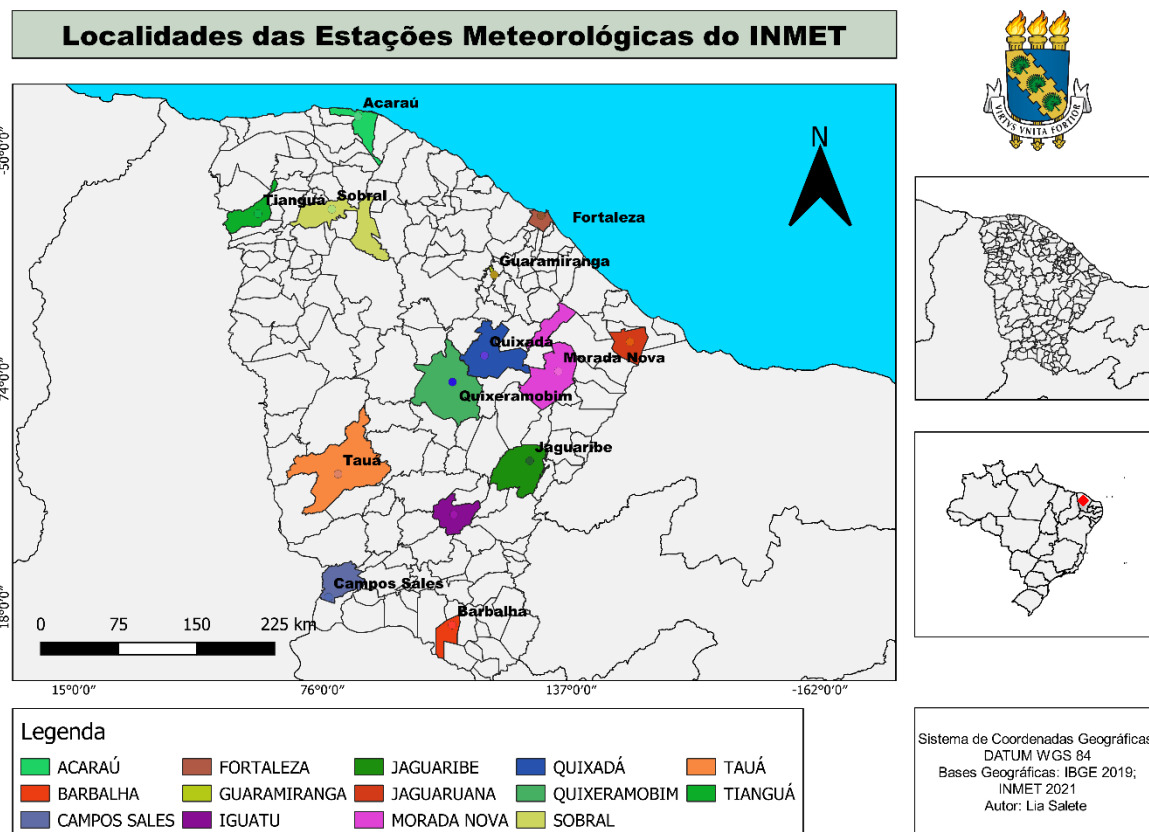
Tabela 2 – Estações meteorológicas do INMET.

<b>Estação -CE</b>	<b>Latitude</b>	<b>Longitude</b>	<b>Altitude</b>
Estação Acaraú (A360)	-3,121067	-40,087288	67,15
Estação Barbalha (A315)	-7,300833	-39,271111	409,41
Estação Campos Sales (A347)	-7,077777	-40,362777	577,95
Estação Fortaleza (A305)	-3,815701	-38,537792	29,55
Estação Guaramiranga (A314)	-4,261351	-38,931068	865,53
Estação Iguatu (A319)	-6,396388	-39,268888	221,56
Estação Jaguaribe (A358)	-5,905555	-38,627777	149,31
Estação Jaguaruana (A339)	-4,786944	-37,766666	49
Estação Morada Nova (A332)	-5,136666	-38,356666	45,03
Estação Quixadá (A369)	-4,978783	-39,057183	193
Estação Quixeramobim (A325)	-5,174568	-39,289393	221,04
Estação Sobral (A306)	-3,748055	-40,345833	92,07
Estação Tauá (A324)	-6,017474	-40,281321	410,87
Estação Tianguá (A368)	-3,732169	-41,011881	756

Fonte: Autora (2021).



Figura 8 – Localidades das Estações Meteorológicas do INMET.



Fonte: Autora (2021).

#### 4.2.2. Dados de Satélite – METEOSAT-11

Os dados horários de temperatura na superfície terrestre com resolução espacial de 3 Km e resolução temporal de 15 minutos, foram obtidos a partir das imagens dos satélites geoestacionários METEOSAT-11, sensor SEVIRI (*Spinning Enhanced Visible and InfraRed Imager*), operado pela EUMETSAT (*European Organisation for the Exploitation of Meteorological Satellites*) para os dias 01 de agosto de 2019 ao dia 10 de agosto de 2019. O sensor SEVIRI possui 12 canais espectrais que cobrem as bandas do visível ( $\lambda = 0.635 \mu\text{m}$ ) ao infravermelho termal ( $\lambda = 13.4 \mu\text{m}$ ).

O download das imagens foi feito no site *Satellite Applications Facility on Land Surface Analysis* (Land SAF) da EUMETSAT (disponível em : <<https://landsaf.ipma.pt/en/>>). As imagens passaram por um processo de conversão do formato HDF5 (original) para o formato NetCDF através de rotinas de programação na linguagem Python. A partir das imagens,

utilizando a linguagem de programação Python, as áreas de interesse foram recortadas, ou seja, o estado do Ceará e a região metropolitana de Fortaleza para assim serem analisadas.

### 4.3 WRF

O modelo WRF (*Weather Research and Forecasting Model*) é um modelo para pesquisa e fins operacionais de previsão/simulação de micro e mesoescala que representa o que há de mais atual em modelagem atmosférica regional, bem como apresenta a maior comunidade de usuários, sendo o mesmo utilizado e desenvolvido por uma ampla gama de pesquisadores ao redor do mundo. Seu desenvolvimento tem sido um esforço conjunto e uma parceria colaborativa de vários centros de pesquisa, dentre eles, o *National Center for Atmospheric Research* (NCAR), o *National Centers for Environmental Prediction* (NCEP), a Força Aérea dos EUA, o Laboratório de Pesquisa Naval, a Universidade de Oklahoma, com objetivo de aprimorar a previsão e o entendimento dos sistemas de mesoescala (SKAMAROCK et al., 2019).

O WRF apresenta grande pluralidade de aplicações devido à existência de múltiplas opções de parametrizações e dinâmicas, sendo possível simular no modelo localidades geográficas diferentes e configurações de escala. Portanto, é importante a escolha dos melhores conjuntos de opções físicas e período considerado para a região a ser estudada em uma etapa de simulação numérica de tempo (MOHAN & BHATI, 2011).

Nesta pesquisa foi utilizado o Modelo WRF na sua versão 4.0 para simular dados de temperatura da superfície e de temperatura a 2 metros. Com o objetivo de verificar dentre quatro parametrizações de camada limite planetária a que melhor representa a temperatura superficial e a temperatura a 2 metros, foram realizadas simulações (uma para cada parametrização) com dados de reanálise do Era Interim do ECMWF (European Centre for Medium-Range Weather Forecasts) disponíveis em: <https://apps.ecmwf.int/datasets/data/interim-full-daily/levtype=sfc/>. Com dados disponíveis desde janeiro de 1979 até agosto de 2019, o ERA-Interim tem a inicialização quatro vezes ao dia, às 00:00, 06:00, 12:00 e às 18:00. Os dados dispostos possuem pontos de grade com resolução horizontal apresentando grande variação (cerca de 80 km x 80 km), 60 níveis verticais para todo o globo e em formato GRIB.

A simulação foi realizada com dois domínios de grades aninhados, com espaçamento horizontal de 9 km e 3 km, para as grades 1, que representa o Estado do Ceará e

2 representando a cidade de Fortaleza e região metropolitana, respectivamente. Sendo apenas o domínio dois utilizado para a análise do estudo de caso da existência do fenômeno ilha de calor na cidade de Fortaleza. Na grade vertical, foram utilizados 33 níveis em ambas as grades. Tais configurações, bem como a quantidade de pontos de grade são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3 - Configurações de grade utilizada.

<b>Parâmetros</b>	<b>Grade 1</b>	<b>Grade 2</b>
Espaçamento (x)	9 km	3 km
Espaçamento (y)	9 km	3 km
Ponto de grade (x)	75	25
Ponto de grade (y)	75	25
Níveis verticais	33	33

Fonte: Autora (2021).

Todos os outros esquemas de parametrizações foram mantidos os mesmos para todos os quatro experimentos, variando apenas a configuração da camada limite planetária (Tabela 4), que são: ACM2 (Asymmetric Convective Model V2), BouLac (Bougeault-Lacarrere, MRF (Medium Range Forecast Model) e YSU (Yonsei University).

O período de simulações foi do dia 01 de agosto de 2019 (às 00h UTC) até 12 de agosto de 2019 (às 00h UTC). O período de análise foi de 01 de agosto de 2019 (às 00h de Fortaleza) até 11 de agosto de 2019 (às 00h hora de Fortaleza), totalizando 240h (10 dias) de simulação.

Tabela 4 - Parametrizações escolhidas para cada experimentos.

<b>Configuração</b>	<b>Variável</b>	<b>Exp ACM2</b>	<b>Exp BouLac</b>	<b>Exp MRF</b>	<b>Exp YSU</b>
Microfísica	<i>(mp_physics)</i>	Thompson	Thompson	Thompson	Thompson
Cumulus	<i>(cu_physics)</i>	Kain-Fritsch	Kain-Fritsch	Kain-Fritsch	Kain-Fritsch
Camada Limite Superficial	<i>(sf_sfclay_physics)</i>	Monin – Obukhov	Monin – Obukhov	Monin – Obukhov	Monin – Obukhov
Camada Limite do Solo	<i>(sf_surface_physics)</i>	Noah	Noah	Noah	Noah
Camada Limite Planetária	<i>(bl_pbl_physics)</i>	ACM2	BouLac	MRF	YSU
Radiação Atmosférica	<i>(ra_sw_physics)</i> <i>(ra_lw_physics)</i>	RRTM	RRTM	RRTM	RRTM

Fonte: Autora (2021).

#### 4.4 Métricas estatísticas

As métricas estatísticas escolhidas foram Índice de Correlação, o Viés Estatístico, Erro Absoluto e Raiz do Erro Quadrático Médio (Root Mean Square Error, RMSE), para fim de comparação entre os dados observados oriundos das estações automática com os dados das imagens de satélite e as saídas do modelo WRF:

Correlação: valor ideal igual a 1.

$$r = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \frac{\phi_i \psi_i}{\sigma_\phi \sigma_\psi} \quad (1)$$

Viés: valor ideal igual a zero.

$$b = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\phi_i - \psi_i) \quad (2)$$

Erro absoluto médio: valor ideal igual a zero.

$$EA = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N |\phi_i - \psi_i| \quad (3)$$

Raiz do erro quadrático médio: valor ideal igual a zero.

$$EQ = \left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (\phi_i - \psi_i)^2 \right]^{1/2} \quad (4)$$

## 5 RESULTADOS

### 5.1 Comparação entre os dados de estação e de satélite

A fim de analisar os dois bancos de dados de temperatura adotados, foram correlacionadas as séries temporais da temperatura do ar das estações automáticas do INMET com a temperatura superficial a partir de dados de satélite METEOSAT-11 (Tabela 5). Foram encontrados valores de índice de correlação mínimo de 0,77 (na localidade de Fortaleza) e máximo de 0,94 (na localidade Acaraú).

Tabela 5 – Índice de correlação da temperatura calculada entre os dados das estações do INMET do Estado do Ceará e os dados de satélite METEOSAT-11, para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.

<b>Estação -CE</b>	<b>Correlação</b>
Estação Acaraú (A360)	0,94
Estação Barbalha (A315)	0,88
Estação Campos Sales (A347)	0,92
Estação Fortaleza (A305)	0,77
Estação Guaramiranga (A314)	0,80
Estação Iguatu (A319)	0,85
Estação Jaguaribe (A358)	0,83
Estação Jaguaruana (A339)	0,92
Estação Morada Nova (A332)	0,89
Estação Quixadá (A369)	0,84
Estação Quixeramobim (A325)	0,83
Estação Sobral (A306)	0,85
Estação Tauá (A324)	0,87
Estação Tianguá (A368)	0,90

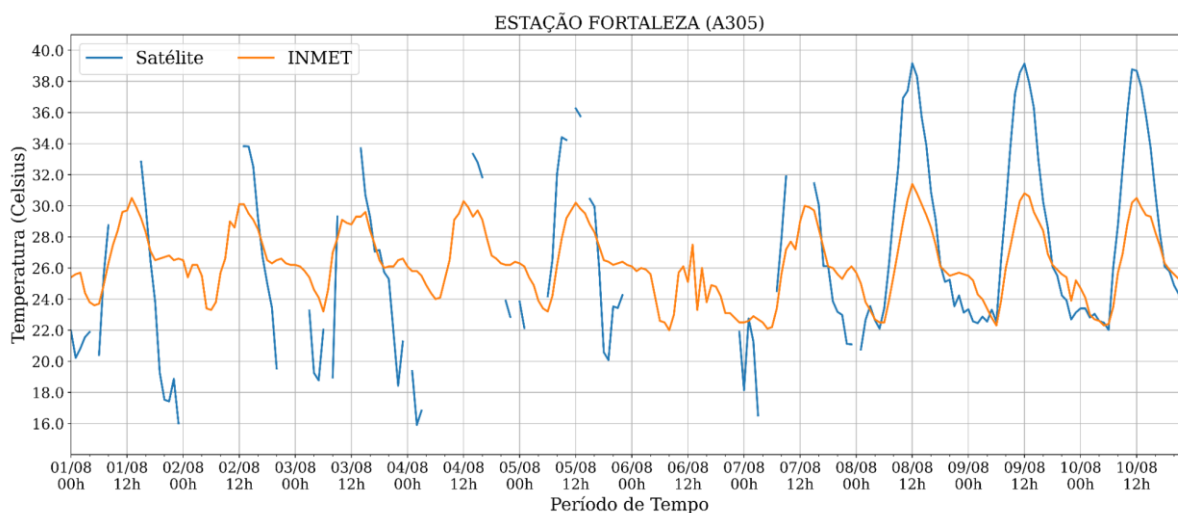
Fonte: Autora (2021).

O Gráfico 1 apresenta a série temporal, do período analisado, da temperatura do ar para a estação automática do INMET localizada na cidade de Fortaleza e a temperatura superficial a partir dos dados de sensoriamento remoto para a mesma localidade. A ausência de pontos no gráfico (linha azul) é devido a presença de nuvens entre os dias 01 ao dia 07 de agosto de 2019. Já para os dias 08 a 10 de agosto de 2019, não foram observadas nebulosidade sobre a estação, portanto, este período foi utilizado para analisar mapas da temperatura superficial para uma análise qualitativa do fenômeno ilha de calor.

Como os dados de satélite representam temperaturas superficiais da terra e da estação automática, temperatura do ar, observa-se no gráfico uma tendência de valores

expressivamente distantes entre eles, pois a superfície da Terra possui uma maior capacidade térmica do que o ar atmosférico, atingindo assim maiores picos de temperatura máximas e mínimas observáveis. Os demais gráficos para todas as estações do Estado do Ceará foram disponibilizados no Apêndice A.

Gráfico 1 – Série temporal entre os dados da Estação Fortaleza (305) do INMET e os dados do satélite METEOSAT-11 para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



Fonte: INMET (2019).

## 5.2 Análise das parametrizações de Camada Limite Planetária

Para a análise dos experimentos realizados, foram calculadas métricas estatísticas entre os dados das estações meteorológicas automáticas do INMET e os experimentos com diferentes parametrizações da CLP realizados no modelo WRF, dentro do período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019. Para cada estação automática, foram hachurados de cinza os resultados dos experimentos que mais se aproximaram do valor ideal, em cada métrica estatística analisada.

Na Tabela 6 tem-se o resultado da correlação para todos os experimentos e todas as estações analisadas. Em todos os experimentos, os valores de correlação foram superiores ou igual a 0,9, exceto em Fortaleza. Isso pode ser justificado devido a fenômenos meteorológicos de mesoescala que favoreceram a ocorrência de precipitação no período analisado, resultando em uma mudança no padrão da temperatura que o modelo não conseguiu capturar com precisão.

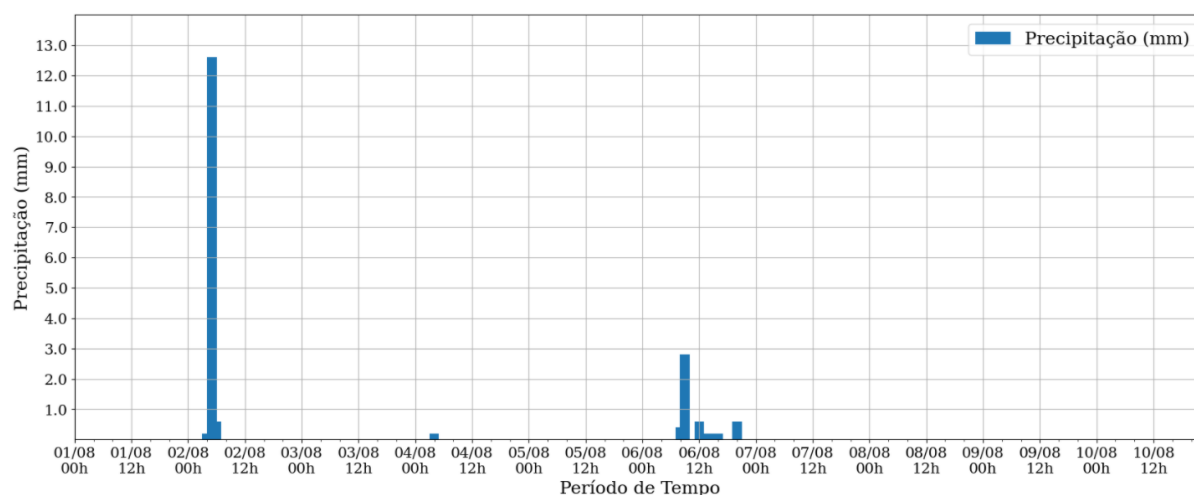
Tabela 6 – Correlação da temperatura calculada entre os dados das estações do INMET do Estado do Ceará e os dados dos experimentos do modelo WRF, utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.

Estação -CE	Correlação			
	ACM2	BouLac	MRF	YSU
Estação Acaraú (A360)	0,96	0,95	0,96	0,96
Estação Barbalha (A315)	0,96	0,96	0,95	0,96
Estação Campos Sales (A347)	0,95	0,96	0,96	0,95
Estação Fortaleza (A305)	0,89	0,87	0,85	0,88
Estação Guaramiranga (A314)	0,90	0,90	0,91	0,91
Estação Iguatu (A319)	0,96	0,96	0,96	0,96
Estação Jaguaribe (A358)	0,96	0,96	0,95	0,96
Estação Jaguaruana (A339)	0,92	0,91	0,92	0,92
Estação Morada Nova (A332)	0,94	0,94	0,95	0,94
Estação Quixadá (A369)	0,95	0,94	0,95	0,96
Estação Quixeramobim (A325)	0,96	0,95	0,96	0,96
Estação Sobral (A306)	0,97	0,96	0,96	0,96
Estação Tauá (A324)	0,95	0,94	0,94	0,94
Estação Tianguá (A368)	0,91	0,91	0,91	0,90

Fonte: Autora (2021).

O Gráfico 2 apresenta a precipitação em Fortaleza ocorrida do dia 01/08/2019 até o dia 10/08/2019, em Fortaleza.

Gráfico 2 – Precipitação da Cidade de Fortaleza para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



Fonte: INMET (2019).

Os valores de correlação da cidade de Fortaleza foram mais elevados para o experimento ACM2 (0,89). A estação de Iguatu registrou a mesma correlação para todos os experimentos. O experimento ACM2 (*Assymetric Convective Model v2*) apresentou valores maiores de correlação em 10 das 14 estações, seguido da YSU (*Yonsei University*) com maiores valores em 8 das 14 estações. Vale ressaltar que em algumas estações, mais de um experimento apresentou resultados iguais, logo, nessas localidades pode-se dispor de uma maior variabilidade de parametrizações possíveis de se trabalhar.

Já em relação aos resultados do cálculo do viés (Tabela 7), as estações em que o modelo apresentou os menores erros foram Acaraú, Morada Nova, Sobral e Tianguá com valores absolutos igual ou menores que 0,36°C. As estações de Guaramiranga, Quixeramobim e Jaguaribe, para todos os experimentos, apresentaram erros de viés absoluto acima de 1 °C, variando de 1,10 °C a 1,99 °C. O experimento BouLac (*Bougeault-Lacarrere*) representou os melhores valores ideais de viés para 6 das 14 estações.

Tabela 7 – Viés da temperatura calculada entre os dados das estações do INMET do Estado do Ceará e os dados dos experimentos do modelo WRF, utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.

Estação -CE	Viés			
	ACM2	BouLac	MRF	YSU
Estação Acaraú (A360)	0,01	0,33	0,35	-0,21
Estação Barbalha (A315)	-0,96	-0,74	-0,89	-0,90
Estação Campos Sales (A347)	-0,75	-0,44	0,65	-0,93
Estação Fortaleza (A305)	0,69	0,81	1,16	0,36
Estação Guaramiranga (A314)	1,44	1,54	1,56	1,43
Estação Iguatu (A319)	-0,94	-0,64	-0,78	-1,05
Estação Jaguaribe (A358)	-1,79	-1,71	-1,74	-1,99
Estação Jaguaruana (A339)	0,11	0,32	0,35	-0,27
Estação Morada Nova (A332)	-0,06	0,18	0,13	-0,35
Estação Quixadá (A369)	-1,07	0,92	-0,87	-1,27
Estação Quixeramobim (A325)	-1,33	-1,32	-1,10	-1,39
Estação Sobral (A306)	-0,09	0,36	0,08	-0,19
Estação Tauá (A324)	-1,40	-0,90	-1,19	-1,32
Estação Tianguá (A368)	-0,10	-0,02	0,10	-0,08

Fonte: Autora (2021).

A Tabela 8 representa a métrica erro absoluto médio da temperatura, os menores erros do modelo apresentados foram para a estação de Acaraú, variando entre 0,84 °C a 0,74 °C. Na estação de Fortaleza foram encontrados valores de erros abaixo de 1 °C, em sua maioria,



e o experimento que melhor representou essa variação no período analisado foi o YSU. Todas as outras estações apresentaram experimentos com erros absolutos acima de 1 °C, exceto Tianguá, com 0,99 °C. O experimento com os melhores erros absolutos observado foi BouLac (*Bougeault-Lacarrere*), para 6 das 14 estações.

Tabela 8 – Erro Absoluto da temperatura calculada entre os dados das estações do INMET do Estado do Ceará e os dados dos experimentos do modelo WRF, utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.

Estação -CE	Erro Absoluto			
	ACM2	BouLac	MRF	YSU
Estação Acaraú (A360)	0,74	0,84	0,78	0,76
Estação Barbalha (A315)	1,30	1,14	1,30	1,27
Estação Campos Sales (A347)	1,21	1,08	1,20	1,29
Estação Fortaleza (A305)	0,89	0,98	1,30	0,78
Estação Guaramiranga (A314)	1,45	1,55	1,57	1,44
Estação Iguatu (A319)	1,25	1,03	1,15	1,34
Estação Jaguaribe (A358)	1,87	1,80	1,87	2,07
Estação Jaguaruana (A339)	1,01	1,17	1,09	1,12
Estação Morada Nova (A332)	1,30	1,38	1,28	1,29
Estação Quixadá (A369)	1,44	1,39	1,25	1,49
Estação Quixeramobim (A325)	1,50	1,46	1,30	1,51
Estação Sobral (A306)	1,20	1,35	1,20	1,10
Estação Tauá (A324)	1,60	1,40	1,53	1,61
Estação Tianguá (A368)	1,05	0,99	1,03	1,07

Fonte: Autora (2021).

A raiz do erro quadrático médio, mostrado na Tabela 9, possui o menor valor registrado para a estação de Acaraú, com RMSE de 0,98 °C nos experimentos ACM2 e YSU. Os maiores valores de RMSE observados foram para os experimentos na estação de Jaguaribe, variando de 2,0 °C a 2,28 °C. BouLac foi a parametrização que apresentou os menores valores de erro quadrático médio, assim como na métrica erro absoluto médio, para 6 das 14 estações.

Tabela 9 – Raiz do Erro Quadrático Médio da temperatura calculada entre os dados das estações do INMET do Estado do Ceará e os dados dos experimentos do modelo WRF, utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.

Estação -CE	RMSE			
	ACM2	BouLac	MRF	YSU
Estação Acaraú (A360)	0,98	1,10	1,06	0,98
Estação Barbalha (A315)	1,52	1,37	1,51	1,48
Estação Campos Sales (A347)	1,48	1,34	1,47	1,56
Estação Fortaleza (A305)	1,27	1,38	1,67	1,17
Estação Guaramiranga (A314)	1,82	1,89	1,90	1,78
Estação Iguatu (A319)	1,45	1,24	1,33	1,53
Estação Jaguaribe (A358)	2,06	2,00	2,09	2,28
Estação Jaguaruana (A339)	1,47	1,58	1,53	1,50
Estação Morada Nova (A332)	1,56	1,68	1,52	1,54
Estação Quixadá (A369)	1,67	1,66	1,49	1,72
Estação Quixeramobim (A325)	1,71	1,72	1,51	1,71
Estação Sobral (A306)	1,52	1,73	1,53	1,42
Estação Tauá (A324)	1,95	1,74	1,88	1,94
Estação Tianguá (A368)	1,32	1,29	1,34	1,36

Fonte: Autora (2021).

De uma forma geral, o modelo mostrou-se sensível à alteração nas parametrizações de camada limite planetária do modelo WRF para a variável meteorológica de temperatura do ar. A partir das análises dos resultados, foi verificado que o esquema de parametrização ACM2 apresentou melhores valores de índice de correlação em grande parte das estações e o esquema BouLac com os menores valores. Os esquemas ACM2 e YSU possuem uma tendência de subestimar os valores de temperatura do ar (viés frio), com respectivamente apenas duas e quatro estações apresentando viés positivo (quente) para estes esquemas. O esquema MRF (*Medium Range Forecast Model*) demonstrou boas correlações, entretanto para as outras métricas estatísticas os valores observados não foram ideais, comparado às outras parametrizações.

Como o experimento configurado com o esquema BouLac apresentou os melhores valores de viés, erro absoluto e raiz do erro quadrático médio, o mesmo configurou-se como o mais eficiente dentre as parametrizações de CLP. Devido a isso ela seria a melhor escolha de parametrização a ser atribuída para estudo da temperatura para o Estado do Ceará, mas o foco da análise é a cidade de Fortaleza e sua região metropolitana, então o menor viés observado na estação de Fortaleza foi para o esquema YSU. Com isso, este esquema de parametrização foi escolhido para a análise do tópico posterior.

### 5.3 Estudo de caso: ilha de calor

As Figuras 9, 10 e 11 representam a temperatura superficial da região metropolitana de Fortaleza, para os dias 08, 09 e 10 do mês de agosto de 2019 (respectivamente), às 09:00, 15:00 e 21:00, observada a partir dos dados do satélite e do modelo WRF, com a parametrização YSU. Este esquema de parametrização foi selecionado a partir da análise dos resultados da subseção anterior, pois o mesmo apresenta resultados mais próximos que os valores ideais das métricas estatísticas utilizadas comparado aos outros esquemas de parametrização para a cidade de Fortaleza.

A partir da Figura 9 (a), às 09:00h do dia 08 de agosto de 2019, observou-se que há uma região de temperatura superficial acima de 34 °C (atingindo valores acima de 36 °C), sobre parte do centro oeste e sudeste de Fortaleza. Nos arredores está mais frio, com diferenças de até 5 °C. Quanto ao mesmo período simulado pelo modelo (Figura 9 (b)), o mesmo representa um padrão espacial semelhante, porém subestima a temperatura superficial na região de Fortaleza (com valores entre 33 e 34 °C). Às 15:00h (Figura 9 (c)) observa-se, para a mesma região, temperaturas de até 37 °C. O modelo (Figura 9 (d)) simulou temperaturas de até 39 °C, superestimando a temperatura superficial de Fortaleza. Às 21:00h, o satélite (Figura 9 (e)) registrou temperaturas entre 23 até 28 °C em algumas áreas, já o modelo (Figura 9 (f)), em uma grande área da cidade de Fortaleza, simulou temperaturas acima de 26 °C.

Às 09:00h do dia 09 de agosto de 2019, o satélite (Figura 10 (a)), demonstrou temperaturas semelhantes ao do dia anterior, porém a imagem do modelo (Figura 10 (a)) apresentou um aumento da temperatura na região central e noroeste de Fortaleza. Às 15:00h tanto satélite (Figura 10 (c)) como o modelo (Figura 10 (d)), registraram resultados semelhantes ao dia 08. Às 21:00h o satélite (Figura 10 (e)), apresentou variação de temperaturas menores distribuídas na área de Fortaleza em relação ao dia anterior, variando entre 23 °C até 26 °C. Quanto ao WRF (Figura 10 (f)), para a área de cidade de Fortaleza, simulou valores muito próximos ao do satélite, mas para a região metropolitana os valores foram bastante diferentes.

Quanto ao dia 10 de agosto de 2019, às 09:00h, a imagem do satélite (Figura 11 (a)) apresentou os maiores valores para a cidade de Fortaleza entre os três dias analisados para este mesmo horário, variando de 28 °C a 37 °C. Para o modelo (Figura 11 (b)) as temperaturas variaram de 32 °C a 34 °C, com um leve aumento de temperatura na região noroeste do litoral de Fortaleza. Às 15:00h a imagem do satélite (Figura 11 (c)) mostrou-se semelhante ao do dia 09, já o modelo (Figura 11 (d)) apresentou temperaturas com menor variação em relação aos

dias anteriores analisados para Fortaleza. Às 21:00h o satélite (Figura 11 (e)) em relação ao dia anterior, apresentou-se mais frio em Fortaleza e o WRF (Figura 11 (f)) mostrou-se semelhante.

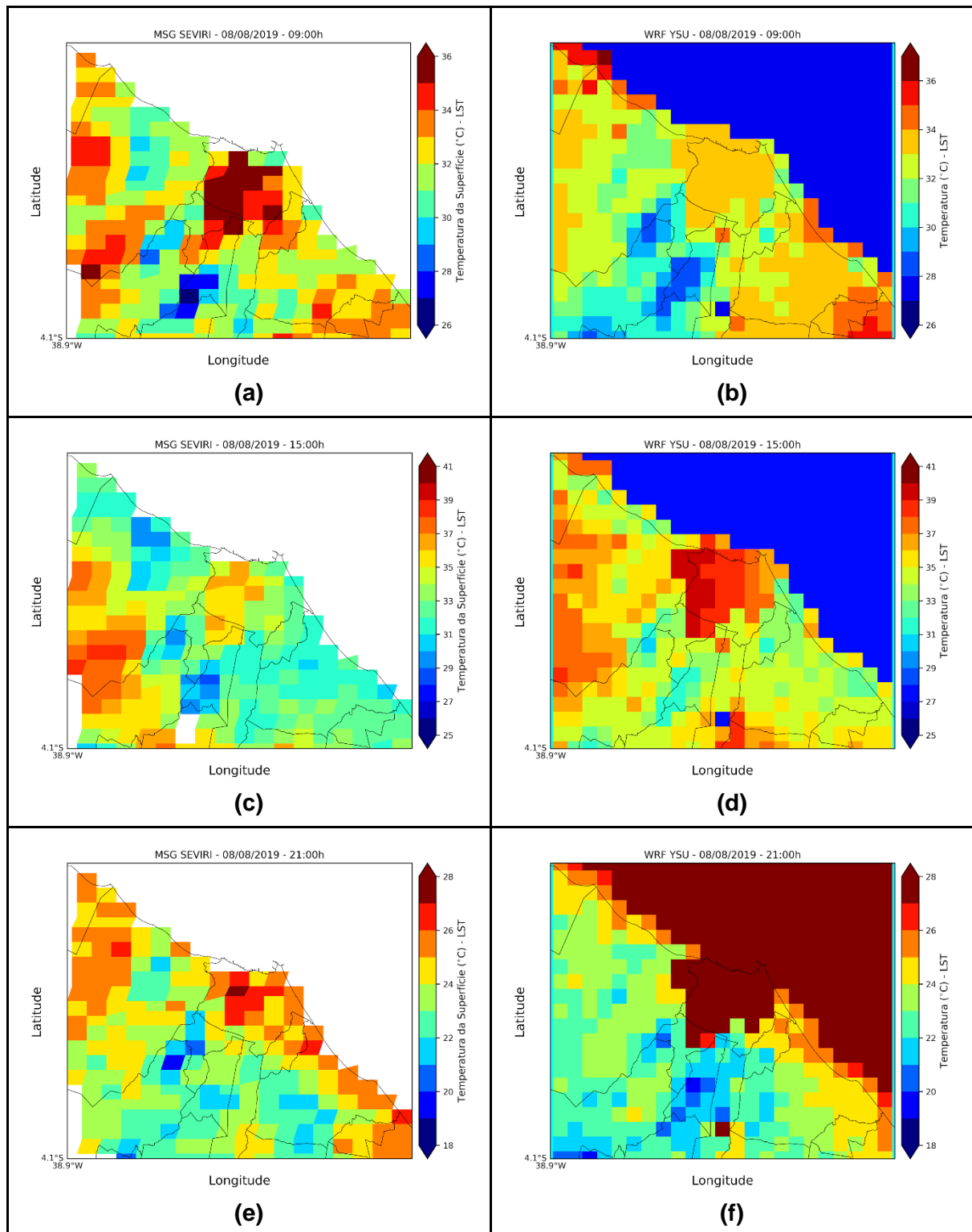
Dentre os horários analisados, as maiores diferenças na temperatura encontradas do dia 08 de agosto de 2019 entre a área central e áreas periféricas da cidade de Fortaleza foram às 15:00h, o satélite registrou IC de até 6 °C e o modelo com até 8 °C, o que caracteriza respectivamente segundo Fernández García (1996) como uma ilha de calor de magnitude forte e muito forte. Para o dia 09 de agosto de 2019, a maior diferença observada foi às 15:00h, simulada pelo WRF com 9 °C de diferença entre as áreas. Já para o satélite essa diferença foi de 6 °C também com magnitude forte e muito forte. No dia 10 de agosto de 2019, o satélite apresentou até 9 °C (muito forte) de IC às 09:00, porém o modelo demonstrou apenas 3 °C (média) de IC, o que confirma a subestimação desta relação. Vale ressaltar que para os outros dias também ocorreu subestimação no período matinal, contudo no dia 10 a variação se apresentou mais expressiva. Às 15:00 o satélite e o modelo apresentam respectivamente 6 °C e 7 °C de IC caracterizando novamente magnitude forte e muito forte (FERNÁNDEZ GARCÍA, 1996).

Para todas as análises feitas das imagens nesta subseção, no período da manhã o modelo subestimou os valores de temperatura superficial e para o período da tarde e noite o modelo superestimou os valores desta variável.

Em todas as imagens, o centro e boa parte da região oeste (sul e norte) da cidade de Fortaleza sempre se caracterizaram pelo aumento de temperatura concentrada. O centro da cidade é onde há maior concentração de atividades econômicas. Na medida em que se afasta do centro da cidade, as temperaturas diminuem. Na parte leste de Fortaleza, marcado pela presença do Parque Estadual do Cocó e dos ventos que seguem em direção ao oeste, as temperaturas são menores.

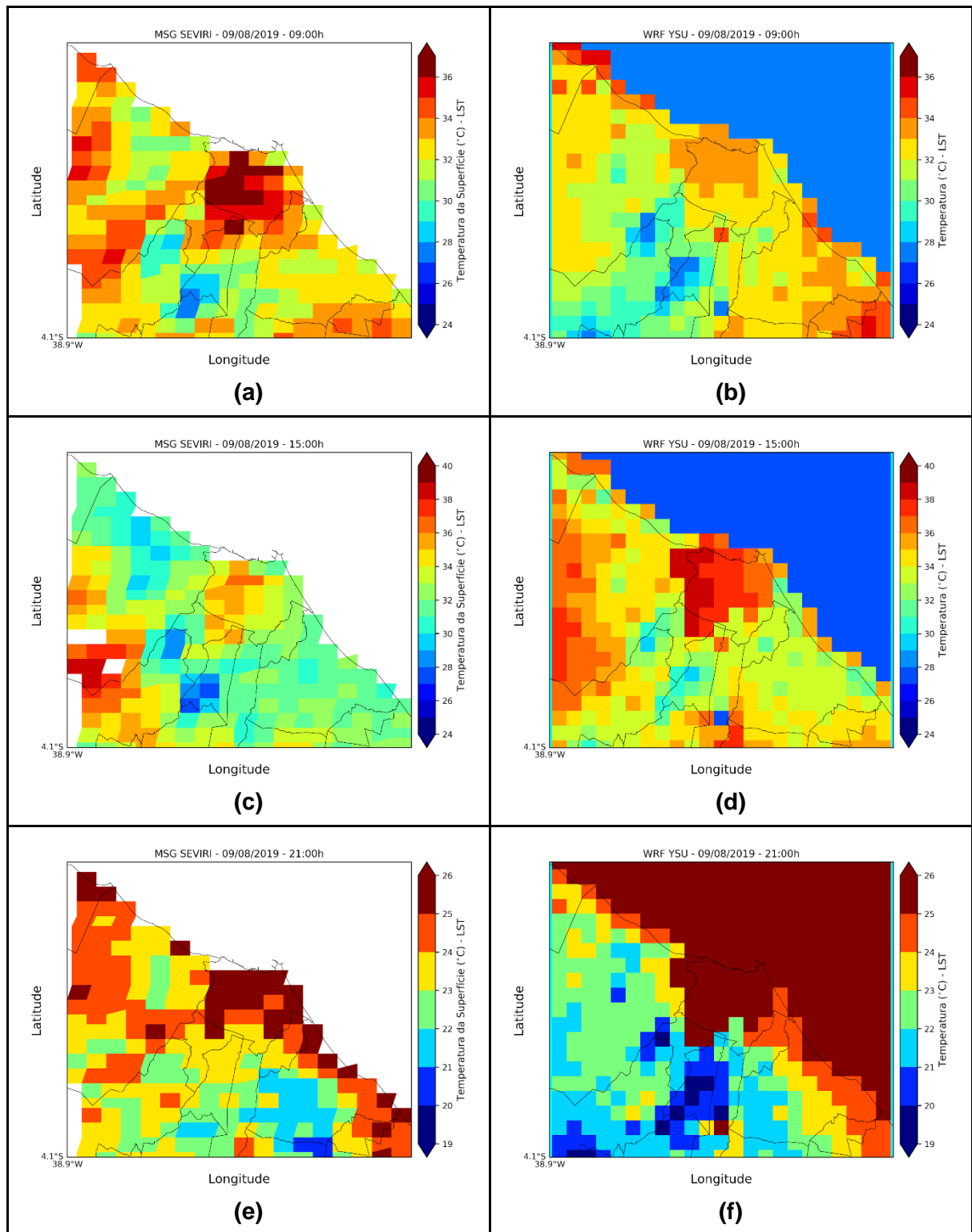
O centro da cidade de Fortaleza é densamente urbanizado pela presença de inúmeros edifícios e comércios, isso tem sido um fator relevante na análise da direção e velocidade do vento que contribui para o arrefecimento da camada limite urbana, favorecendo a diminuição da temperatura. Nestas mesmas áreas a presença de cobertura vegetal é bastante reduzida ou até inexistente.

Figura 9 - Temperatura superficial a partir dos dados de satélite (esquerda) e do modelo WRF (direita), sobre a região metropolitana de Fortaleza para o dia 8 de agosto de 2019 às: 9am (primeira linha), 15pm (segunda linha) e 21pm (terceira linha).



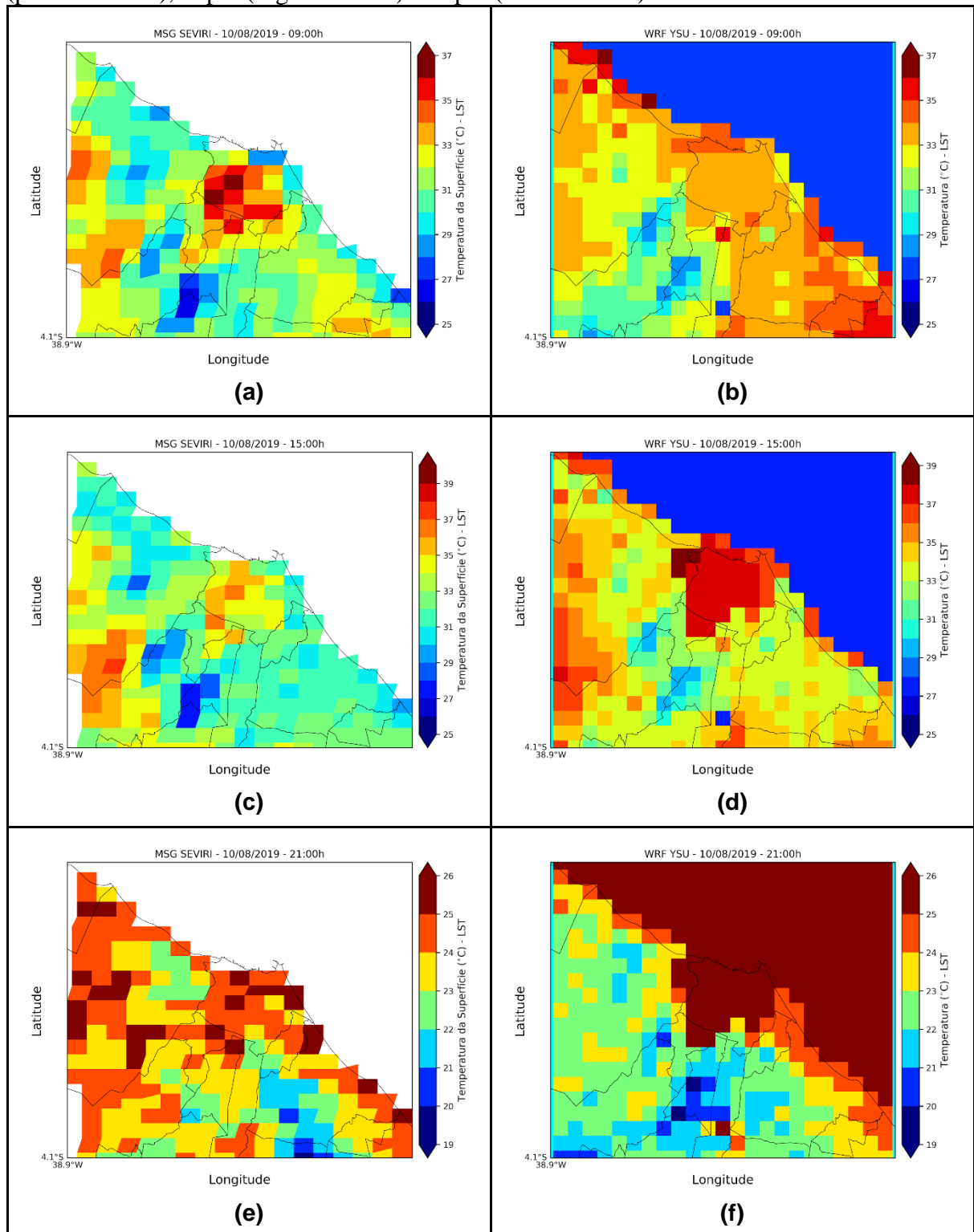
Fonte: Autora (2021).

Figura 10 - Temperatura superficial a partir dos dados de satélite (esquerda) e do modelo WRF (direita), sobre a região metropolitana de Fortaleza para o dia 9 de agosto de 2019 às: 9am (primeira linha), 15pm (segunda linha) e 21pm (terceira linha).



Fonte: Autora (2021).

Figura 11 - Temperatura superficial a partir dos dados de satélite (esquerda) e do modelo WRF (direita), sobre a região metropolitana de Fortaleza para o dia 10 de agosto de 2019 às: 9am (primeira linha), 15pm (segunda linha) e 21pm (terceira linha)



Fonte: Autora (2021).

## 6 CONCLUSÃO

De uma forma geral, conclui-se que, o modelo WRF mostrou-se sensível a parametrização de camada limite planetária com relação a temperatura próximo a superfície, com a parametrização ACM2 apresentando os melhores valores de correlação e o BouLac os melhores valores para erro (viés, MAE e RMSE). O experimento YSU foi selecionado para a análise de ilha de calor por apresentar valores de métricas estatísticas mais próximas do ideal para a cidade de Fortaleza. Foram analisados os mapas de temperatura superficial a partir dos dados de satélite e do modelo regional WRF para os horários de 9:00, 15:00 e 21:00. Nos mapas das 9:00h o modelo subestima a temperatura superficial em relação aos dados de satélite, enquanto que às 15:00h e 21:00h o modelo superestima. Os resultados observados referentes a temperatura da superfície se mostraram mais elevadas nas regiões centrais da cidade de Fortaleza que nas regiões periféricas, evidenciando a presença de IC na região metropolitana de Fortaleza. Dentre os horários analisados, o que apresentou maiores diferenças de IC foi às 15:00h, variando de 6 °C a 9 °C, caracterizando magnitude forte a muito forte.

Conclui-se que os objetivos geral e específicos foram alcançados, porém estudos mais específicos devem ser realizados no intuito do entendimento em relação aos erros de viés apresentado pelo modelo. Para trabalhos futuros, sugere-se testes variando parametrizações de CLP e de modelo de superfície terrestre (LSM – Land Surface Model), realizar simulações para um período mais longo de simulação, utilizar uma resolução mais fina (1km ou 500m) e estudos que envolvam a altura da camada limite e parâmetros específicos locais



## REFERÊNCIAS

- AMORIM, M. C. A. L. **Análise e refinamento estatístico dos prognóstico do vento com o modelo WRF no Estado de Alagoas**. 2015. 78 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió-Alagoas, 2015.
- ARYA, S. P. **Introduction to Micrometeorology**. 2. ed. San Diego: Academic Press, v. 79, 2001.
- BARROS, H. R.; LOMBARDO, M. A. A ilha de calor urbana e o uso e cobertura do solo em São Paulo-SP. **Geosp– Espaço e Tempo** (Online), v. 20, n. 1, p. 160-177, jan./abr. 2016.
- BRAGA, T. T. **Rede neural para assimilação de dados meteorológicos**. 2008. 57 f. Monografia (Especialização em Engenharia Elétrica) - Departamento de Engenharia Elétrica, Universidade de Brasília, Brasília, 2008.
- CARVALHO, D. *et al.* A sensitivity study of the WRF model in wind simulation for an area of high wind energy. **Environmental Modelling & Software**, v. 33, p. 23–34, jul. 2012.
- CORRÊA, P. B. **Ilhas de calor na cidade de Manaus: aspectos observacionais e de modelagem**. 2013. 69 f. Dissertação (Mestrado em Clima e Ambiente – Cliamb) - Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA, Universidade do Estado do Amazonas, Manaus-Amazonas, 2013.
- DONAT, L. M. **Utilização de técnicas de sensoriamento remoto para análise de crescimento da área urbana do Município de Foz do Iguaçu -PR nos anos de 1985 e 2011**. [s.l.], 2011. Disponível em: <[http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/arquivos\\_publicacoes/Artigo\\_Pos\\_Leonardo\\_Donat\\_Final.pdf](http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/arquivos_publicacoes/Artigo_Pos_Leonardo_Donat_Final.pdf)>. Acesso em: 10 abr. 2021.
- DORIGON, L. P.; AMORIM, M. C. DE C. T. Clima urbano através de sensoriamento remoto: evolução histórica da termografia da superfície de Paranavaí/PR – Brasil. In: XVII Simpósio de Brasileiro de Geografia Física Aplicada, 2017, Campinas-SP. I Congresso Nacional de Geografia Física, 2017, Campinas-Sp. **Os Desafios da Geografia Física na Fronteira do Conhecimento**. Campinas-SP: Instituto de Geociências - Unicamp, p. 1777–1789, 2017.
- EMBRAPA. **METEOSAT – Meteorological Satellite**. 2020. Disponível em: <<https://www.embrapa.br/satelites-de-monitoramento/missoes/meteosat>>. Acesso em: 10 abr. 2021.
- EUMETSAT. **Meteosat-11 and Meteosat-9 SEVIRI decontaminations are planned for early 2020**. 2019. Disponível em: <<https://www.eumetsat.int/upcoming-seviri-decontaminations>>. Acesso em: 02 maio 2021.
- FLORENZANO, T. G. **Imagens de satélite para estudos ambientais**. 3. ed. São Paulo: Oficina de textos, 2011.
- FOKEN, T. **Micrometeorology**. 3. ed. Berlin, Heidelberg: Springer. 2008.

GAMARRA, N. L. R.; CORRÊA, M. de P; TARGINO, A. C. de L. Utilização de sensoriamento remoto em análises de albedo e temperatura de superfície em Londrina – PR: contribuições para estudos de ilha de calor urbana. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. 4, p. 537-550, dez. 2014.

GARTLAND, Lisa. **Ilha de calor**: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Tradução: Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 248 p.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Cidades e Estados**. Fortaleza, 2021. Disponível em: <<https://www.ibge.gov.br/cidades-e-estados/ce/fortaleza.html>>. Acesso em: 24 jan. 2021.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET). **Banco de Dados Meteorológicos**. 2019. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>> Acesso: 26 mar. 2021.

INSTITUTO DE PESQUISA E ESTRATÉGIA ECONÔMICA DO CEARÁ(IPECE). **Perfil Municipal 2017**. Fortaleza, 2017. Disponível em:<[https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Fortaleza\\_2017.pdf](https://www.ipece.ce.gov.br/wp-content/uploads/sites/45/2018/09/Fortaleza_2017.pdf)>. Acesso em: 24 jan. 2021.

LOMBARDO, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles**: o exemplo de São Paulo. São Paulo: Hucitec, 1985.

MOREIRA, G. A. **Métodos para obtenção da altura da camada limite planetária a partir de dados de lidar**. 2013. 154 f. Dissertação (Mestrado em Ciências na Área de Tecnologia Nuclear) - Instituto de Pesquisas Energéticas e Nucleares, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2013.

MARCHI, A. C. *et al.* Avaliação da sensibilidade da parametrização de camada limite planetária para estimativa do campo de vento em Alagoas. In: Congresso Brasileiro de Agrometeorologia, 16., 2009, Belo Horizonte, Mg. **Anais [...]**. Belo Horizonte, Mg: Sbagro, 2009. Disponível em: <<http://www.sbagro.org/files/biblioteca/2272.pdf>>. Acesso: 02 Abr. 2021.

MOHAN, M.; BHATI, S. Analysis of WRF Model Performance over Subtropical Region of Delhi, India. **Advances in Meteorology**, v. 2011, p. 1–13, 2011.

MOLLMANN, R. A. *et al.* Sensibilidade do Modelo WRF a Escolha de Parametrizações para Simulações no Estado do Rio Grande do Sul no Ano de 2014. **Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ**, v. 41, n. 3, p. 580–591, dez. 2018.

MOURA, Marcelo de Oliveira. **O clima urbano de Fortaleza sob o nível do campo térmico**. 2008. 282 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2008.

MOURA, M. de O.; ZANELLA, M. E.; SALES, M. C. L. ILHAS TÉRMICAS NA CIDADE DE FORTALEZA/CE. **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 28, n. 2, p. 33-44, jul./dez. 2008.

NASCIMENTO, D. T. F.; OLIVEIRA, I. J. de. Análise da evolução do fenômeno de ilhas de calor no município de Goiânia/GO (1986-2010). **Boletim Goiano de Geografia**, Goiânia, v. 31, n. 2, p. 113-127, jul./dez. 2011.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates** -2nd ed. London: Routledge, 1987.435p.

PAIVA, J. P. M. **Clima e ambiente construído: o caso dos conjuntos habitacionais de Fortaleza/CE**. 2018. 277 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Departamento de Geografia, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2018.

PETALAS, K. V. **Estudo da sensação térmica e definição de limites de conforto para espaços abertos na cidade de Fortaleza, CE**. 2015. 274 f. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) - Departamento de Engenharia Hidráulica e Ambiental, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza, 2015.

PINHEIRO, Jaqueline. **Análise espaço-temporal da temperatura de superfície terrestre (tst) como subsídio para o estudo do clima urbano de Fortaleza-Ceará**. 2017. 143 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Centro de Ciência e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza-Ceará, 2017.

RUIZ, J. J.; SAULO, C.; NOGUÉS-PAEGLE, J. WRF Model Sensitivity to Choice of Parameterization over South America: Validation against Surface Variables. **Monthly Weather Review**, v. 138, n. 8, p. 3342–3355, 2010.

SAYDELLES, A. P. **Estudo do campo térmico e das ilhas de calor urbano em Santa Maria-RS**. 237 f. Dissertação (Mestrado em Geografia e Geociências) - Centro de Ciências Naturais e Exatas, Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2005.

SCHMETZ, J.; PILI, P.; TJEMKES, S.; JUST, D.; KERKMANN, J.; ROTA, S.; RATIER, A. An Introduction to Meteosat Second Generation (MSG). **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 83, n. 7, p. 991–991, 2002.

SILVA, F. P. **Caracterização da camada limite atmosférica em Fortaleza – CE**. 2017. 85 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Centro de Tecnologia e Recursos Naturais, Universidade Federal de Campina Grande, Campina Grande – Pb, 2017.

SKAMAROCK, W. C. *et al.* A Description of the Advanced Research WRF Model Version 4. **NCAR Technical Notes**. 2019.

SOUSA, N. V. **O modelo WRF no Projeto Chuva: avaliação das parametrizações de CLP durante o experimento de Fortaleza-ce**. 2014. 90 f. Dissertação (Mestrado em Ciências Físicas Aplicadas) - Centro de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual do Ceará, Fortaleza – Ceará, 2014.

SOUSA, N. V. *et al.* Avaliação de Parametrizações de Camada Limite Planetária do Modelo WRF na Costa Norte do Nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 34, n. 1, p. 9–21, mar. 2019.

STENSRUD, D. J. *et al.* NUMERICAL MODELS | Model Physics Parameterization. **Encyclopedia of Atmospheric Sciences**, p. 167–180, 2015.

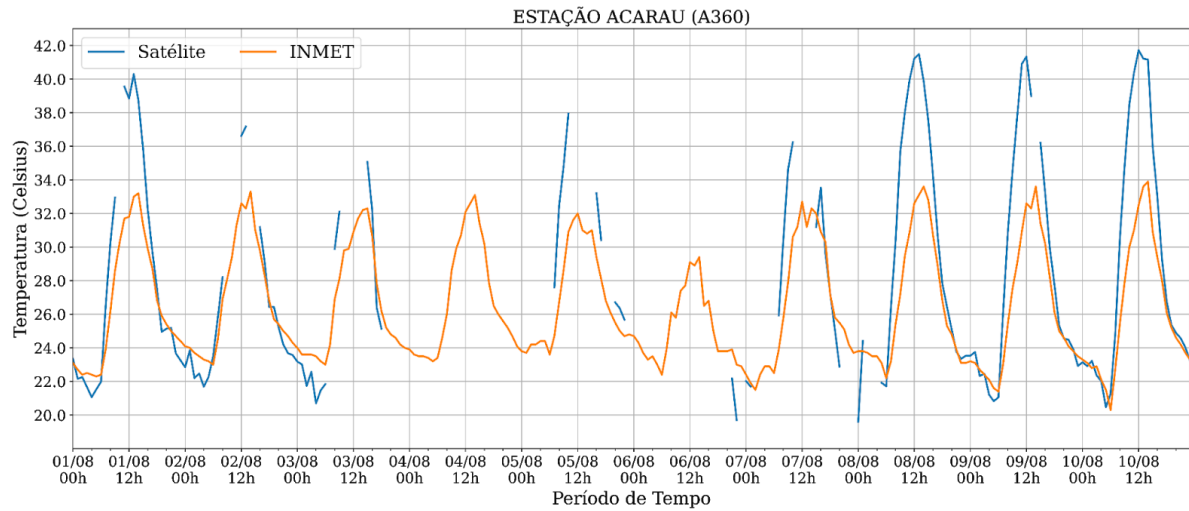
STULL, R. B. **An Introduction to Boundary Layer Meteorology**. Kluwer Academic Publishers. 1988.

WALLACE, J. M.; HOBBS, P. V. **Atmospheric Science: An introductory Survey**. 2. ed. University of Washington, Seattle, EUA: Elsevier, 2006.

## APÊNDICE A

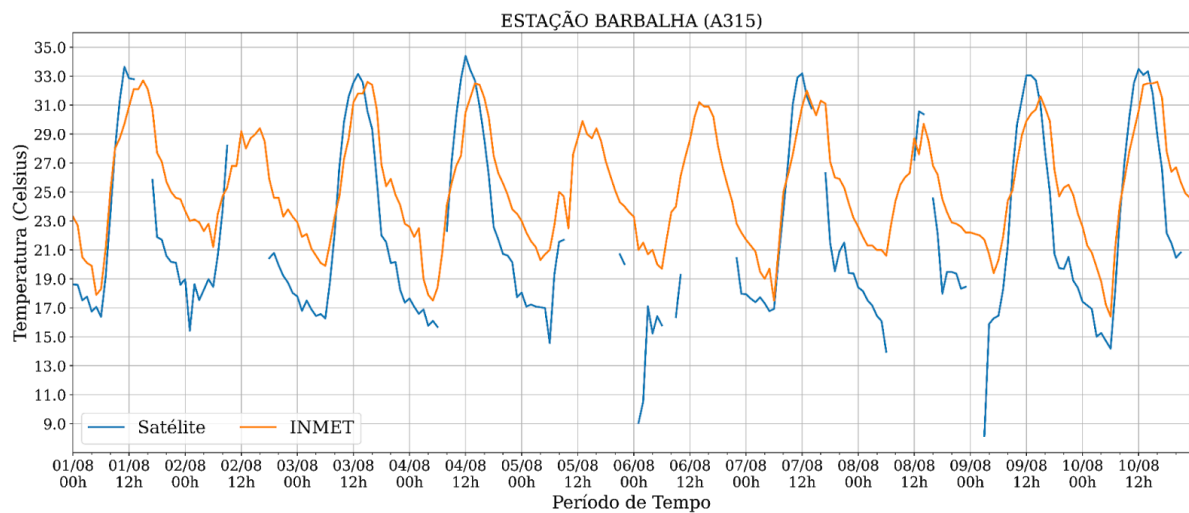
### GRÁFICOS DAS SÉRIES TEMPORAIS ENTRE OS DADOS DA ESTAÇÃO DO INMET E OS DADOS DO SATÉLITE METEOSAT

ANEXO A1 - Série temporal entre os dados da Estação Acaraú (A360) do INMET e os dados do satélite METEOSAT-11 para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



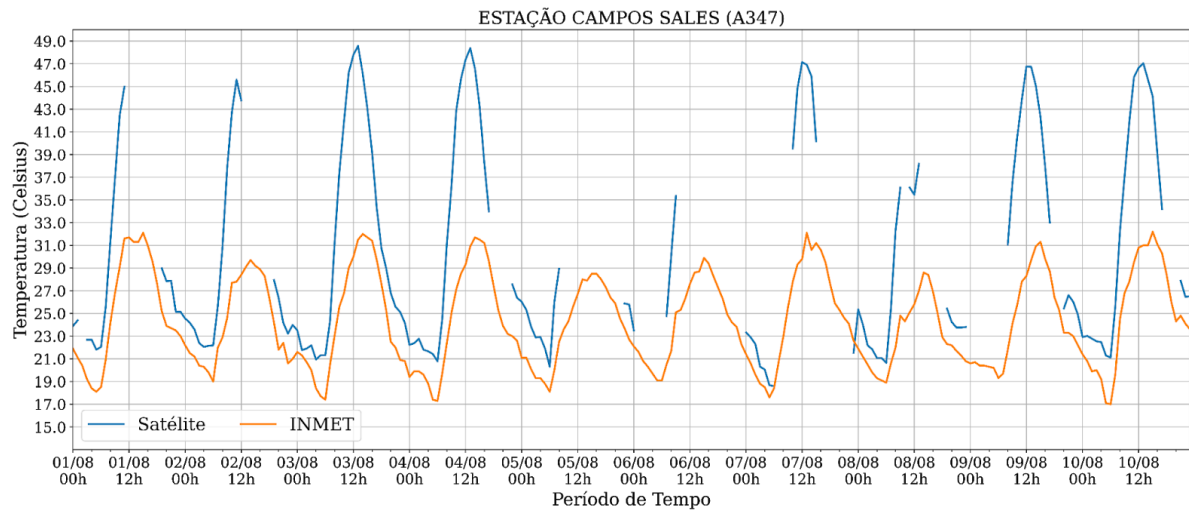
Fonte: Autora (2021).

ANEXO A2 - Série temporal entre os dados da Estação Barbalha (A315) do INMET e os dados do satélite METEOSAT-11 para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



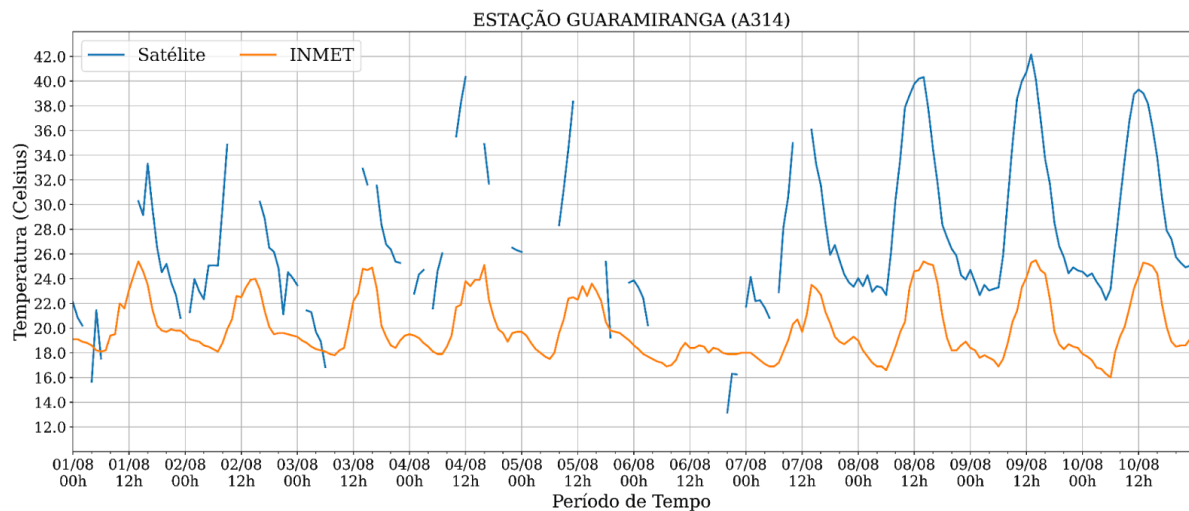
Fonte: Autora (2021).

ANEXO A3 - Série temporal entre os dados da Estação Campos Sales (A347) do INMET e os dados do satélite METEOSAT-11 para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



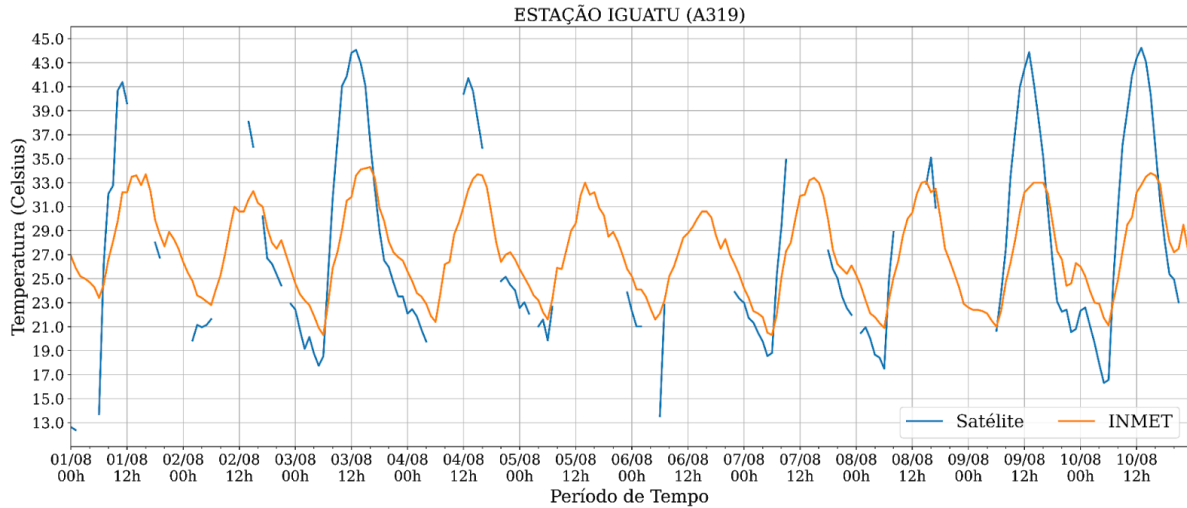
Fonte: Autora (2021).

ANEXO A4- Série temporal entre os dados da Estação Guaramiranga (A314) do INMET e os dados do satélite METEOSAT-11 para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



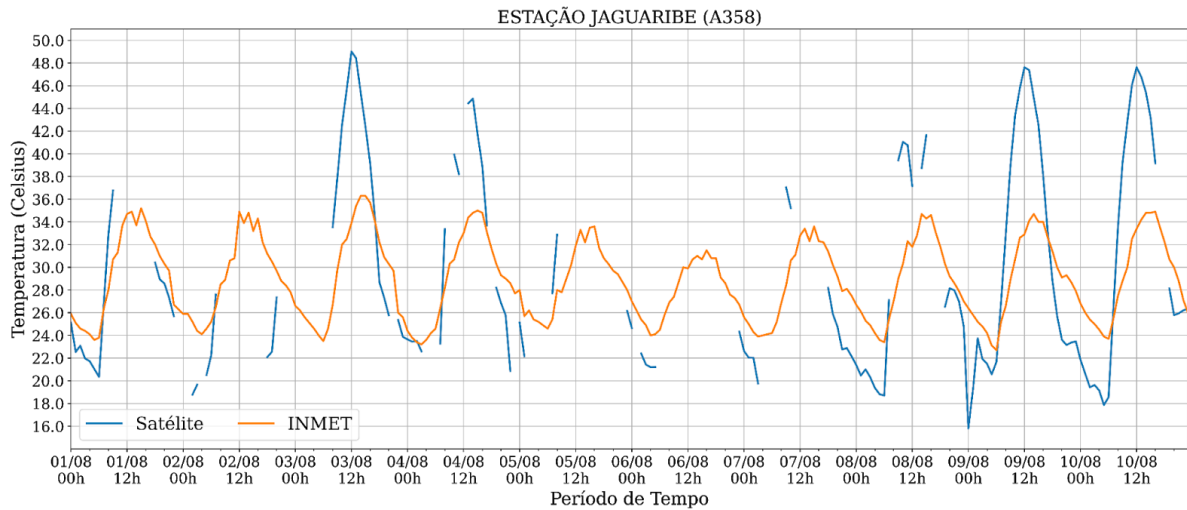
Fonte: Autora (2021).

ANEXO A5 - Série temporal entre os dados da Estação Iguatú (A319) do INMET e os dados do satélite METEOSAT-11 para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



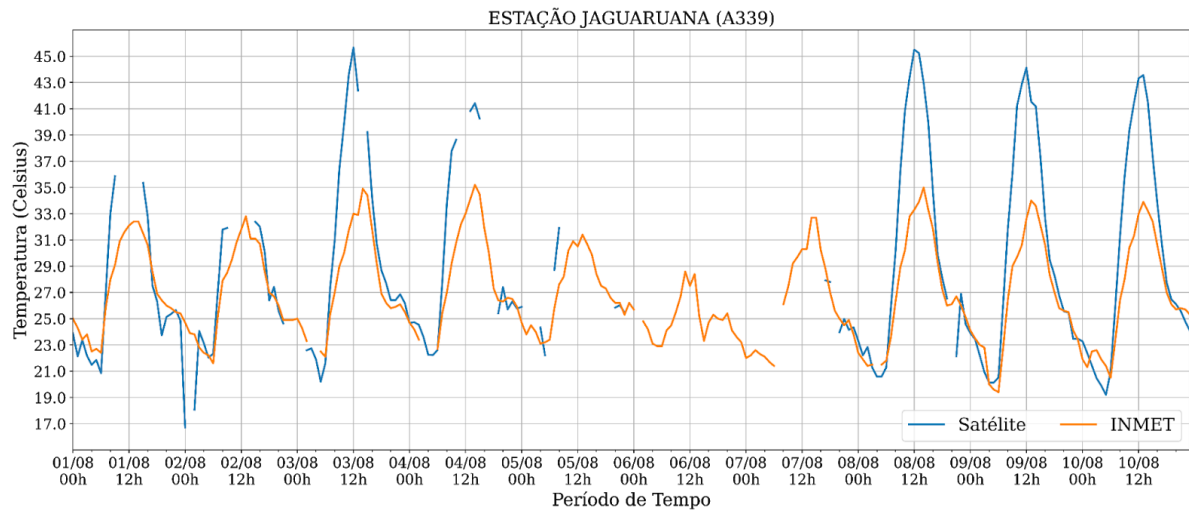
Fonte: Autora (2021).

ANEXO A6 - Série temporal entre os dados da Estação Jaguaribe (A358) do INMET e os dados do satélite METEOSAT-11 para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



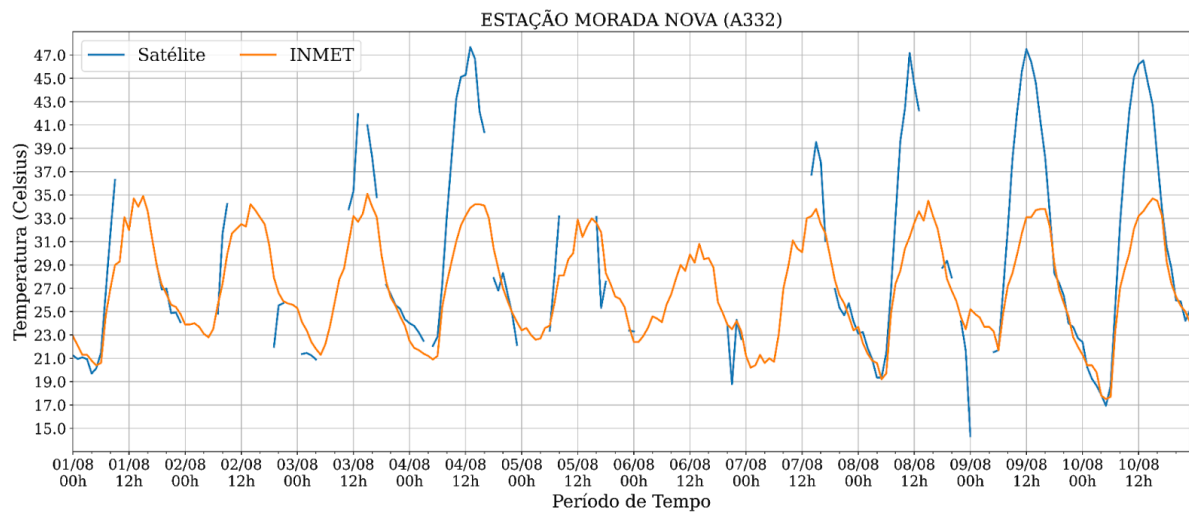
Fonte: Autora (2021).

ANEXO A7 - Série temporal entre os dados da Estação Jaguaruana (A339) do INMET e os dados do satélite METEOSAT-11 para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



Fonte: Autora (2021).

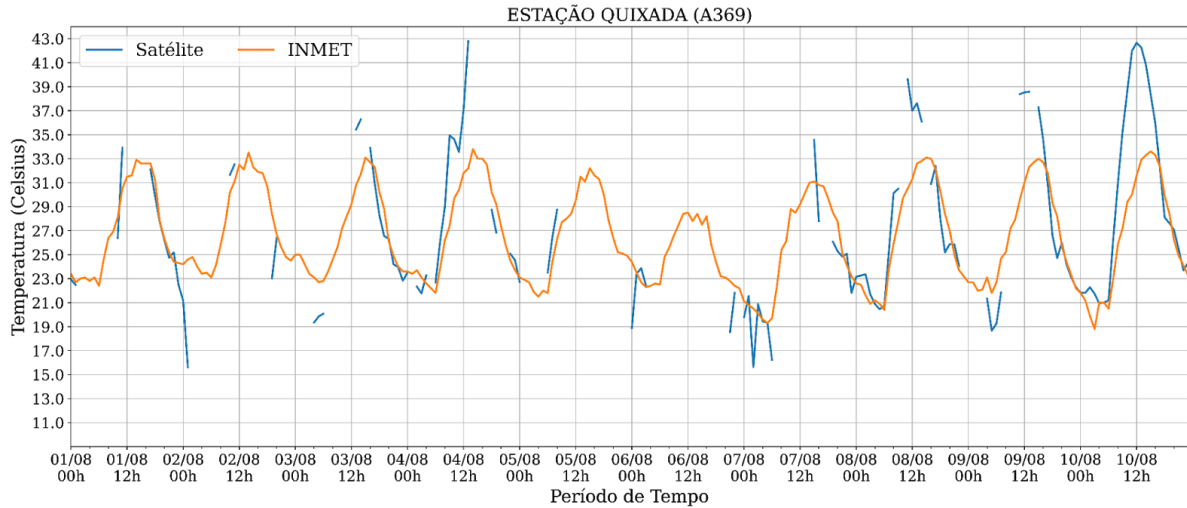
ANEXO A8 - Série temporal entre os dados da Estação Morada Nova (A332) do INMET e os dados do satélite METEOSAT-11 para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



Fonte: Autora (2021).

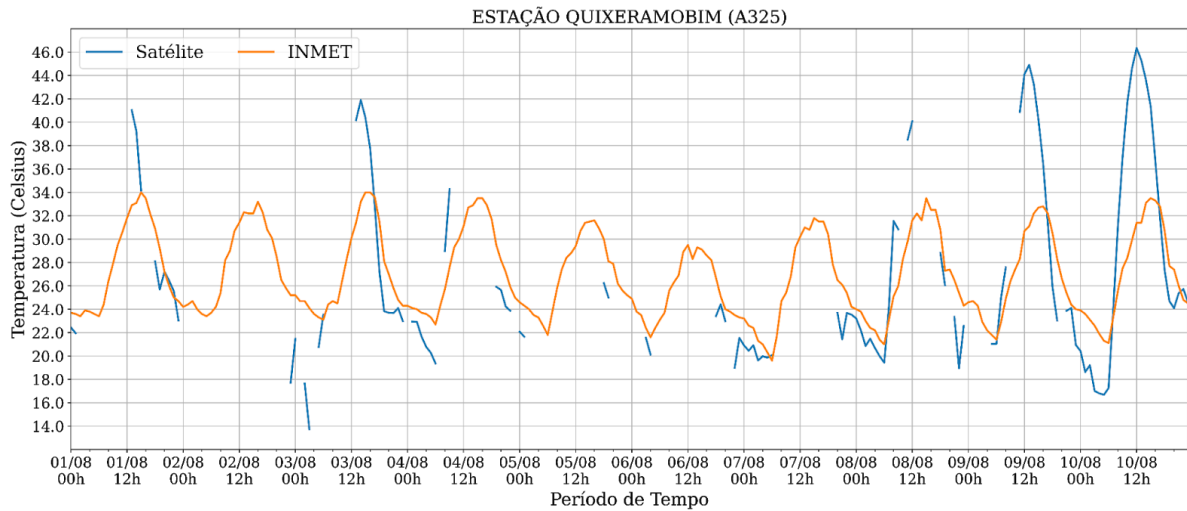


ANEXO A9 - Série temporal entre os dados da Estação Quixadá (A369) do INMET e os dados do satélite METEOSAT-11 para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



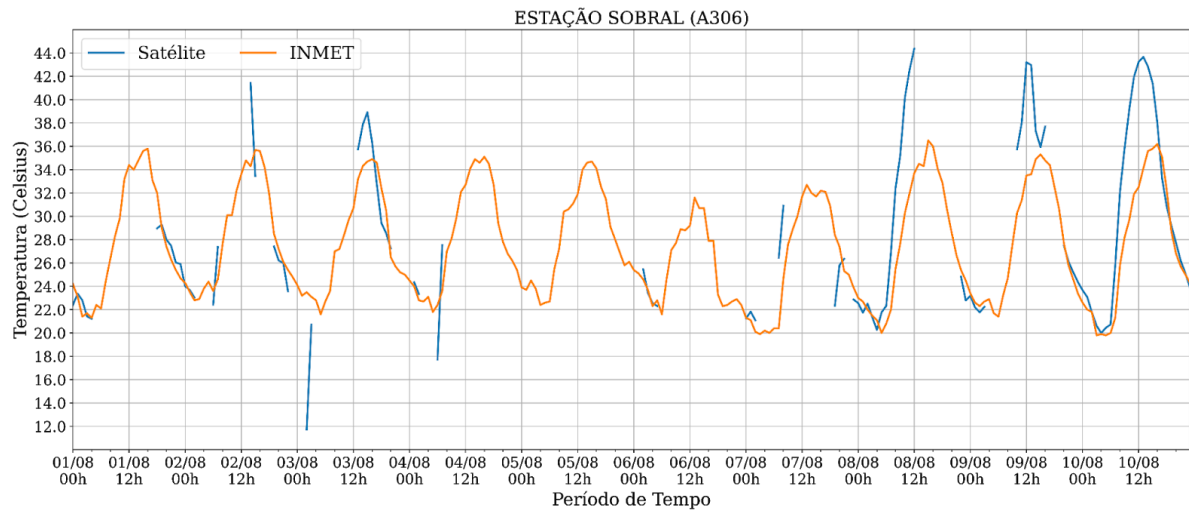
Fonte: Autora (2021).

ANEXO A10 - Série temporal entre os dados da Estação Quixeramobim (A325) do INMET e os dados do satélite METEOSAT-11 para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



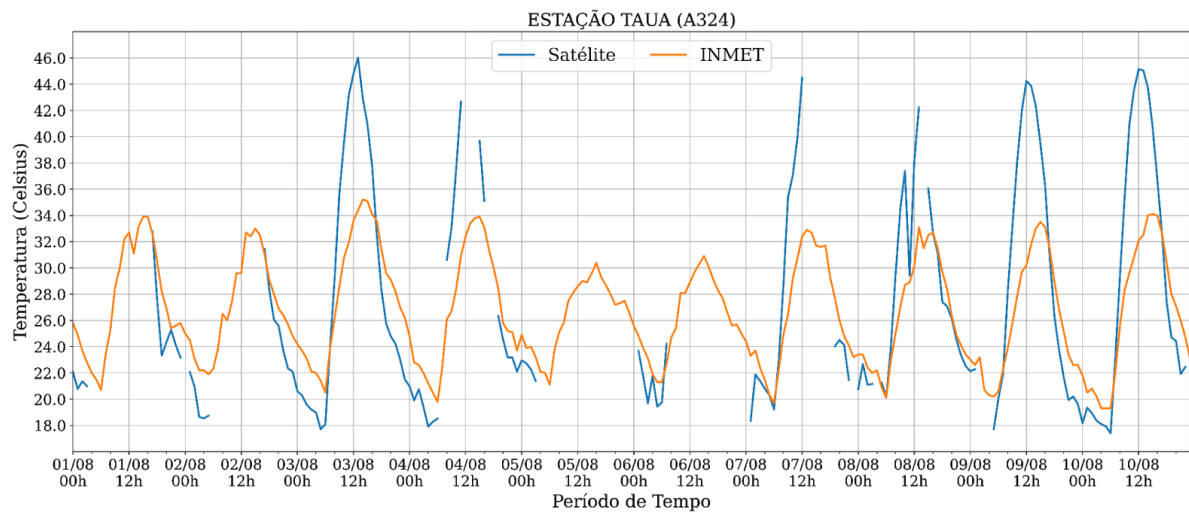
Fonte: Autora (2021).

ANEXO A11 - Série temporal entre os dados da Estação Sobral (A306) do INMET e os dados do satélite METEOSAT-11 para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



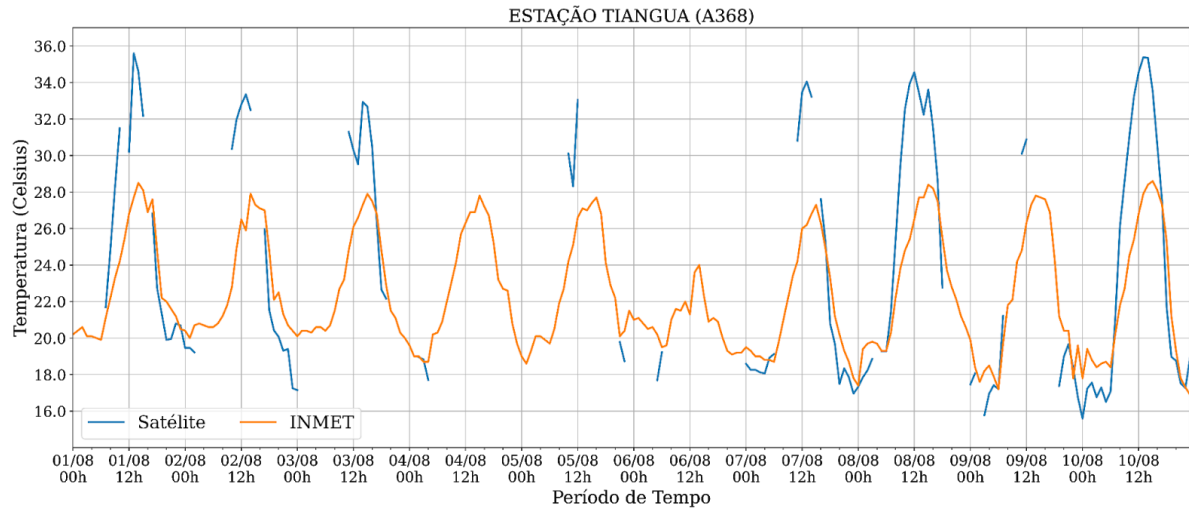
Fonte: Autora (2021).

ANEXO A12 - Série temporal entre os dados da Estação Tauá (A324) do INMET e os dados do satélite METEOSAT-11 para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



Fonte: Autora (2021).

ANEXO A13 - Série temporal entre os dados da Estação Tianguá (A368) do INMET e os dados do satélite METEOSAT-11 para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.

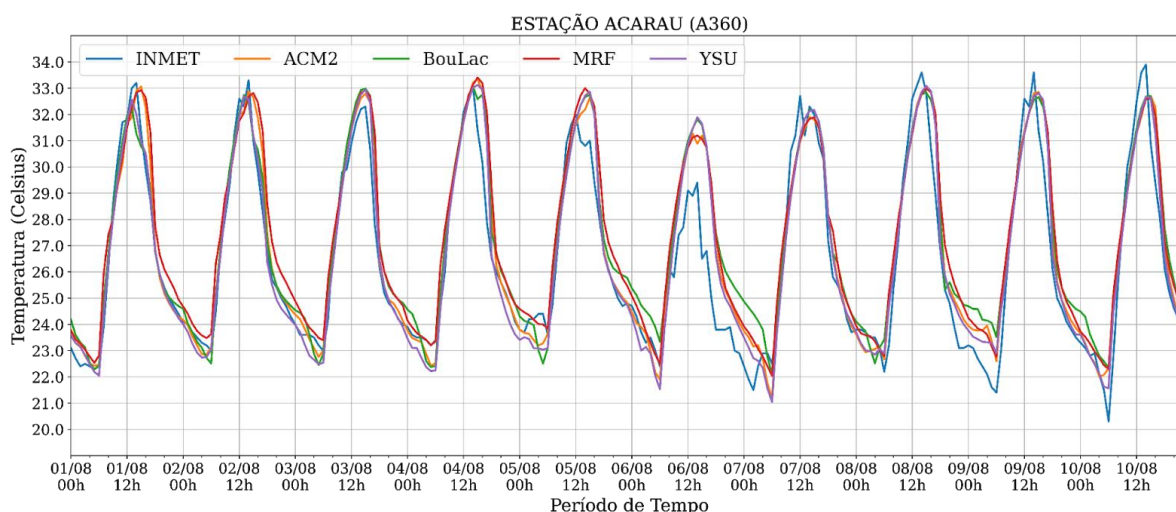


Fonte: Autora (2021).

## APÊNDICE B

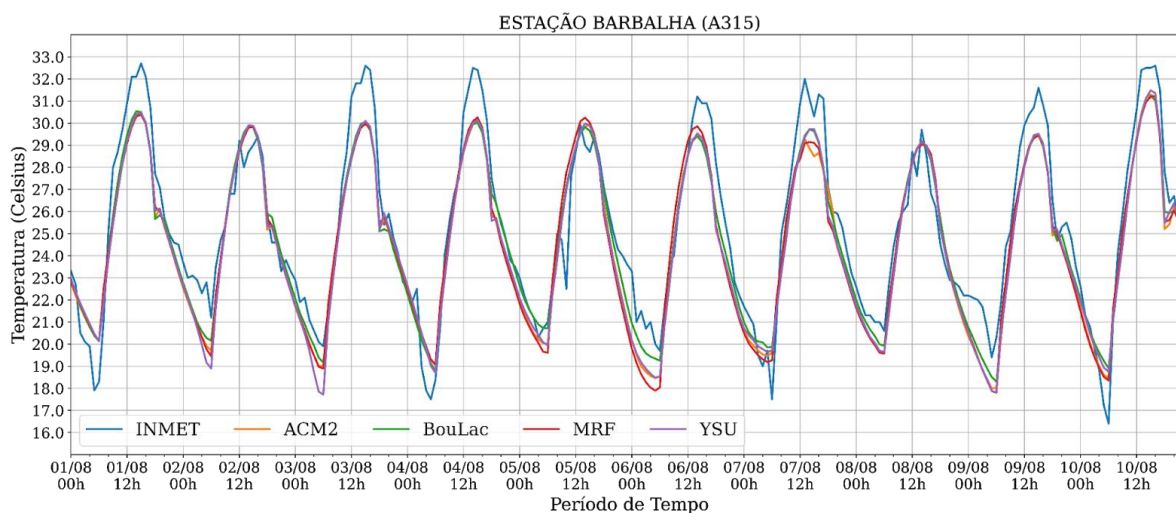
### GRÁFICOS DAS SÉRIES TEMPORAIS ENTRE OS DADOS DA ESTAÇÃO DO INMET E OS DADOS DO MODELO WRF

ANEXO B1 - Gráficos da temperatura calculada entre os dados da Estação Acaraú (A360) do INMET e os dados dos experimentos do modelo WRF, utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



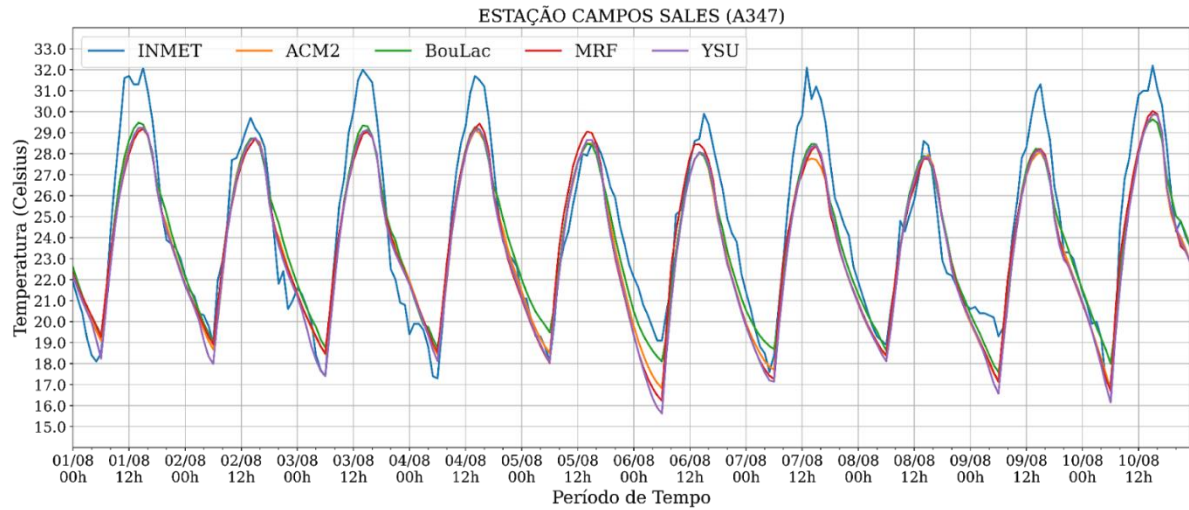
Fonte: Autora (2021).

ANEXO B2 - Gráficos da temperatura calculada entre os dados da Estação Barbalha (A315) do INMET e os dados dos experimentos do modelo WRF, utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



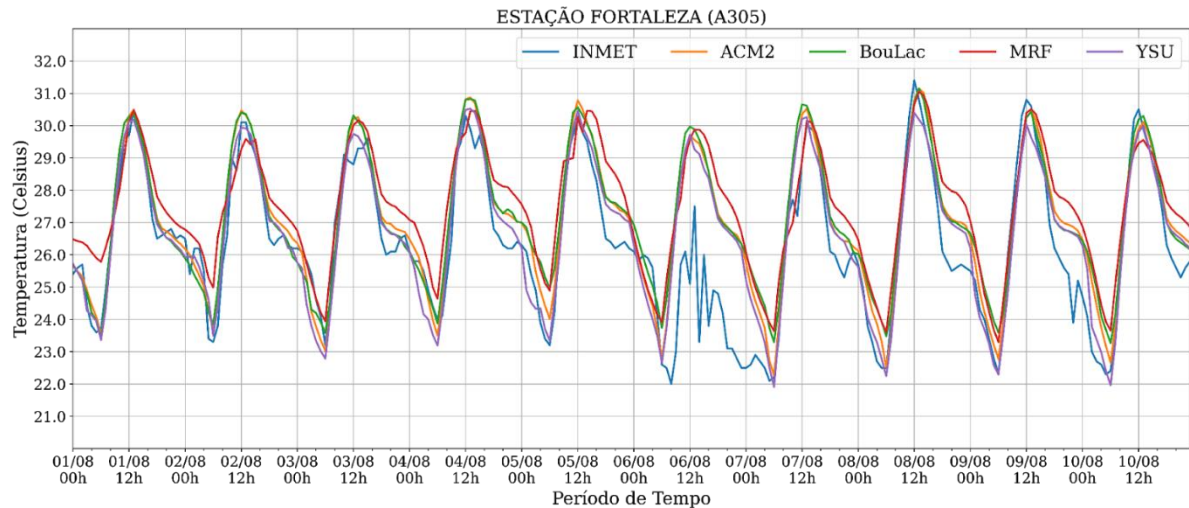
Fonte: Autora (2021).

ANEXO B3 - Gráficos da temperatura calculada entre os dados da Estação Campos Sales (A347) do INMET e os dados dos experimentos do modelo WRF, utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



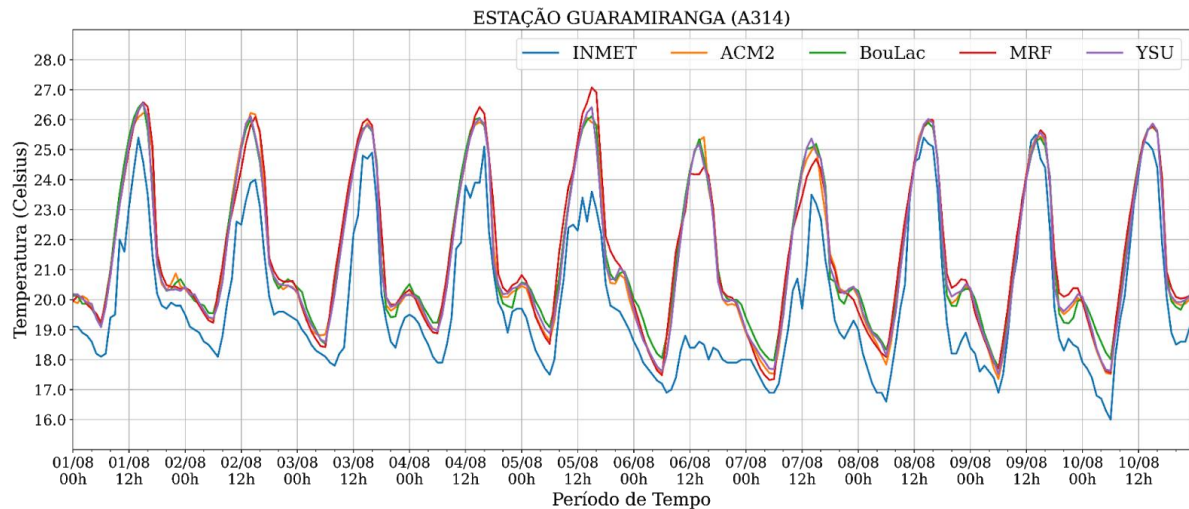
Fonte: Autora (2021).

ANEXO B4 - Gráficos da temperatura calculada entre os dados da Estação Fortaleza (A305) do INMET e os dados dos experimentos do modelo WRF, utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



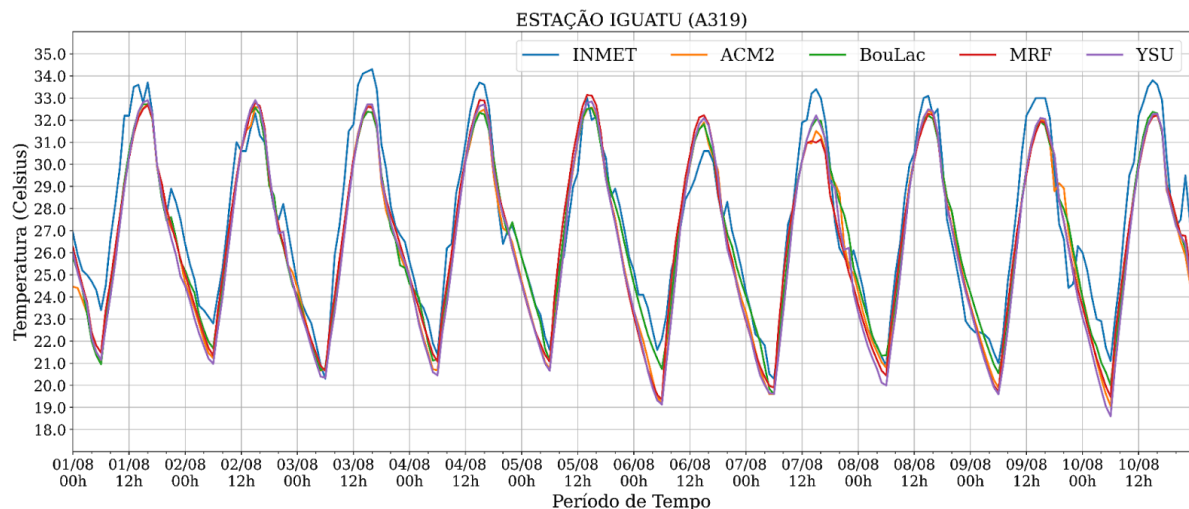
Fonte: Autora (2021).

ANEXO B5 - Gráficos da temperatura calculada entre os dados da Estação Guaramiranga (A314) do INMET e os dados dos experimentos do modelo WRF, utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



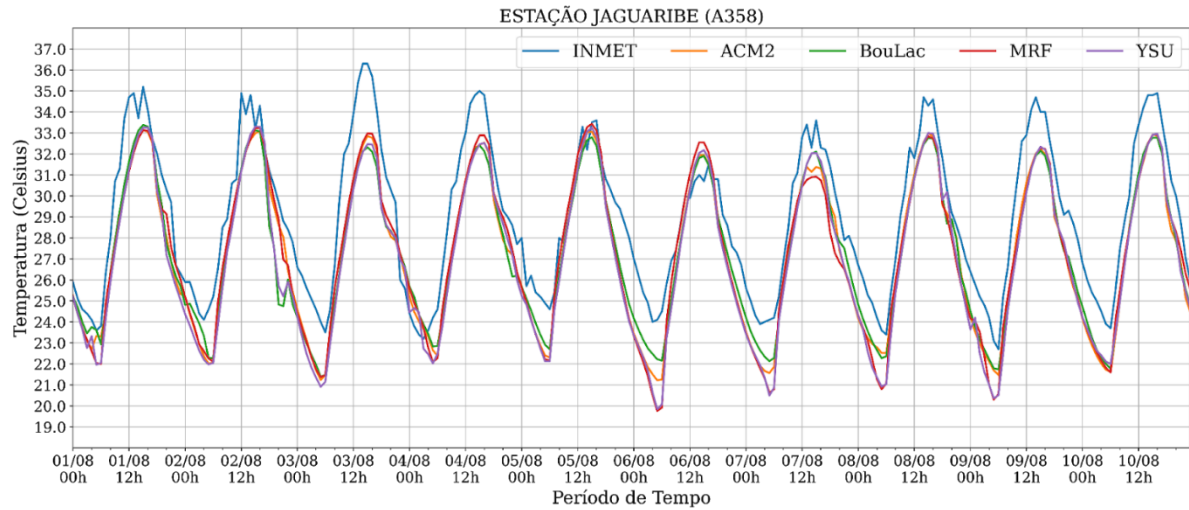
Fonte: Autora (2021).

ANEXO B6 - Gráficos da temperatura calculada entre os dados da Estação Iguatú (A319) do INMET e os dados dos experimentos do modelo WRF, utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



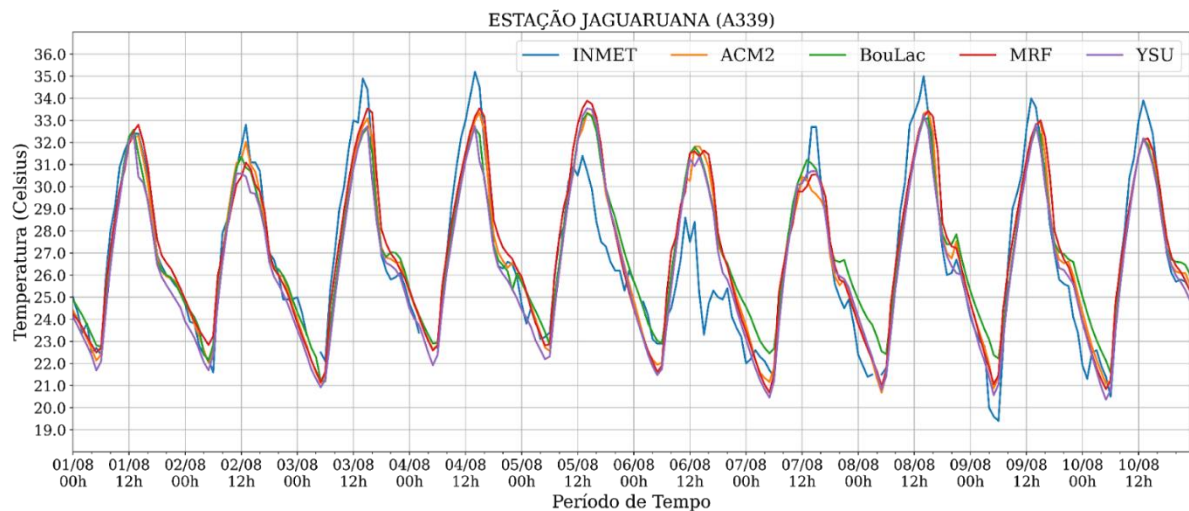
Fonte: Autora (2021).

ANEXO B7 - Gráficos da temperatura calculada entre os dados da Estação Jaguaribe (A358) do INMET e os dados dos experimentos do modelo WRF, utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



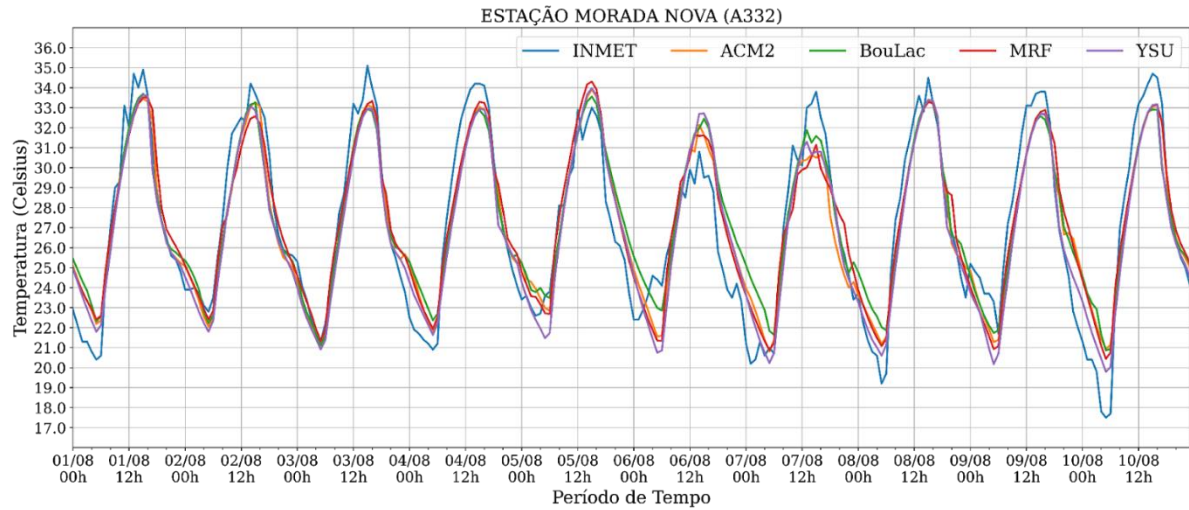
Fonte: Autora (2021).

ANEXO B8 - Gráficos da temperatura calculada entre os dados da Estação Jaguaruana (A339) do INMET e os dados dos experimentos do modelo WRF, utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



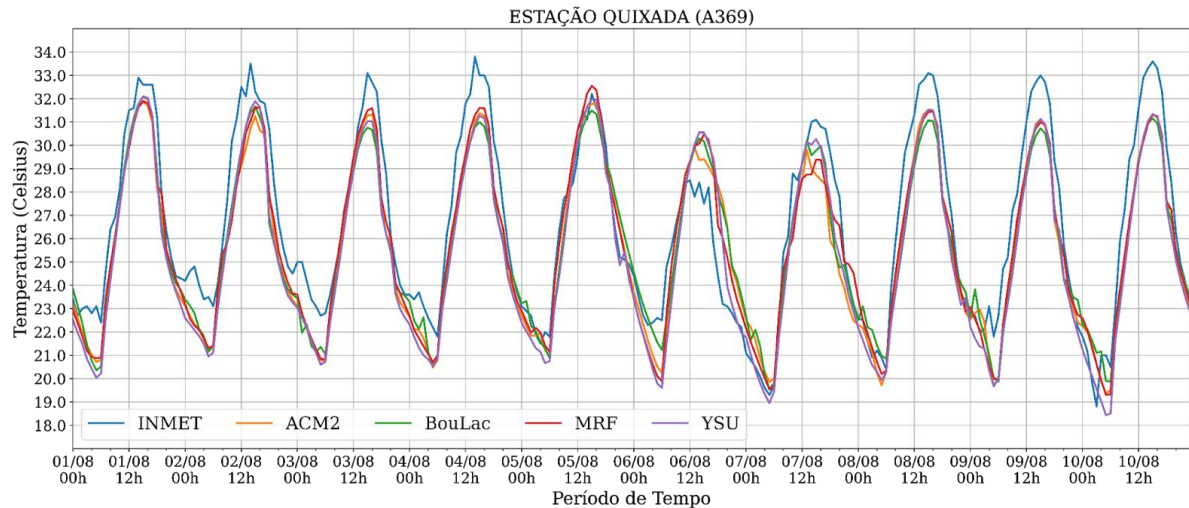
Fonte: Autora (2021).

ANEXO B9 - Gráficos da temperatura calculada entre os dados da Estação Morada Nova (A332) do INMET e os dados dos experimentos do modelo WRF, utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



Fonte: Autora (2021).

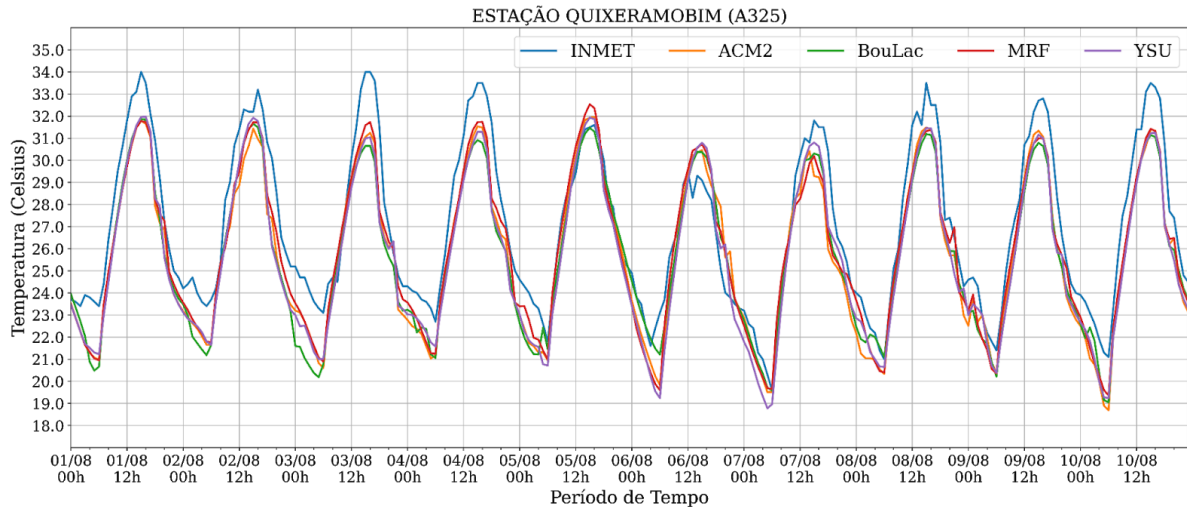
ANEXO B10 - Gráficos da temperatura calculada entre os dados da Estação Quixadá (A369) do INMET e os dados dos experimentos do modelo WRF, utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



Fonte: Autora (2021).

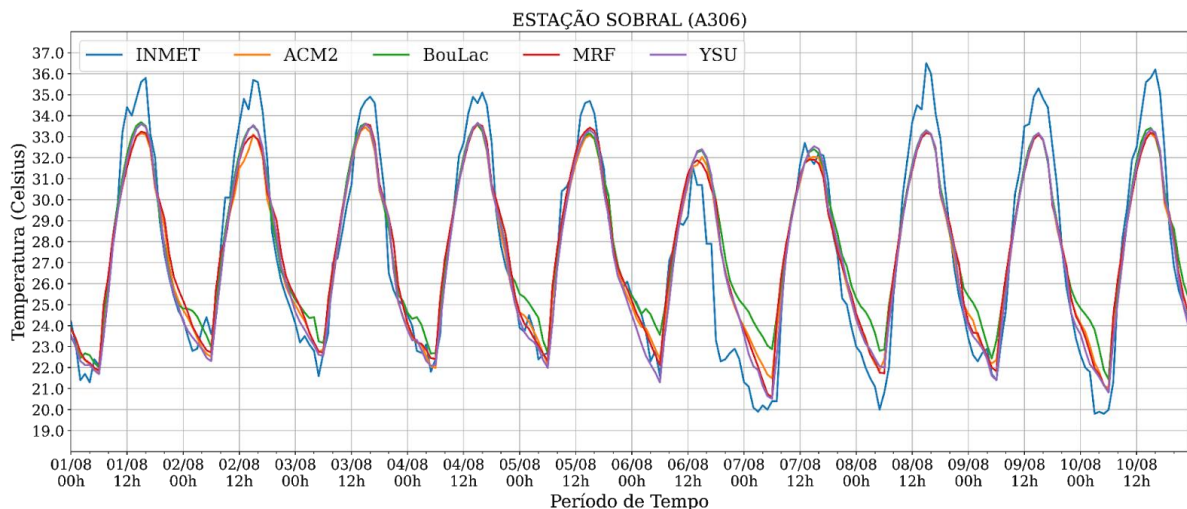


ANEXO B11 - Gráficos da temperatura calculada entre os dados da Estação Quixeramobim (A325) do INMET e os dados dos experimentos do modelo WRF, utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



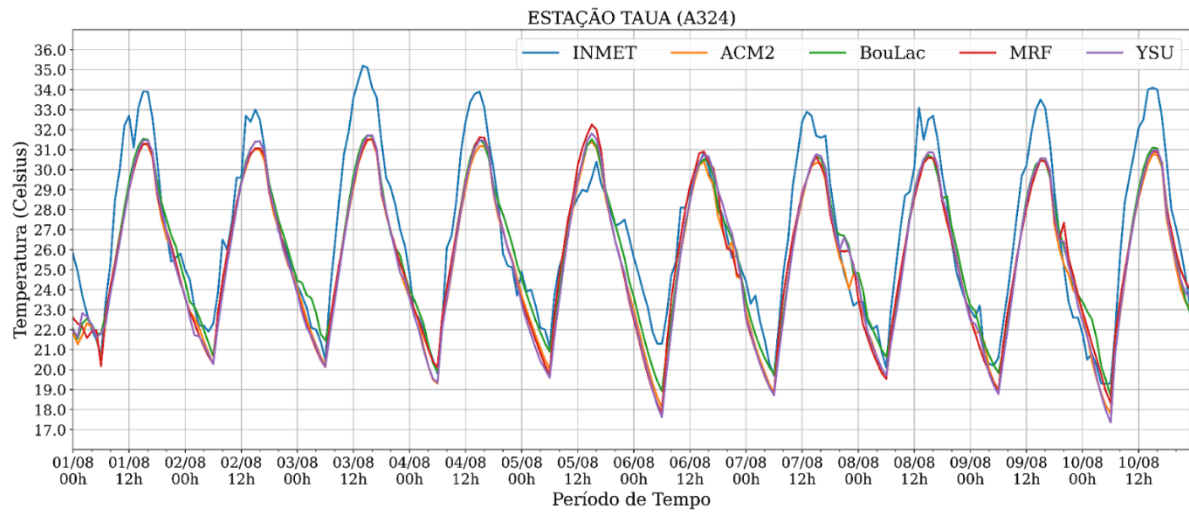
Fonte: Autora (2021).

ANEXO B12 - Gráficos da temperatura calculada entre os dados da Estação Sobral (A306) do INMET e os dados dos experimentos do modelo WRF, utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



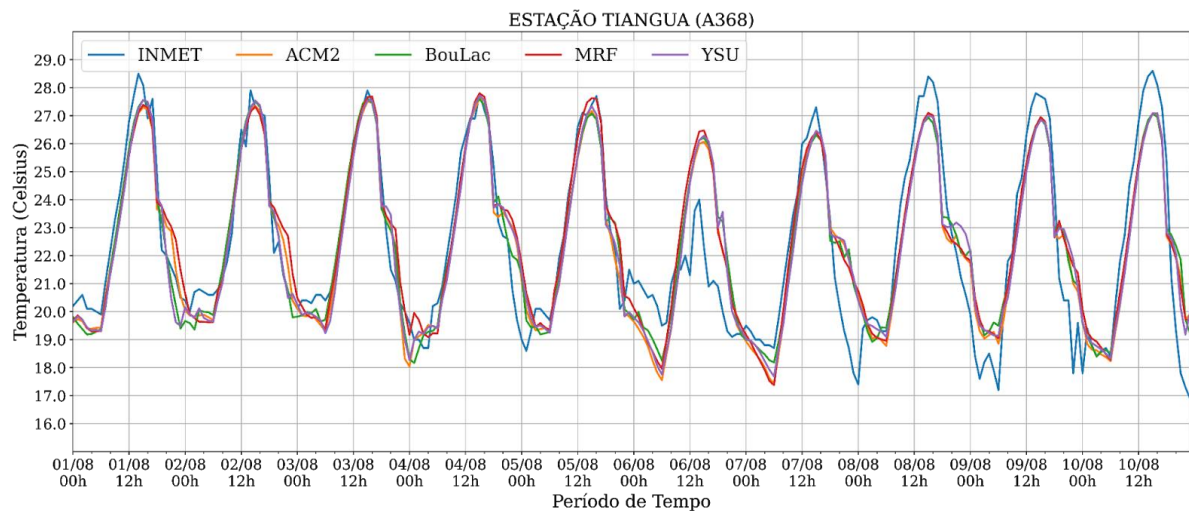
Fonte: Autora (2021).

ANEXO B13 - Gráficos da temperatura calculada entre os dados da Estação Tauá (A324) do INMET e os dados dos experimentos do modelo WRF, utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



Fonte: Autora (2021).

ANEXO B14 - Gráficos da temperatura calculada entre os dados da Estação Tianguá (A368) do INMET e os dados dos experimentos do modelo WRF, utilizando quatro parametrizações de CLP diferentes (ACM2, BouLac, MRF, YSU), para o período de 01 de agosto até 10 de agosto de 2019.



Fonte: Autora (2021).