



UNIVERSIDADE FEDERAL
DE ALAGOAS

UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
CURSO DE GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

RAYANE LILIAN SANTOS DE MACENA

**PREVISÃO DA TEMPERATURA MÁXIMA: ANÁLISE DE DOIS MODELOS DE
PREVISÃO ATRAVÉS DE DADOS DE RADIOSSONDAGEM.**

MACEIÓ

2024

RAYANE LILIAN SANTOS DE MACENA

**PREVISÃO DA TEMPERATURA MÁXIMA: ANÁLISE DE DOIS MODELOS DE
PREVISÃO ATRAVÉS DE DADOS DE RADIOSSONDAGEM.**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
ao Instituto de Ciências Atmosféricas da
Universidade Federal de Alagoas, para a
obtenção do Grau de Bacharel em Meteorologia.

Orientador: Prof. Dr. Natalia Fedorova

MACEIÓ

2024

Catlogação na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Girlaine da Silva Santos – CRB-4 – 1127

M141p Macena, Rayane Lilian Santos de.

Previsão da temperatura máxima: análise de dois modelos de previsão através de dados de radiossondagem. / Rayane Lilian Santos de Macena. – 2024.

81 f. : il. color.

Orientadora: Natalia Fedorova.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2024.

Bibliografia: f. 77-81.

1. Temperatura atmosférica. 2. Previsão do tempo. 3. Temperatura atmosférica – parâmetros estatístico.
I. Título.

AGRADECIMENTOS

- Agradeço, em primeiro lugar, a Deus, cuja força e capacitação foram essenciais para concluir esta trajetória acadêmica.
- Em segundo, a minha família, minha profunda gratidão por todo apoio e incentivo. Em especial, agradeço à minha irmã Laura, cuja presença, encorajamento e suporte foram fundamentais durante este processo.
- Ao meu companheiro, Paulo Mendes, agradeço por seu apoio, ajuda e paciência ouvindo minhas inúmeras reclamações e discussões sobre assuntos relacionados ao tema.
- À minha orientadora, Natalia Fedorova, a minha sincera gratidão pela orientação perspicaz, paciência e sabedoria compartilhada ao longo deste projeto.
- Ao meu amigo Mário Henrique e minha amiga Gliciane Pereira, agradeço pelas risadas, pelo suporte emocional que tornaram esta caminhada mais leve.
- A todos os professores que, de alguma forma, contribuíram para o meu aprendizado, expresse minha gratidão. Suas aulas, conselhos e conhecimentos foram pilares fundamentais para meu desenvolvimento acadêmico.

RESUMO

A temperatura desempenha um importante papel em processos fisiológicos de animais e plantas, em especial para alguns setores como planejamento agrícola e adaptação de culturas em diferentes regiões. A previsão correta da temperatura máxima (T_{max}) tem papel fundamental para previsão de todos os fenômenos meteorológicos adversos. O objetivo principal é avaliar dois modelos de previsão T_{max} a partir da utilização dos dados de radiossondagem e criar as recomendações para melhorar estas previsões. Foram avaliados dois modelos de previsão através do uso de parâmetros estatísticos e sob a perspectiva sinótica para a cidade de Natal – Rio Grande no Norte, para dados diários obtidos as 00 UTC e 12 UTC, nos anos de 2019 e 2020. O método 1 utilizada a equação da ligação a temperatura prevista e temperatura no topo da camada limite. Pelo método 2, a temperatura prevista pode ser calculada através de um diagrama termodinâmico Skew-T. A validação dos dados foi feita por meio de parâmetros estatísticos como viés, erro quadrático médio, raiz do erro quadrático médio, coeficiente de Pearson e coeficiente de determinação. Para os seis casos analisados com os maiores erros de previsão, foi feita a análise sinótica detalhada por meio de imagens de satélite, linhas de correntes e perfil termodinâmico. Os resultados mostraram dois problemas que criaram os erros: 1) erros na identificação e previsão de nebulosidade e 2) existência das camadas de inversão intensas. Observa-se que os erros de previsão de nebulosidade foram associados com acoplamentos de sistemas sinóticas, tais como a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Zonas frontais e Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN). Foram propostas as soluções para estes problemas.

Palavras-chaves: temperatura máxima, previsão, parâmetros estatísticos.

ABSTRACT

The temperature plays a crucial role in the physiological processes of animals and plants, particularly in sectors such as agricultural planning and adaptation of crops in different regions. Accurate prediction of maximum temperature (T_{max}) is essential for forecasting all adverse meteorological phenomena. The main objective is to evaluate two forecasting models using radiosonde data and provide recommendations for improving these forecasts. Two forecasting models were evaluated using statistical parameters and a synoptic analysis for the Natal – Rio Grande do Norte, based on daily data obtained at 00 UTC and 12 UTC for the years 2019 and 2020. Method 1 uses an equation that relates the predicted temperature to the temperature at the top of the boundary layer. In Method 2, the predicted temperature can be calculated using the Skew-T thermodynamic diagram. Data validation was carried out using statistical parameters such as bias, mean square error, root mean square error, Pearson coefficient, and determination coefficient. For the six analyzed cases with the highest prediction errors, a detailed synoptic analysis was conducted using satellite images, streamlines, and thermodynamic profiles. The results revealed two problems contributing to errors: 1) errors in the identification and forecasting of cloudiness, and 2) the presence of intense inversion layers. It was observed that cloudiness prediction errors were associated with synoptic system couplings, such as Intertropical Convergence Zone, South Atlantic Convergence Zone, frontal zones, and Upper Tropospheric Cyclonic Vortex. Solutions to these problems were proposed.

Keywords: maximum temperature, prediction, statistical parameters.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1- Área de estudo, Natal - Rio Grande do Norte	24
Figura 2-Perfil termodinâmico para o dia 14 de fevereiro de 2019, a fim de exemplificar o método 1	27
Figura 3- Perfil termodinâmico para 04 de maio de 2019, a fim de exemplificar o método 2 onde a temperatura máxima prevista de 30°C	28
Figura 4- Diferença de temperatura para o método 1 a) em 2019; b) em 2020	34
Figura 5- Diferença de temperatura para o método 2 a) em 2019; b) em 2020	35
Figura 6- Dispersão sazonal da temperatura máxima prevista e da temperatura máxima observada para as estações do ano: a) verão, b) outono, c) inverno e d) primavera. As temperaturas estão em °C.	36
Figura 7- Dispersão sazonal da temperatura máxima prevista e da temperatura máxima observada para as estações do ano: a) verão, b) outono, c) inverno e d) primavera. As temperaturas estão em °C.	38
Figura 8- Dispersão sazonal da temperatura máxima prevista e da temperatura máxima observada para as estações do ano: a) verão, b) outono, c) inverno e d) primavera. As temperaturas estão em °C.	39
Figura 9- Dispersão sazonal da temperatura máxima prevista e da temperatura máxima observada para as estações do ano: a) verão, b) outono, c) inverno e d) primavera. As temperaturas estão em °C.	40
Figura 10-Comportamento das temperaturas previstas em comparação a normal climatológica de Natal-RN para os anos de 2019 e 2020.	42
Figura 11- A figura apresenta a) Diagrama termodinâmico skew-T, b) imagem de satélite e c) onde estão contidas; a) pressão e espessura em 1000 hPa, linhas de correntes em b) 925 hPa, c) 850, hPa, d) 700 hPa e) 500 hPa e) 250 hPa.	49
Figura 12- a figura apresenta a) Diagrama termodinâmico skew-T, b) imagem de satélite e c) onde estão contidas; a) pressão e espessura em 1000 hPa, linhas de correntes em b) 925 hPa, c) 850, hPa, d) 700 hPa e) 500 hPa e)250 hPa	52
Figura 13- A figura apresenta a) Diagrama termodinâmico skew-T, b) imagem de satélite e c) onde estão contidas; a) pressão e espessura em 1000 hPa, linhas de correntes em b) 925 hPa, c) 850, hPa, d) 700 hPa e) 500 hPa e)250 hPa	57

Figura 14- A figura apresenta a) Diagrama termodinâmico skew-T, b) imagem de satélite e c) onde estão contidas; a) pressão e espessura em 1000 hPa, linhas de correntes em b) 925 hPa, c) 850, hPa, d) 700 hPa e) 500 hPa e)250 hPa**60**

Figura 15- A figura apresenta a) Diagrama termodinâmico skew-T, b) imagem de satélite e c) onde estão contidas; a) pressão e espessura em 1000 hPa, linhas de correntes em b) 925 hPa, c) 850, hPa, d) 700 hPa e) 500 hPa e)250 hPa**65**

Figura 16- A figura apresenta a) Diagrama termodinâmico skew-T, b) imagem de satélite e c) onde estão contidas; a) pressão e espessura em 1000 hPa, linhas de correntes em b) 925 hPa, c) 850, hPa, d) 700 hPa e) 500 hPa e)250 hPa.**69**

Figura 17- Diagrama termodinâmico para o dia 23 de junho de 2020: a) cálculo da Tmax pelo método 2. B) cálculo da Tmax da base de inversão de subsidência**74**

LISTA DE TABELAS

Tabela 1- A altura (h_d , hPa) da camada de taxa de variação adiabática seca (Hmax) para cada mês em relação à cobertura de nuvens e nível de nuvens. Fonte: Fedorova et al., 1999, 2005, 2017, 2023.....	25
Tabela 2 - Ocorrência de casos ocorrência de casos de acordo com a diferença entre a temperatura prevista e a temperatura observada.....	33
Tabela 3- Viés estatístico- Viés da temperatura máxima prevista, calculada para cada estação do ano em 2019 e 2020.....	43
Tabela 4- Erro Médio Quadrático e Raiz do Erro Quadrático Médio da temperatura máxima prevista calculada para cada estação do ano em 2019 e 2020.	44
Tabela 5- Coeficiente de Correlação de Pearson (r) e Coeficiente de Determinação (r^2) da temperatura máxima prevista calculados para cada estação do ano em 2019 e 2020.	45
Tabela 6- Número de casos com temperatura observada e prevista pelo Ske0w-T graduação de escala em ($^{\circ}\text{C}$) para o método 1 em a) 2019 e b) 2020 e para o método 2 em c) 2019 e d) 2020.	46
Tabela 7- Porcentagem de casos em relação a temperatura observada é maior, menor, no intervalo próximo, ou, igual a prevista e os demais casos onde a temperatura prevista ultrapassa 2°C em relação a observada.....	48

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AC	Altocumulus
AMO	Oscilação Multidecadal do Atlântico
ASAS	Sistema de Alta Subtropical do Atlântico Sul
ATS	Atlântico Tropical Sul
Cb	Cumulunimbus
CCM	Complexos Convectivos de Mesoescala
C	Cirrustratus
Cu hum	Cumulus humilis
DOVA	Distúrbios Ondulatórios dos Ventos Alísios
ENSO	El Niño Oscilação Sul
EQM	Erro Médio Quadrático
JBN	Jato de Baixos Níveis
NEB	Nordeste Brasileiro
POA	Perturbação ondulatória dos Alísios
r	Coefficiente de Correlação de Pearson
r ²	Coefficiente de determinação
REQM	Raiz do Erro Quadrático Médio
T	Temperatura
Td	Temperatura do Ponto de Orvalho
Tmax	temperatura máxima
TNA	Tropical Atlântico Norte
TSA	Tropical Atlântico Sul
VCAN	Vórtice de Ciclone de Altos níveis
ZCAS	Zona de convergência do Atlântico Sul
ZCIT	Zona de Convergência Intertropical

SUMÁRIO

Sumário

1.Introdução	14
1.1.Objetivos	15
2 Revisão bibliográfica	16
2.1 Temperatura do Ar	16
2.2 Sistemas atmosféricos que atuam no clima do Nordeste do Brasil (NEB).....	17
2.3 Climatologia de Natal – Rio Grande do Norte	18
2.4 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).....	18
2.5 Zonas Frontais	19
2.6 Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN).....	21
2.7 Perturbação Ondulatória dos Alísios (POA).....	22
3.Materiais e métodos	23
3.1 Área de estudo.....	23
3.2 Dados para cálculo de Tmax	24
3.3 Métodos de cálculo da temperatura máxima	24
3.4 Os dados para estudo dos casos.....	28
3.5 Validade dos métodos.....	29
4 Resultados	32
4.1 Diferença entre temperatura máxima prevista e temperatura máxima observada	32
4.2 DISPERSÃO SAZONAL	35
4.3 NORMAL CLIMATOLÓGICA	42
4.4 ESTÁTISTICA	43
5. Análise de casos	48
5.1. 1º CASO: 31 DE MARÇO DE 2019, método 1.....	48
5.2 2º CASO: 06 DE MARÇO DE 2020, MÉTODO 1	52

5.3 3° CASO: 25 DE JANEIRO DE 2019, MÉTODO 2.....	56
5.4 4° CASO: 23 DE JUNHO DE 2020, MÉTODO	60
5.5 5° CASO: 11 DE MARÇO DE 2019, MÉTODO 2- MENOR TEMPERATURA PREVISTA	64
5.6 6° CASO: 25 DE NOVEMBRO DE 2019, MÉTODO 2 (temperatura dentro da diferença esperada)	68
5.7 As propostas para solusao de erros de previsao de Tmax	73
5.7.1- Erros na identificação de quantidade e tipos de nuvens.....	73
5.7.2 - Inversão de subsidência intensa em baixos níveis	73
6. Conclusão	75
7- Referências	77

1.Introdução

Sendo um dos elementos climáticos que possui maiores efeitos diretos e significativos em diversos processos fisiológicos que ocorrem em animais e plantas, seu conhecimento é fundamental para diversas áreas como o planejamento agrícola e em análises de adaptação de cultura em determinadas localidades que possuem características distintas, portanto, o conhecimento da temperatura do ar, é de interesse não apenas para os meteorologistas, mas também para a sociedade em geral (Medeiros et al., 2005).

Nas últimas décadas vem aumentando o interesse da comunidade científica sobre a variabilidade climática, as quais provocam mudanças nas variáveis climatológicas como a precipitação pluvial, temperatura do ar, vento, radiação solar, dentre outras. Como resultado da sua modificação, os impactos ambientais em decorrência da mudança do clima podem ser observados com a diminuição da camada de gelo nos Polos, aumento do nível do mar, além de eventos extremos como secas e chuvas e as mudanças no regime pluvial (Marengo; Valverde, 2007).

Diversos estudos sobre a previsão da temperatura foram realizados ao longo dos anos, é o caso do estudo de Paniagua-Tineo et al. (2011), onde realiza a previsão da temperatura máxima diária através de um algoritmo de regressão vetorial, demonstrando que a técnica pode ser aplicada para melhorias em previsões de algoritmos do tipo neural. É possível encontrar ainda estudos como o de Fernandes et al (2018), onde procuram estimar a temperatura através da geoestatística utilizando modelo digital de elevação, para regiões que não possuem dados de temperatura do ar disponíveis. Onde foram obtidos resultados satisfatórios de modo que a temperatura estimada foi coerente com a variação sazonal da região.

Por causa da maior incidência de energia solar a temperatura, assim como o índice térmico, pluviométrico e evaporativo, geralmente é superior nas regiões tropicais em relação a outras regiões do globo. No Nordeste do Brasil, por apresentar uma distribuição irregular de precipitação, acaba favorecendo que a energia disponível seja utilizada para aquecer o ar em algumas épocas do ano, o que salienta a importância do conhecimento da temperatura máxima para a região (Fernandes et al., 2018).

Em regiões onde as informações sobre as temperaturas, ou variável em questão, são escassas ou inexistentes, há a necessidade do uso de correlações para que através destes se estabeleça uma forma de estimar a temperatura na região (Fernandes et al., 2018).

É importante destacar que a temperatura máxima é a principal variável para a previsão de instabilidade atmosférica exercendo, conseqüentemente, influência a previsão de todos os fenômenos meteorológicos adversos

1.1.Objetivos

Objetivos

Avaliar dois modelos de previsão da temperatura máxima através da utilização dos dados de radiossondagem, realizar uma comparação com os dados observados na estação meteorológica e entre os modelos, onde um consiste em uma análise objetiva e o outro análise operacional

Específicos

- Verificar o grau de assertividade dos métodos utilizados
- Identificar padrões, tendências relacionadas à temperatura máxima
- Comparar de desempenho de cada modelo

2 Revisão bibliográfica

2.1 Temperatura do Ar

Sendo um dos elementos climáticos que possui maiores efeitos diretos e significativos em diversos processos fisiológicos que ocorrem em animais e plantas, seu conhecimento é fundamental para diversas áreas como o planejamento agrícola e em análises de adaptação de cultura em determinadas localidades que possuem características distintas, portanto, o conhecimento da temperatura do ar, é de interesse não apenas para os meteorologistas, mas também para a sociedade em geral (Medeiros et al., 2005).

Nas últimas décadas vem aumentando o interesse da comunidade científica sobre a variabilidade climática, as quais provocam mudanças nas variáveis climatológicas como a precipitação pluvial, temperatura do ar, vento, radiação solar, dentre outras. Como resultado da sua modificação, os impactos ambientais em decorrência da mudança do clima podem ser observados com a diminuição da camada de gelo nos Polos, aumento do nível do mar, além de eventos extremos como secas e chuvas e as mudanças no regime pluvial (Marengo; Valverde, 2007).

A radiação solar, uma vez atenuada, principalmente pelos gases presentes na atmosfera, alcança a superfície terrestre. Essa radiação pode ser mensurada ou estimada por meio de variáveis meteorológicas, geográficas e astronômicas (Sacco; Assis, 2004).

Onde sua distribuição irá depender da latitude, época do ano e condições atmosféricas, Devido a forma da Terra, esférica porem ligeiramente achatada nos polos, os raios solares incidem com maior intensidade em locais próximos ao equador e decaem em direção ao polos, desse modo espera-se que a temperatura aumente conforme aumenta a latitude (Santos, 2010).

Comparada as regiões polares, as regiões tropicais recebem três vezes mais radiação solar. As regiões equatoriais, devido a distribuição da nebulosidade, recebem mais do que a metade de radiação solar se comparada a quantidade recebida em desertos quentes e secos da Terra. a radiação solar recebida na superfície, em latitudes medias nubladas é somente um terço da que se encontra nos desertos (Reis 2005).

A inclinação solar, representada pelo ângulo entre os raios solares e a tangente à superfície no ponto de observação, é um dos principais fatores que determina a quantidade de energia solar recebida. Portanto, quanto mais perpendicular, maior será a intensidade dos raios de luz (Júnior et. Al., 2005).

A variação térmica é influenciada pela continentalidade, resultando em diferentes temperaturas ao longo das estações. Em regiões próximas a oceanos ou extensos corpos d'água, como em regiões no interior do continente, a continentalidade modera as temperaturas, impedindo picos elevados no verão e mínimas muito reduzidas no inverno (Santos, 2010).

Além da declinação solar, latitude e continentalidade, a altura também possui influência no comportamento da temperatura, resultando no gradiente vertical de temperatura. O gradiente de térmico irá depender da saturação do ar, onde a temperatura média possui uma diminuição em torno de 1°C para cada 180m para o ar úmido (Dutry, 1972). Nos trópicos quando ocorre uma grande diferença de temperatura em pequenas distâncias se deve ao fato da variação de altitude e nebulosidade e não da latitude, de modo que pode existir grande diferença nas condições de temperatura entre os locais a barla vento e os a sotavento de uma montanha (Fritzsons et. al., 2008)

2.2 Sistemas atmosféricos que atuam no clima do Nordeste do Brasil (NEB)

Sendo a região brasileira com maior número de estados, a região nordeste é composta por nove estados, são eles Alagoas, Bahia, Ceará, Maranhão, Paraíba, Piauí, Pernambuco, Rio Grande do Norte e Sergipe

O Nordeste do Brasil é influenciado por vários sistemas atmosféricos importantes que influenciam seu clima. Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), Zona Frontal, Perturbações Ondulatória dos Alísios (POA), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Vórtice Ciclônicos de Altos níveis (VCAN). Fenômenos de grande escala, como o El Niño Oscilação Sul (ENSO) e a Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO), influenciam a posição e a força da ZCIT, que por sua vez influencia o clima do Nordeste. As complexas interações desses sistemas moldam, em última análise, as condições climáticas de uma região.

2.3 Climatologia de Natal – Rio Grande do Norte

O estado do Rio Grande do Norte, localizado no nordeste do Brasil, é caracterizado por uma variedade de características climáticas e geográficas. Segundo Costa et al. (2021), a capital Natal possui clima tropical, com estação chuvosa e estação seca bem definidas. A presença proeminente do bioma Caatinga na região destaca-se como um ecossistema singular e biodiverso, desempenhando um papel fundamental na sustentabilidade de empreendimentos agrícolas no estado, conforme apontam Francelino et al. (2003) e Araújo & Caram (2006).

Além disso, a urbanização e a ocupação de áreas naturais ao longo das zonas costeiras exercem influência significativa no clima local. Esse fenômeno ocorre devido às modificações impostas pelas áreas urbanas, as quais podem alterar substancialmente as condições climáticas regionais (Amorim et al., 2019). Essa interação complexa entre características naturais, ecossistemas locais e atividades humanas destaca a necessidade de compreender a dinâmica climática na região, considerando tanto os elementos naturais quanto os impactos antropogênicos.

2.4 Zona de Convergência Intertropical (ZCIT)

Considerada parte essencial da circulação geral da atmosfera, a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é um dos principais sistemas meteorológicos que atuam nos trópicos. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) constitui uma faixa de fortes chuvas que circunda quase todo o planeta perto da linha do Equador (Byrne et al., 2018). É caracterizada pela convergência dos ventos alísios dos hemisférios Norte e Sul, resultando em uma estreita área de intensa atividade convectiva e grandes precipitações (Wang et al., 2023).

A posição e intensidade da ZCIT são influenciadas por diversos fenômenos climáticos, incluindo os índices Tropical Atlântico Sul (TSA) e Tropical Atlântico Norte (TNA). Esses índices estão associados a mudanças anômalas na localização da ZCIT (Carpenedo., 2018). Alterações nas temperaturas da superfície marítima e nas correntes de ar associadas a esses fenômenos climáticos podem provocar variações

na posição e intensidade da ZCIT, exercendo impacto nos padrões regionais de precipitação (Song & Zhang, 2019).

A influência da ZCIT na ocorrência de ciclones e anticiclones nas proximidades tem sido objeto de investigação através de modelagem numérica, proporcionando uma compreensão dos processos atmosféricos interconectados na região, como evidenciado por Mingalev et al. (2019).

A posição e a largura da ZCIT são também influenciadas por fenômenos climáticos de grande escala, como o El Niño-Oscilação Sul (ENSO) e a Oscilação Multidecadal do Atlântico (AMO), conforme abordado por Reboita & Santos (2015) e Levine et al. (2018).

No contexto brasileiro, a ZCIT desempenha um papel significativo na determinação do clima e dos padrões de precipitação do país. Essa influência é particularmente notável nas regiões Norte e Nordeste do Brasil, onde está associada à ocorrência de atividade convectiva intensa e chuvas expressivas, conforme destacado por Martins et al. (2020).

2.5 Zonas Frontais

A criação de zonas frontais ocorre quando duas massas de ar originárias de regiões diferentes e, portanto, com características distintas, se aproximam, criando uma área de transição caracterizada por acentuados gradientes horizontais de temperatura e umidade (Kousky e Elias, 1982). Essa transição pode variar de abrupta, devido a intensas diferenças de densidade, a gradual, dependendo das condições específicas.

As zonas frontais, sistemas sinóticos de grande escala, exercem uma influência significativa sobre a América do Sul, sendo mais comumente observadas entre as latitudes de 40o e 35oS (Kousky, 1979; Reboita et al., 2010). Demonstrando atividade ao longo de todo o ano, essas zonas frontais podem estender até latitudes tropicais, exibindo considerável intensidade (Lemos; Calbete, 1996).

No nordeste do Brasil, as frentes apresentam poucas diferenças de temperatura, mas continuam ativas devido às grandes variações de umidade (Veber, 2011).

Estudos realizados por Silva e Molion (2002) sobre eventos de chuva intensa na costa leste do Nordeste revelaram que, além dos efeitos ruins causados pela entrada de sistemas frontais em latitudes próximas ao Equador, esses sistemas desempenham um papel importante na geração das Perturbações nos Ventos Alísios.

A localização das zonas frontais sobre o Nordeste pode ser feita através da análise dos campos de linhas de fluxo, altura geopotencial e pressão no nível médio do mar (Cavalcanti; Kousky, 2009).

Durante o inverno no Hemisfério Sul, esses sistemas tornam-se mais rápidos e fortes, alcançando latitudes tropicais e até próximas ao Equador (Fedorova; Levit; Cruz, 2015).

Nas regiões tropicais, as zonas frontais podem ser identificadas por meio de determinadas características, como níveis de gradientes mais intensos, onde em baixos níveis apresentam um fraco gradiente de temperatura e pressão e intenso gradiente de convecção; frequência com que ocorrem; variação sazonal, onde durante o verão e a primavera não há ligação entre a periferia da frente fria e a ZCIT, porém no outono é possível observar a existência dessa ligação com frequência; (Fedorova; Levit, 2023).

A zona baroclínica, apresenta baroclinia mais fraca em baixos níveis e intensa em médios níveis; nebulosidade na periferia frontal sobre o continente, onde há nebulosidade de convecção, como Cumulonimbus (Cb) e Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM), e ainda nuvens estratiformes; precipitação e fenômenos na periferia da frente fria, onde pode ocorrer intensa precipitação, nevoeiro e trovoadas (Fedorova; Levit, 2023)

Nas regiões extratropicais as zonas frontais podem ser identificadas através do cavado de ciclones baroclínicos, confluência de linhas de correntes em baixos níveis até 850 hPa e por meio do alto gradiente de temperatura no nível da superfície e na

camada da zona frontal através de mapas de temperatura em 100 hPa, mapas de espessura em 1000 – 500 hPa e advecção térmica em 925 e 850. Onde a zona frontal é localizada entre as áreas que possuem advecção fria e quente (Petterssen, 1956; Bluestein, 1993; Smith et al., 1995; Djuric, 1994; Fedorova, 1999, 2008b, c; Fedorova & Carvalho, 2000; Simmonds et al., 2012; Fedorova et al., 2016).

2.6 Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN)

Os centros de baixa pressão que se formam na alta troposfera que possuem o ar frio em seu centro e predomina os movimentos subsidentes, são denominados Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs) (Frank, 1970). Os VCANs também são conhecidos como baixa fria que se formam na alta troposfera, que apresentam o centro mais frio do que a periferia (Kousky; Gan, 1981)

Sua circulação possui um núcleo com movimentos descendentes e temperaturas mais baixas, por outro lado, sua periferia apresenta convecção, temperaturas mais altas e nebulosidade (Molion; Bernardo, 2002).

Ricks (1959) classifica os VCANs em sistemas secos, quando o VCAN possui um centro frio e seco e sem nebulosidade, e úmidos, onde o centro do VCAN pode apresentar elevados valores de umidade e movimentos ascendentes.

Com tempo de vida em torno de 4 a 11 dias os VCANs, podem ser estacionários ou de deslocamento, que por sua vez move-se preferencialmente para o oeste (Ramirez et al., 1999; Morais, 2016).

Os VCANs que possuem origem tropical ocorrem no oceano Atlântico Sul Tropical e no Nordeste brasileiro (NEB), em especial no verão, pois é nesta época do ano que o desenvolvimento da Alta da Bolívia (AB) acompanhada de um cavado que favorece a formação dos VCANs (Reboita et. Al., 2017). Segundo estudo de dois casos de Kousky e Gan (1981), verificaram que no NEB a nebulosidade está mais concentrada na periferia oeste do VCAN.

Os VCANs podem ser identificados por meio de imagens de satélites, tanto nos canais de vapor d'água (WV) quanto no infravermelho (IR), onde os padrões das imagens de satélite dependerão dos sistemas a ele associados. E em casos onde há a associação de sistemas frontais (SF), observa-se um padrão de nuvens no formato S enquanto o sistema frontal se move sobre o Brasil. Quando os VCANs estão

associados a alta da Bolívia (AB) e ao FS, ocorre a formação de um padrão de nebulosidade no formato de um Y (Fedorova; Brito, 2023).

Segundo Fedorova (2008), ocorre casos em que os padrões de nuvens não possuem nenhum dos padrões mencionados, S ou Y, desse modo os eventos não podem ser identificados pela nebulosidade, como é o caso dos VCANs secos (Fedorova; Brito, 2023).

2.7 Perturbação Ondulatória dos Alísios (POA)

No contexto dos Ventos Alísios, as Perturbações Ondulatórias (POAs) surgem como distúrbios resultantes da convergência dos ventos associados às extremidades de Sistemas Frontais com os ventos alísios. À medida que essas POAs se aproximam das áreas costeiras, promovem uma expressiva nebulosidade devido à convergência do fluxo de umidade e ao contraste de temperatura entre o oceano e o continente (Lyra et. Al., 2020).

A origem das POAs também está relacionada a uma atividade acima da média da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), propiciando a formação de extensos complexos convectivos. Esses complexos apresentam rajadas descendentes e envolvem massas de ar com características termodinâmicas distintas, comportando-se como mini-sistemas frontais que geram novas células e perturbam os alísios (Molion, 1987).

Embora as POAs ocorram praticamente ao longo de todo o ano, suas características e comprimento de onda variam dependendo do período de propagação e do tipo de formação (Andrade, 2007).

As Perturbações Ondulatórias dos Alísios (POAs) possuem um papel fundamental na influência do clima e na ocorrência de chuvas em diversas regiões, incluindo o leste do Nordeste do Brasil (NEB) (Tanajura et al., 2010). Esses fenômenos têm sido associados à formação de sistemas convectivos de mesoescala e à ocorrência de chuvas intensas em várias áreas do NEB (Silva et al., 2011; Reboita et al., 2016). Estudos adicionais ressaltam a conexão das POAs com a circulação de brisas e a geração de nebulosidade sobre o continente (Fetter et al., 2018).

Em estudo recente, denominado como Distúrbios Ondulatórios dos Ventos Alísios (DOVA), estabeleceu alguns critérios para sua identificação sobre o oceano

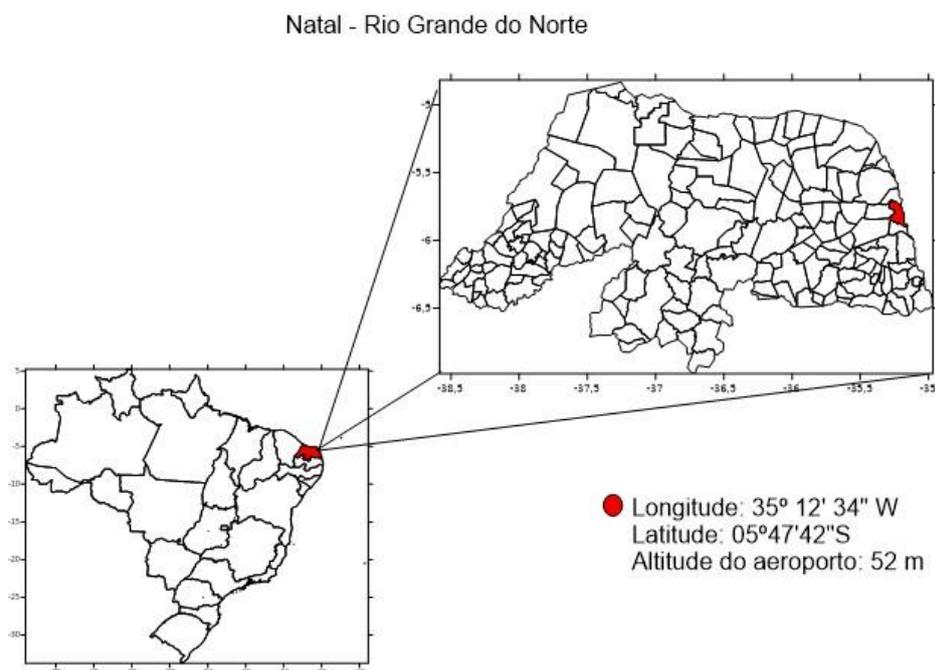
Atlântico Tropical Sul (ATS). Sua identificação pode ser feita através dos seguintes critérios: 1) Por meio das imagens de satélite, localizar a nebulosidade que se propaga ao longo dos ventos alísios (fluxo leste) sobre o ATS, com a presença ou não de convecção profunda; 2) deve-se identificar, através das linhas de correntes, um cavado sinótico em baixos níveis propagando-se para o oeste ou que possua movimento praticamente estacionário, vale observar que o mesmo não precisa ser encontrado em todos os níveis ao mesmo tempo. 3) Pode ser de ajuda ainda procurar um mínimo de vorticidade relativa ciclônica ou mínimo de convergência ao longo do cavado no fluxo leste. (Pontes da Silva; Fedorova; 2023).

3. Materiais e métodos

3.1 Área de estudo

A área de estudo compreende a capital de Natal - Rio Grande do Norte, situada no Nordeste, de latitude: 05°47'42"S e longitude: 35° 12' 34" W, entre o período de 1 de janeiro de 2019 e 31 de dezembro de 2020. De maneira que se observe a atuação de diversos sistemas meteorológicos que influenciam o tempo na região. A cidade de Natal foi escolhida devido à escassez de dados de radiossondagem no Nordeste do Brasil, a cidade mostrou uma boa quantidade de registro de dados, se comparada a outras cidades, como Recife – PE e Salvador – BA, onde a quantidade de dados disponíveis não eram consistentes, pois em alguns meses existiam dados apenas para alguns dias e em outros não haviam dados para o mês inteiro.

Figura 1- Área de estudo, Natal - Rio Grande do Norte



Fonte: Fonte do autor

3.2 Dados para cálculo de Tmax

Para cálculo de Tmax foi utilizando perfil vertical de T e Td obtido pelos dados de Radiossonda de Natal através do Wyoming Weather <https://weather.uwyo.edu/upperair/sounding.html>

Os dados de Tmax e nebulosidade foram obtidos através dos dados do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET e da estação meteorológica do aeroporto de Natal associada ao IEM, disponíveis nos sites: <https://portal.inmet.gov.br/> e <https://mesonet.agron.iastate.edu/ASOS/>, respectivamente.

Os campos de temperatura, temperatura do ponto de orvalho, pressão ao nível médio do mar, componentes u e v, obtidos através do Era5, Copernicus Climate Change Service (<https://cds.climate.copernicus.eu/>),

3.3 Métodos de cálculo da temperatura máxima

A temperatura máxima foi calculada utilizando dois métodos, um utilizando a fórmula para obtenção de Tmax (Método 1) e outro utilizando análise de perfil vertical (Método 2).

O método 1, para calcular a temperatura máxima do ar próximo à superfície se baseia na relação entre essa temperatura e a temperatura do ar no topo da camada limite (Fedorova, et. al., 1999, 2005, 2017, Fedorova & Levit 2023). Durante o dia, no momento em que a temperatura máxima é observada, ocorre a formação de uma camada de ar com gradiente vertical de temperatura adiabática seca (Pettersen, 1956). Se houver informações no topo da camada, a temperatura máxima (Tmax) pode ser calculada usando a seguinte fórmula:

Equação 1 - Equação para cálculo da temperatura máxima prevista

$$TMAX = Th + \gamma_d h_d$$

em que

- γ_d é o gradiente vertical de temperatura adiabática seca.
- h_d é a altura da camada com gradiente adiabático seco.
- Th é a temperatura no topo da camada

Os dados sobre a altura dessa camada são apresentados na tabela 1.

Tabela 1 - A altura (h_d , hPa) da camada de taxa de variação adiabática seca (Hmax) para cada mês em relação à cobertura de nuvens e nível de nuvens. Fonte: Fedorova et al., 1999, 2005, 2017, 2023.

Mês	NEBULOSIDADE		
	Sem nuvens ou nuvens altas	Médias nuvens ou nuvens baixas (cobertura >6/10)	Nuvens baixas (cobertura >6/10)
Janeiro	860	850	900
Fevereiro	850	860	890
Março	870	840	900
Abril	880	900	930
Maio	910	920	950
Junho	940	940	960
Julho	900	900	950
Agosto	920	910	940

Setembro	890	870	940
Outubro	870	940	920
Novembro	830	910	850
Dezembro	860	930	920

Exemplo:

O perfil termodinâmico apresenta instabilidade atmosférica na superfície entre 1000 hPa e 980 hPa, com uma pequena inversão de subsidência ainda no nível 980 hPa, seguida por uma camada de estabilidade e isoterma. A partir de 800 hPa o índice CAPE torna-se positivo estendendo-se até altos níveis, com valor razoavelmente elevado indicando a presença de uma nuvem tipo Cumulonimbus.

Desse modo, através das informações de nebulosidade, temperatura na camada limite e gradiente vertical de temperatura adiabática seca, pode-se calcular a temperatura por meio da fórmula, desse modo:

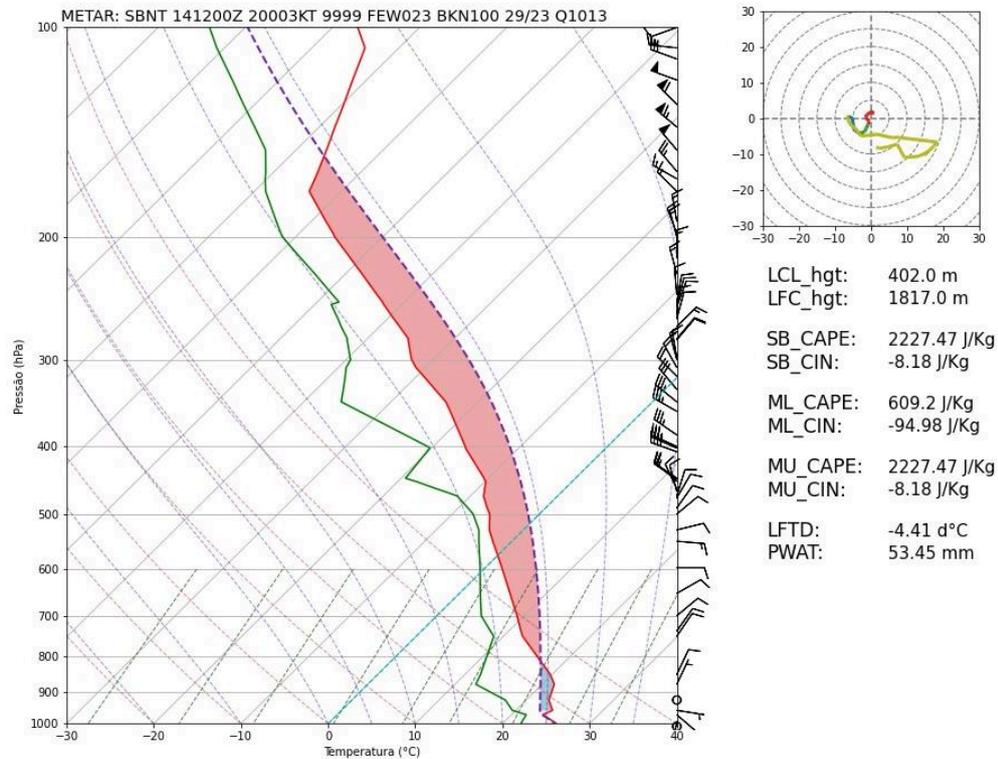
$$T_{Max} = 23 + (0,0098 * 850)$$

$$T_{Max} = 31,3^{\circ}C$$

Vale salientar o modelo apresentou dificuldades para realizar o cálculo da temperatura máxima prevista quando a cobertura de nuvens era acima de 0.6, de modo que ainda que houvesse dados disponíveis o modelo passaria a ignorá-lo e não realizar o cálculo. Assim, pode ter prejudicado os resultados da previsão para este método visto que devido a isto a quantidade de dados pode ter sido reduzida.

Figura 2-Perfil termodinâmico para o dia 14 de fevereiro de 2019, a fim de exemplificar o método 1

Local da radiosondagem: SBNT | Validade: 14/2/2019 - 12UTC
Latitude: -5.91 | Longitude: -35.25 | Elevação: 49.0 m



O método 2

Através dos dados de Pressão, temperatura, temperatura do ponto de orvalho, componentes u e v obtidos pelos dados de radiosondagem foi feita a elaboração do perfil termodinâmico Skew-T.

A partir da Temperatura do Ponto de Orvalho (T_d) nível de 1000 hPa, deve-se traçar uma linha com a inclinação da razão de mistura até que a mesma encontre a linha de temperatura (T), ou seja, encontrar o Nível de Condensação Convectiva (NCC, *Fedorova et al., 2017*). A partir desse ponto deverá descer uma linha seguindo a adiábata seca até o nível de pressão em superfície (*Fedorova et al., 2017, 2023*). A temperatura nesse ponto será a temperatura máxima.

Local da radiosondagem: SBNT | Validade: 4/5/2019 - 12UTC
Latitude: -5.91 | Longitude: -35.25 | Elevação: 49.0 m

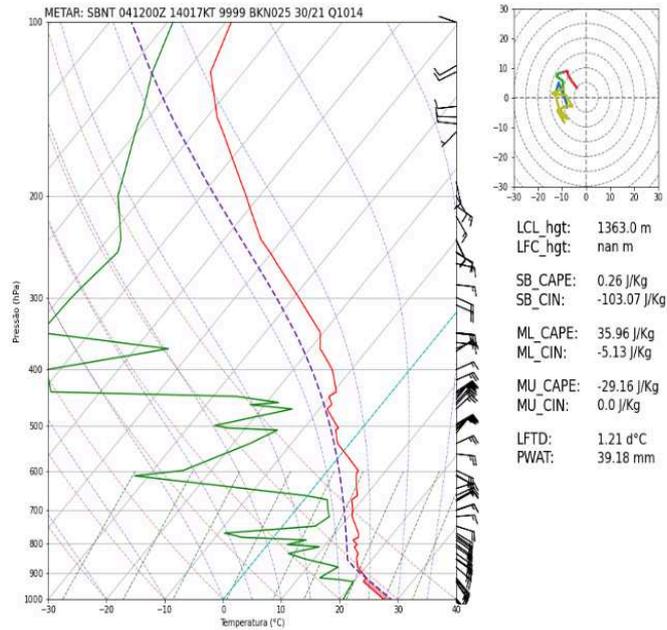
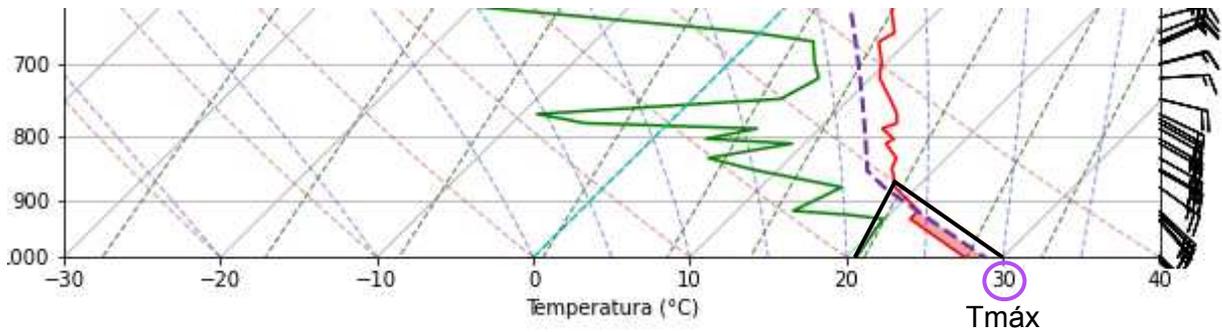


Figura 3- Perfil termodinâmico para 04 de maio de 2019, a fim de exemplificar o método 2 onde a temperatura máxima prevista de 30°C



3.4 Os dados para estudo dos casos

Foram escolhidos seis casos, onde 5 apresentam maiores erros e 1 caso apresenta erro dentro do previsto, os quais foram analisados detalhadamente. Para estes foram utilizados os resultados dos modelos numéricos e imagens de satélite, descritos a seguir.

Dados de satélite

A identificação dos sistemas sinóticos através de imagens de satélite foi realizada com base em composições provenientes dos satélites GOES e METEOSAT

do Global ISCCP B1 Browse System (GIBBS), disponibilizadas pela National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA). Essas composições podem ser acessadas pelo link: <https://www.ncdc.noaa.gov/gibbs>.

Para uma observação mais detalhada de sistemas com escalas temporais e espaciais menores, foram utilizadas imagens adicionais disponíveis no portal da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA), as quais são fornecidas pelo CPTEC/INPE. Essas imagens podem ser encontradas em: <http://satelite.cptec.inpe.br>. Essa abordagem integrada, utilizando dados de diferentes fontes, permitiu uma análise mais abrangente dos sistemas sinóticos em questão.

Dados de modelos

Através do conjunto de dados do ERA5 escolhido para este estudo, denominado “ERA5 hourly data on pressure levels from 1940 to presente disponíveis no site Copernicus Climate Change Service (<https://cds.climate.copernicus.eu/>), para os casos escolhidos, foram feitas as análises dos sistemas sinóticos presentes na região as 00 UTC e 12 UTC dos casos escolhidos para serem analisados.

Foram gerados os mapas de pressão na superfície, de linhas de correntes, para os níveis 925, 850, 700, 500 e 200 hPa, a fim de destacar os padrões e fluxos atmosféricos presentes na região, espessura da camada na camada de 1000 – 500 hPa e total de precipitação para 00 e 12 horas. De modo a proporcionar uma melhor compreensão dos padrões atmosféricos atuantes na região.

3.5 Validade dos métodos

Para apurar a validade dos métodos, foram calculados o Erro Médio Quadrático (EQM), Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM ou RMSE), Coeficiente de Correlação de Pearson (r), Coeficiente de determinação (r^2) e o Viés estatístico.

O Erro Quadrático Médio (EQM)

O Erro Quadrático Médio (EQM) é uma métrica utilizada para avaliar o desempenho de modelos de regressão ou previsão. Onde busca avaliar a média dos quadrados dos erros entre as previsões do modelo e os valores reais dos dados. Quanto menor seu valor, melhor o modelo. Isso ocorre porque o MSE dá um peso maior aos erros maiores, uma vez que eles são elevados ao quadrado. Erros

substanciais contribuem de forma mais significativa para o valor total do MSE, enquanto erros menores têm um impacto relativamente menor. (Santos et al., 2011).

Equação 2 - Erro Quadrático Médio

$$MSE = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Y_i - \hat{Y}_i)^2$$

Onde y_i representa o valor observado, \hat{y}_i o valor previsto, n é o número de dados e Σ representa a soma dos dados

Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM ou RMSE).

A raiz do erro médio quadrático é uma medida de dispersão que indica a tamanho dos erros entre os valores observados e previstos. Obtido a pelas equações:

Equação 3- Raiz do Erro Quadrático Médio

$$RMSE = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_i - \hat{y}_i)^2}$$

E assim como no erro médio quadraticos, y_i representa o valor observado, \hat{y}_i o valor previsto, n o número de dados e Σ representa a soma dos dados.

Coefficiente de Correlação de Pearson(r)

O coeficiente de correlação de Pearson (r), calcula a direção e o grau de relação linear entre duas variáveis quantitativas (Moore et al., 2007). O coeficiente de Pearson pode variar entre -1 e 1, o sinal positivo ou negativo irá indicar a força da relação entre as duas variáveis, porém uma vez que o valor da correlação for zero, demonstra que não há relação entre as variáveis.

Desse modo, é esperado um valor mais próximo de 1, seja ele positivo ou negativo, pois demonstra uma melhor sua correlação e, quanto mais próximo de 0 menor a correlação entre as variáveis. O Coeficiente de Pearson pode ser obtido pela equação:

Equação 4 - Coeficiente de Pearson

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

X_i e Y_i são valores das variáveis X e Y para a i-ésima observação, e \bar{x} e \bar{y} são as médias das variáveis

Coeficiente de determinação

O coeficiente de Determinação (r^2), por sua vez, avalia a qualidade dos ajustes do modelo em relação aos dados observados, de modo geral, demonstra quão bem o modelo se ajusta aos dados. Pode ser obtido através do quadrado do coeficiente de Pearson.

Um valor de r^2 igual a 0 indica que, o modelo não consegue explicar a variabilidade nos dados: r^2 igual a 1 demonstra que o modelo consegue explicar completamente a variabilidade dos dados e um valor de r^2 ente 0 e 1 demonstra que o modelo explica apenas uma parte da variabilidade dos dados, assim, é espera-se que os resultados obtidos sejam iguais ou próximos de 1, pois demonstra melhor o ajuste dos dados no modelo (Ross, 2014)

Viés Estatístico

O viés foi calculado para cada método de previsão de temperatura máxima, em 2019 e 2020, a fim de, demonstrar a tendência consistente dos métodos de previsão em gerar resultados que divergem dos valores reais da temperatura. E assim, ilustrar se as previsões realizadas tendem a ser superestimadas ou subestimadas em relação aos valores reais.

A Presença de valores positivo indicam que as temperaturas das previsões são mais quentes do que as temperaturas reais, por outro lado, se o viés for negativo as temperaturas são mais baixas que as temperaturas reais. Assim os métodos não devem apresentar viés de valores significativos, pois quanto menor o viés mais próximo dos valores reais.

Equação 5 - Viés estatístico

$$Viés = \frac{1}{n} \Sigma(\hat{y} - y_i)$$

Onde: y_i representa o valor observado, \hat{y}_i o valor previsto, n o número de dados e Σ representa a soma dos dados. (Ross, 2014)

4 Resultados

4.1 Diferença entre temperatura máxima prevista e temperatura máxima observada

Por meio da diferença entre a temperatura máxima prevista e temperatura máxima observada, foram elaborados, para os dois métodos, gráficos afins de observar o comportamento da diferença de temperatura ao longo de 2019 e 2020.

Para os dois métodos a maioria dos casos apresentaram uma diferença da temperatura de até 2°C, abaixo ou acima da temperatura observada (tabela 2). Raramente, para o método 1 a diferença máxima de temperatura pode variar entre -5°C e 8 °C, no método 2, essa variação de temperatura ficou entre -9°C e 9 °C.

No método 1, para o ano de 2019 foi identificado o seguinte padrão na diferença entre a temperatura prevista e temperatura observada. Notou-se que em 54 casos a diferença de 2°C acima da temperatura observada, 51 casos apresentaram temperaturas 1°C acima da temperatura observada, e 32 casos registraram uma diferença de -1°C abaixo da observada e em 27 casos, a temperatura prevista foi igual a temperatura observada. Em 2020, houveram 17 casos com diferença temperatura de 2°C, 25 casos com diferença de temperatura de 1°C, 17 casos com diferença de temperatura de -1°C e 19 casos em que a temperatura prevista e a temperatura observada foram iguais.

Quanto ao método 2, em 2019, os resultados mostram que 59 casos apresentaram uma diferença de temperatura de 2°C acima, 96 casos exibiram uma diferença de temperatura de 1°C acima, 93 casos registraram diferença de temperatura de -1°C abaixo, 55 casos apresentaram uma diferença de -2°C abaixo, e

114 casos onde a temperatura prevista foi igual a temperatura observada. No ano seguinte, em 2020, observou-se que 19 casos apresentaram temperaturas com uma diferença de 2°C acima, 24 casos com diferença de temperatura de 1°C acima, 60 casos com diferença de temperatura de -1°C abaixo, 69 casos com diferença de temperatura de -2°C abaixo, e 60 casos onde a temperatura prevista e a temperatura observadas são iguais.

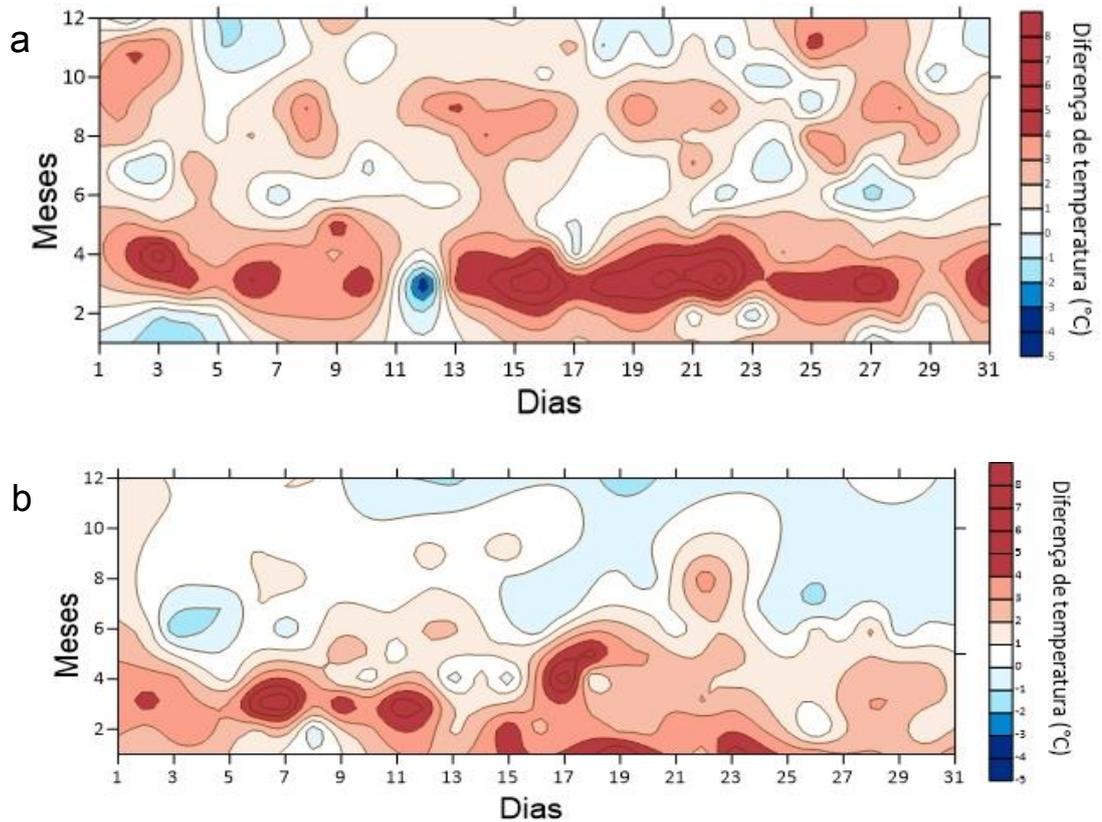
Assim, foi possível observar que a maior parte dos casos a temperatura prevista foi satisfatória, sendo exatas ou ficando numa faixa de até 2°C próxima a temperatura observada.

Tabela 2 - Ocorrência de casos ocorrência de casos de acordo com a diferença entre a temperatura prevista e a temperatura observada.

Diferença de temperatura (°C) (T.prev - T.obs)	Método 1		Método 2	
	Quantidade de casos		Quantidade de casos	
	2019	2020	2019	2020
-2	0	3	55	69
-1	32	17	93	60
0	27	19	114	60
1	51	25	96	24
2	54	17	59	19

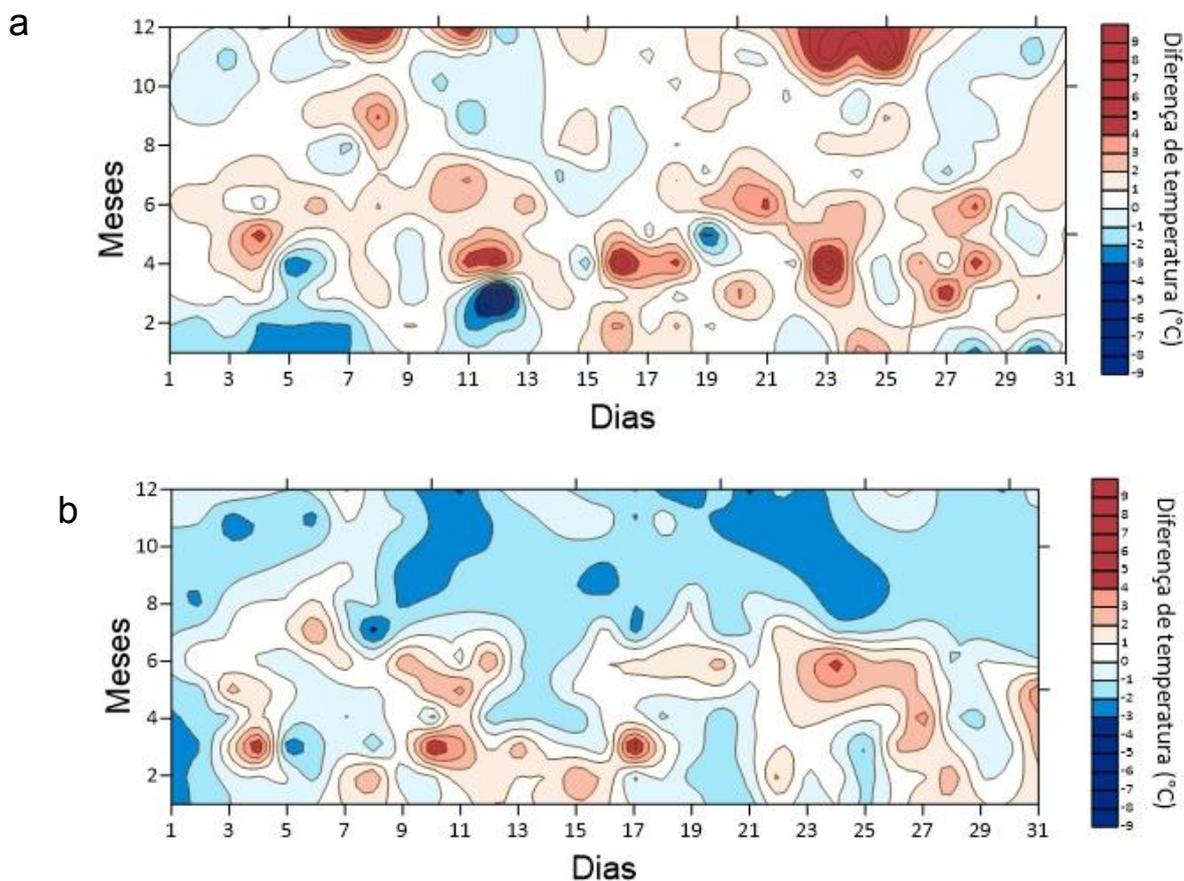
Analisando os gráficos de diferença entre a temperatura prevista e temperatura observadas, notou-se que, para o método 1, em 2019, as maiores diferenças de temperaturas (°C) registradas foram entre os meses de fevereiro e maio, onde as temperaturas são superestimadas alcançando valores de diferença de até 8°C (figura 1a). Em 2020, é possível observar que a temperatura foi ser superestimada entre os meses de janeiro a maio, alcançando uma diferença de até 7°C (figura 1b).

Figura 4- Diferença de temperatura para o método 1 a) em 2019; b) em 2020



Quando analisada a temperatura máxima prevista através do skew-t (método 2), observa-se que o ano de 2019 (figura 2a), também apresentou temperaturas superestimadas alcançando uma diferença de até 9°C, porém, de maneira mais distinta se comparada ao método 1. As temperaturas máximas tenderam a ser subestimada no ano de 2020 (figura 2b), e assim como no método 1, ocorreram entre os meses de maio e dezembro, alcançando valores de até 8°C.

Figura 5- Diferença de temperatura para o método 2 a) em 2019; b) em 2020



De modo geral, a previsão apresentou bons resultados para ambos os métodos, pois observa-se que a maior parte dos casos não possui uma diferença de temperatura discrepante em relação a temperatura observada e, que se mantem dentro do esperado.

4.2 DISPERSÃO SAZONAL

A dispersão sazonal para todas as estações do ano onde são observadas a temperatura máxima prevista através da fórmula e temperatura máxima observada nos dados do INMET, no eixo X encontra-se a temperatura máxima prevista e no eixo Y a temperatura máxima observada, para os dias em que houveram dados disponíveis.

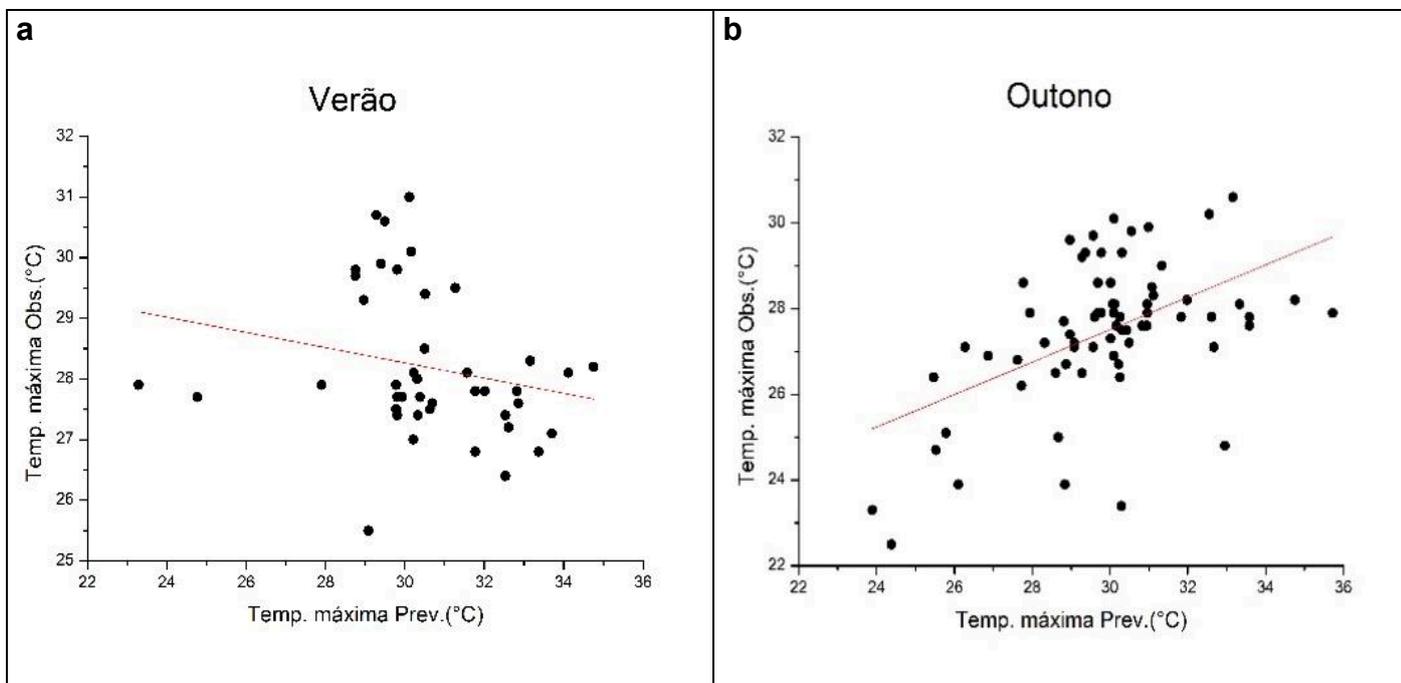
O reflexo dos valores da temperatura máxima prevista é perceptível nos gráficos de dispersão. Ambos os métodos apresentaram desempenho parecidos quantos as dispersões, onde coincidem, tanto para o ano de 2019 quanto para o ano de 2020, os períodos em que a dispersão ocorreu de modo satisfatório e quando foram

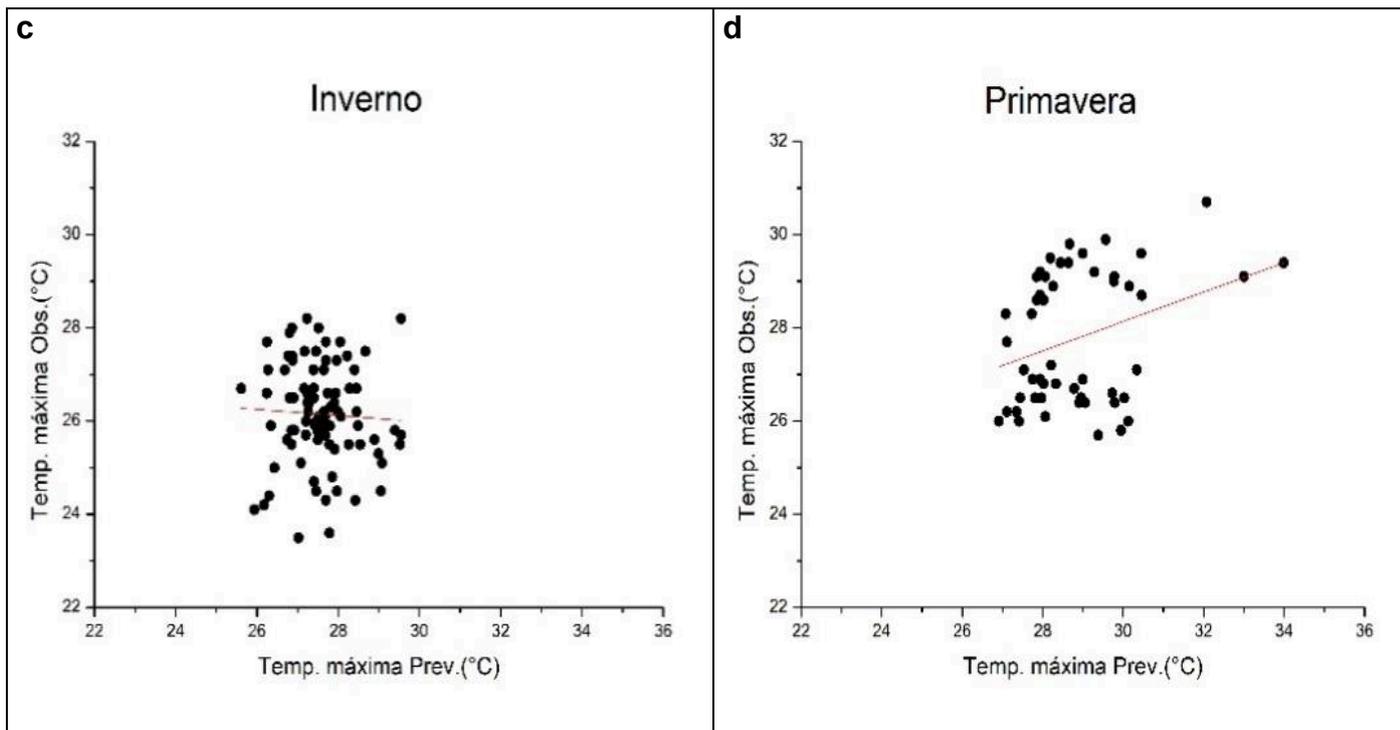
razoáveis, as maiores diferenças de temperaturas ocorreram durante o verão, e as menores temperaturas ocorreram durante o inverno.

No gráfico de dispersão é possível notar que os períodos do verão, a dispersão possui um maior afastamento, visto que quanto mais próximos da linha de tendência melhor seus resultados. Mas, o período do inverno possui melhor dispersão e maior proximidade da linha de tendência.

Dispersão sazonal método 1 em 2019

Figura 6- Dispersão sazonal da temperatura máxima prevista e da temperatura máxima observada para as estações do ano: a) verão, b) outono, c) inverno e d) primavera. As temperaturas estão em °C.





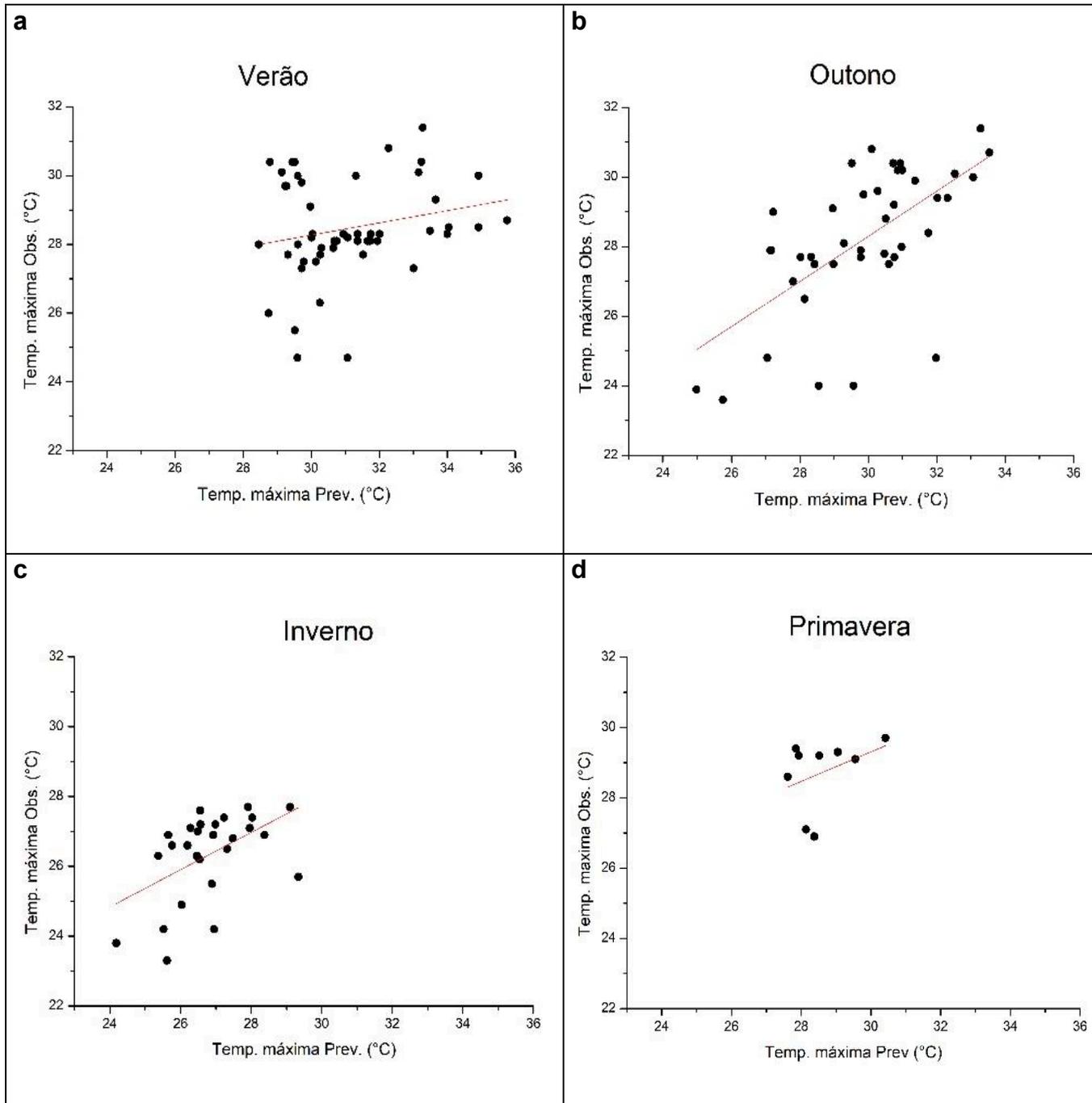
Analisando o comportamento da dispersão sazonal, para o método 1 no ano de 2019, observa-se que o período do outono e principalmente o inverno possui uma melhor dispersão se comparada as demais estações.

As estações de outono e inverno apresentam moderadas correlações, positiva e negativa, respectivamente, que podem estar ligadas a maior quantidade de dados disponíveis para estes períodos, além dos mesmos coincidirem com os períodos que possuem uma menor diferença entre as temperaturas previstas e observadas.

Em relação a dispersão do verão e primavera, possuem fraca correlação, positiva e negativa respectivamente, para estes períodos, diferente do outono e inverno, houve uma menor quantidade de dados disponíveis, além de possuírem uma maior diferença entre as temperaturas observadas e temperaturas previstas.

Dispersão sazonal método 1 em 2020

Figura 7- Dispersão sazonal da temperatura máxima prevista e da temperatura máxima observada para as estações do ano: a) verão, b) outono, c) inverno e d) primavera. As temperaturas estão em °C.



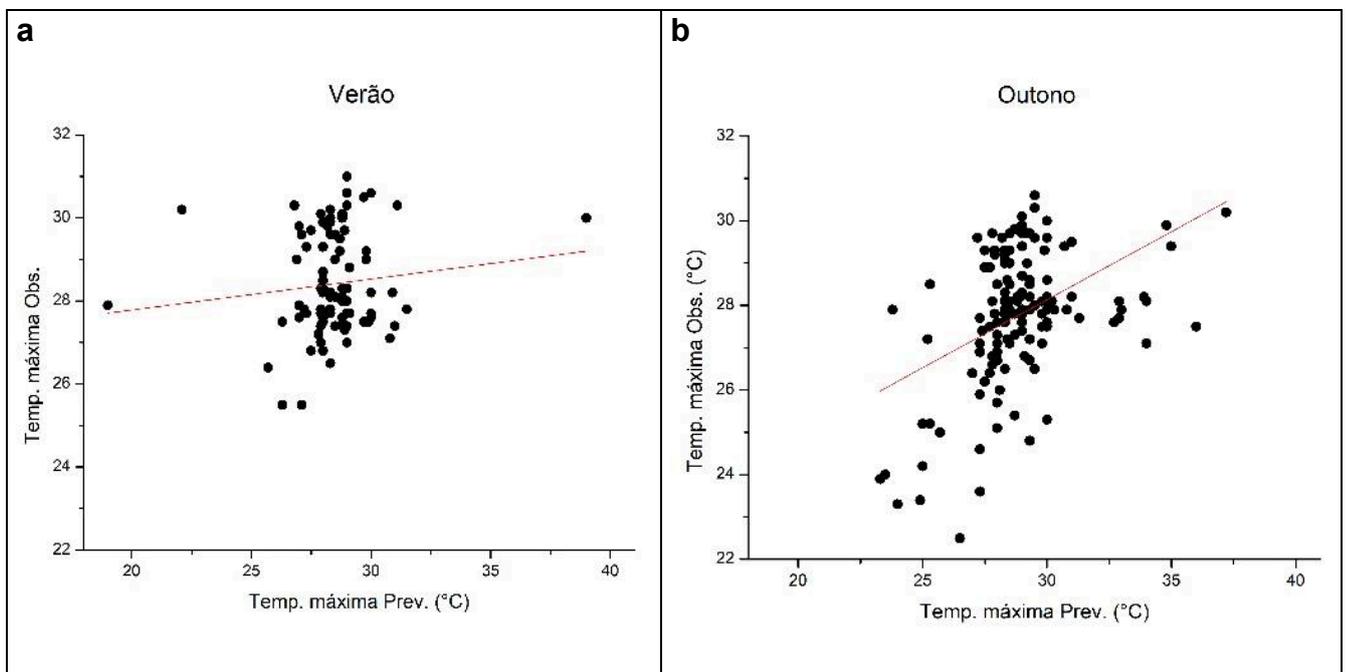
Analisando o ano de 2020, a dispersão se mostrou melhor durante as estações do outono e no inverno, possuindo uma correlação moderada positiva durante o

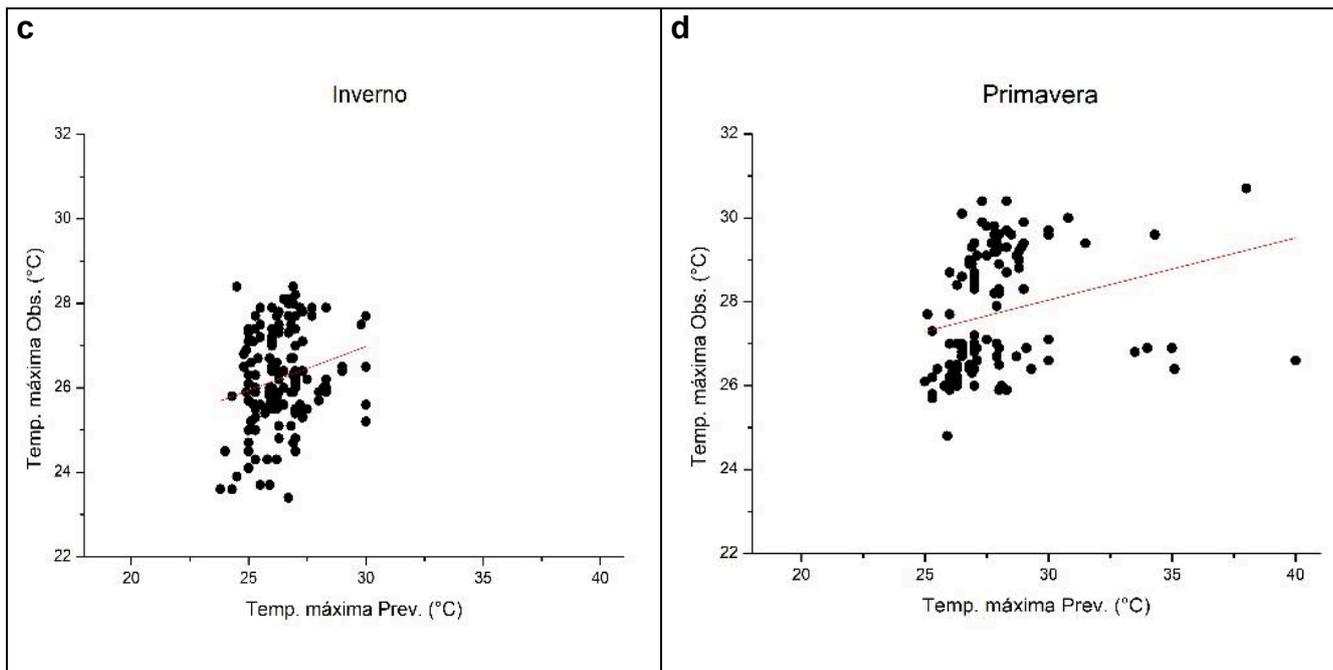
inverno e forte durante o outono. Nas duas estações mencionadas, observa-se uma maior quantidade de dados disponíveis e uma menor diferença de temperatura entre as temperaturas observadas e previstas.

Para o verão e a primavera, a dispersão demonstrou uma correlação moderada e positiva no inverno e, fraca e positiva para a primavera. Assim como no ano anterior, houve menos dados disponíveis durante estes períodos, de modo que, mesmo apresentando uma menor diferença de temperatura entre a temperatura máxima e prevista, não foi suficiente para tornar a correlação mais significativa.

Dispersão sazonal método 2 em 2019

Figura 8- Dispersão sazonal da temperatura máxima prevista e da temperatura máxima observada para as estações do ano: a) verão, b) outono, c) inverno e d) primavera. As temperaturas estão em °C.



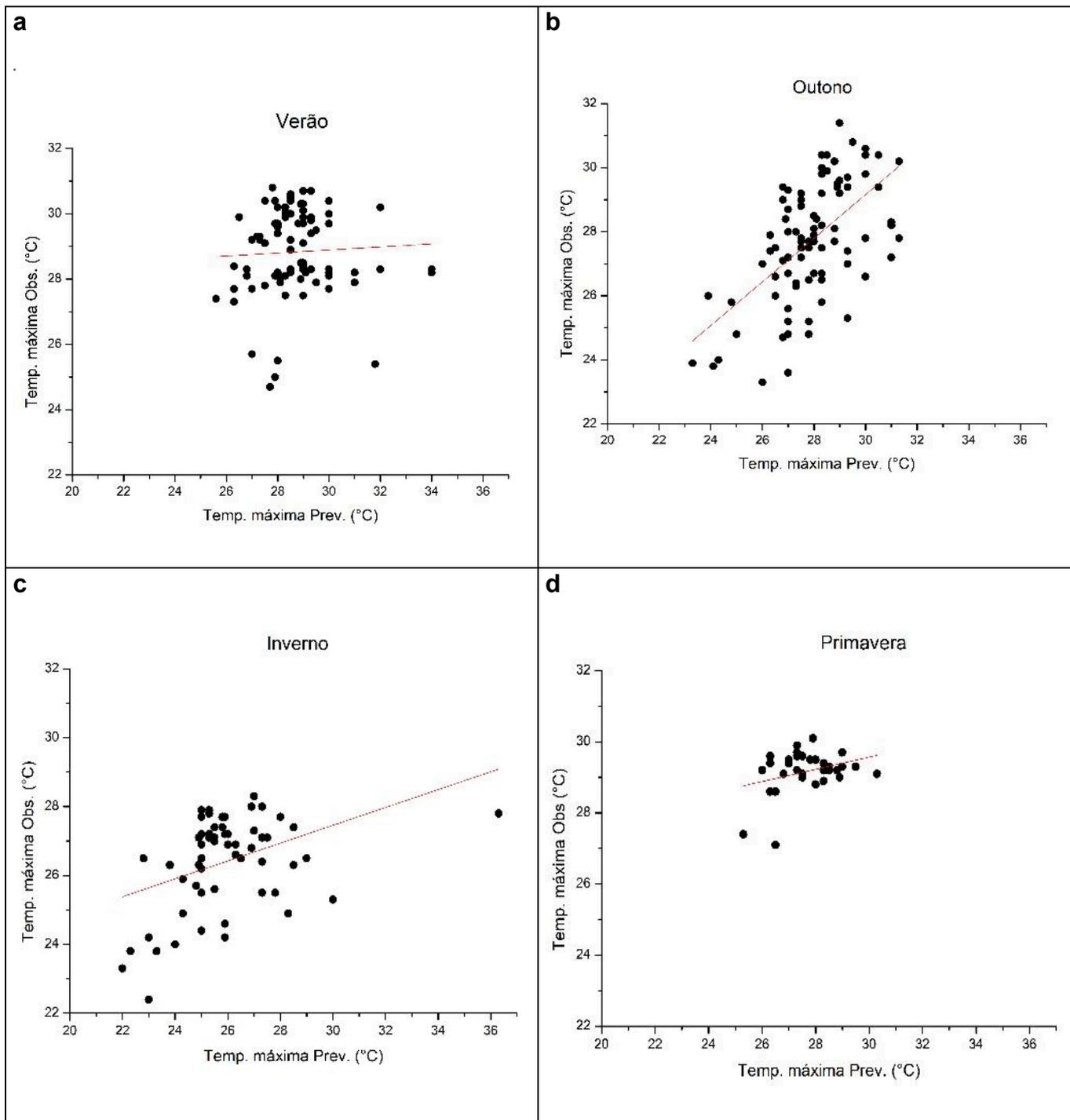


Para o método 2, em 2019, observa-se que assim como no método 1, houve uma melhor dispersão dos dados nos períodos de outono e inverno, com uma correlação positiva moderada e fraca, respectivamente. Ambos foram as estações com mais dados disponíveis e com menor diferença de temperatura entre a temperatura observada e a prevista.

A dispersão no verão e na primavera apresenta uma correlação moderada positiva e fraca positiva, respectivamente, apesar de o método 2 proporcionar uma quantidade um pouco maior de dados se comparados ao método 1, também demonstraram uma pior dispersão se comparadas a outono e inverno.

Dispersão sazonal método 2 em 2020

Figura 9- Dispersão sazonal da temperatura máxima prevista e da temperatura máxima observada para as estações do ano: a) verão, b) outono, c) inverno e d) primavera. As temperaturas estão em °C.



Para o ano de 2020 no método 2, é possível observar que a assim como no ano anterior, a dispersão durante as estações de outono e inverno foram melhores, apresentando uma correlação moderada positiva.

Quanto o verão e a primavera apresentaram as piores dispersões quando comparadas, com destaque para a estação do verão que apesar de possuir uma maior quantidade de dados, se comparado a primavera, demonstra uma correlação quase

nula, a primavera por sua vez, apresentar uma boa dispersão, mas sua correlação é considerada fraca e positiva, de modo que seu desempenho fica atrás das estações do outono e inverno.

De modo geral, é possível observar que tanto para o método 1 quanto para o método 2, as estações do outono e inverno possuem um melhor resultado de dispersão e de correlação, já o verão e primavera apresentam um pior desempenho tanto na dispersão dos dados quanto na correlação.

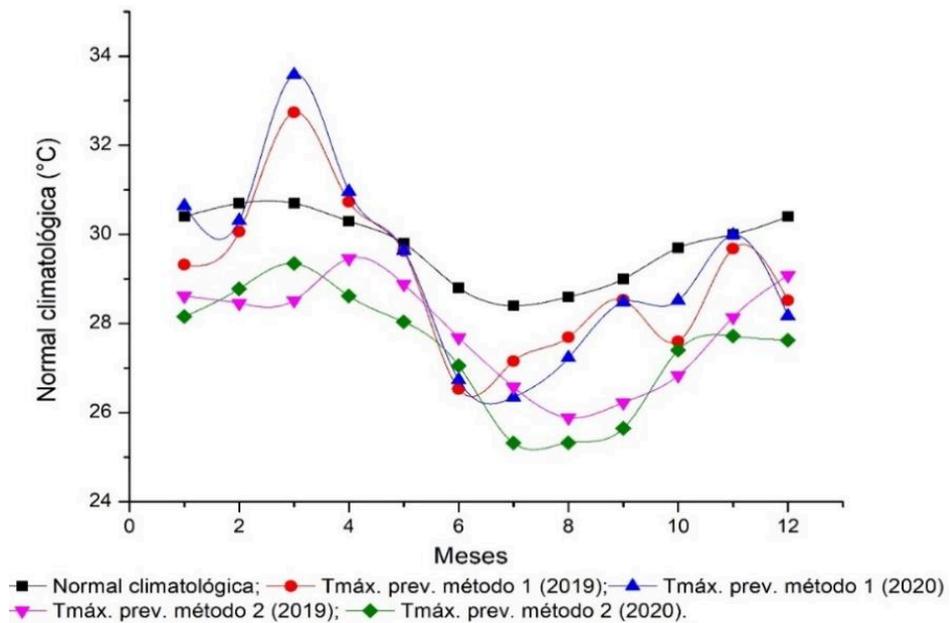
Em casos como encontrado na dispersão do método 1 para o ano de 2019, onde outono e inverno apresentam uma boa dispersão, porém, seus valores de correlação são negativos, demonstra que apesar haver variabilidade nos dados ela não está seguindo uma relação linear forte entre as variáveis.

4.3 NORMAL CLIMATOLÓGICA

Quando analisadas as temperaturas previstas e comparadas com o a normal climatológica da cidade de Natal, é possível observar que o método 2 possui um padrão de comportamento mais parecido com as temperaturas médias da região.

Destaca-se também que o método 1 teve um pior desempenho durante o mês de março, o que coincide com a maior quantidade de erros nas temperaturas previstas e, um melhor desempenho nos meses de maio, e novembro, onde as médias mensais da temperatura máxima prevista foram mais próximas a normal climatológica. O método 2, por sua vez, no mês de agosto e um melhor desempenho no mês de setembro, o segundo método, ao longo do ano, apresenta um comportamento mais semelhante à normal climatológica se comparado ao método 1, visto que neste, a temperatura máxima apresenta mais variações.

Figura 10-Comportamento das temperaturas previstas em comparação a normal climatológica de Natal-RN para os anos de 2019 e 2020.



Assim, pode-se verificar que os valores previstos pelos métodos 1 e 2 estão consistentes entre si e exibem um comportamento semelhante ao da normal climatológica de Natal, o que demonstra uma boa coerência nos resultados.

4.4 ESTÁTISTICA

Os parâmetros estatísticos calculados para cada método de previsão de temperatura em 2019 e 2020, com o objetivo de avaliar a precisão e o desempenho dos dois métodos de previsão para temperatura máxima.

Tabela 3 - Viés estatístico- Viés da temperatura máxima prevista, calculada para cada estação do ano em 2019 e 2020.

Estações	Viés-2019- Método 1	Viés -2019- Método 2	Viés -2020- Método 1	Viés -2020- Método 2
Verão	2,55	0,02	2,73	0,007
Primavera	1,05	0,003	-0,23	-1,42
Outono	2,40	1,08	1,65	0,18
Inverno	1,42	0,13	0,47	-0,51

O viés estatístico, o qual aponta a tendência sistemática da temperatura máxima prevista se afastar da temperatura máxima observada, apresentou valores majoritariamente valores positivos para os dois métodos e todas as estações, exceto

na primavera de 2020, para os dois metodos de previsão utilizados, e para o inverno de 2020 no metodo de estimativa através do Skew-t. O viés máximo e mínimo positivos alcançados foram de 2,55 e 0,02 durante o verão de 2019, para os dois metodos em questão, respectivamente, o minimo negativo ocorreu na primavera de 2020 com valor de -0,23, no metodo de previsão da fórmula.

Quando analisados os valores para o Erro Quadrático médio (EQM), utilizado para medir o desempenho dos modelos de previsão em relação a temperatura observada, e a Raiz do Erro Quadrático Médio (RQM), por sua vez, apresenta uma medida dos desvios dos valores previstos em relação aos observados, conforme a tabela W2. É possível observar que tanto o EQM quanto RQM apresentam maiores valores para o método 1 de previsão de temperatura máxima nos anos de 2019 e 2020, durante a o verão e o Outono. O método 2, por sua vez, apresenta valores mais amenos e com menor variação entre as estações.

Observa-se também que p menor vaor de EQM e RQM ocorreu durante a primavera de 2020, o que pode ter ocorrido em consequencia a quantidade de dados disponivel para a estação durante o ano de 2020.

Tabela 4 - Erro Médio Quadrático e Raiz do Erro Quadrático Médio da temperatura máxima prevista calculada para cada estação do ano em 2019 e 2020.

Estações	EQM- 2019- Método 1	EQM - 2019- Método 2	EQM - 2020- Método 1	EQM - 2020- Método 2	REQM- 2019- Método 1	REQM - 2019- Método 2	REQM -2020- Método 1	REQM - 2020- Método 2
Verão	14,37	4,84	11,61	3,92	3,79	2,20	3,40	1,98
Primavera	3,88	4,57	0,83	3,05	1,97	2,14	0,91	1,74
Outono	9,75	5,41	5,70	2,55	3,12	2,32	2,38	1,60
Inverno	4,02	2,16	1,61	4,12	2,01	1,47	1,27	2,03

Vale salientar que o EQM deve ser sempre positivo e próximo de zero, pois é mais susceptível a valores atípicos, ou seja, valores que são discrepantes comparados aos demais, visto que durante os cálculos os erros são elevados ao quadrado, fazendo com que os valores mais altos influenciem de maneira desproporcional o resultado. Dessa forma, explica os resultados mais elevados de EQM e REQM, visto que foi nas estações com valores mais elevados coincidem com

os casos em que a temperatura máxima prevista foi mais superestimada, para os anos de 2019 e 2020 obtiveram-se 35°C, através do método 1 e, em 2019 e 2020, por meio do método 2 obteve-se 40°C e 36°C durante a primavera e o outono, respectivamente.

Por meio dos valores obtidos do coeficiente de Pearson (r), o qual indica a direção e o grau de relação linear entre duas variáveis, foi possível determinar o grau de correlação entre a temperatura máxima prevista e a temperatura máxima observada. Observa-se que a pior correlação entre as variáveis ocorreu no método 1 durante o ano de 2019 durante o verão e o inverno, onde foram obtidos respectivamente os valores de -0,23 e -0,05, demonstrando uma relação moderada e inversamente proporcional durante o período. Os melhores valores de correlação foram de 0,63 método 1 e 0,58, método 2 respectivamente, ambos ocorreram durante o outono de 2020, apresentando uma correlação positiva moderada forte (método 1) e moderada (método 2).

Tabela 5 - Coeficiente de Correlação de Pearson (r) e Coeficiente de Determinação (r^2) da temperatura máxima prevista calculados para cada estação do ano em 2019 e 2020.

Estações	r-2019- Método 1	r-2019- Método 2	r-2020- Método 1	r-2020- Método 2	r²- 2019- Método 1	r²- 2019- Método 1	r²- 2020- Método 1	r²- 2020- Método 2
Verão	-0,23	0,12	0,21	0,05	0,05	0,01	0,04	0,003
Primavera	0,30	0,32	0,42	0,32	0,09	0,10	0,18	0,10
Outono	0,51	0,44	0,63	0,58	0,26	0,19	0,40	0,34
Inverno	-0,05	0,21	0,50	0,40	0,003	0,04	0,25	0,16

É importante observar que uma correlação positiva indica que quando uma variável aumenta a outra tende a acompanhar este aumento e, além disso, os valores próximos a 0 exprimem pouca ou nenhuma correlação linear entre as variáveis

Averiguando os valores de temperatura máxima prevista e temperatura máxima observada, conforme as tabelas 5, é possível que os números de casos de temperatura muitas vezes coincidem tanto para a temperatura prevista quanto para a temperatura observada.

Para o ano de 2019, o método 2 apresentou o maior número de casos em que as temperaturas máximas prevista e temperatura máxima observada ocorreram no mesmo intervalo foi de 93 casos (20% do total de casos), nos quais a temperatura esteve entre 26°C e 28°C. No ano de 2020, o método 2 também apresentou mais casos em que as temperaturas coincidiam, de modo que houveram 47 casos onde a temperatura esteve entre 28 °C e 30 °C. Pra o método 1, em 2019 a maior quantidade de casos onde as temperaturas coincidiam foi de 46 casos (10%), onde a temperaturas estiveram entre 26°C e 28°C, em 2020 ocorreram 20 casos, onde a temperatura também coincidiram entre 26°C e 28°C.

Os números de casos quando as temperaturas máximas previstas e temperaturas máximas observadas entraram no dois intervalo, ou seja, no mesmo intervalo e no intervalo próximo foram, para o método 1 para 2019 e 2020 respectivamente, de 45 e 35 casos, enquanto no método 2 foram de 49 e 52 caos para 2019 e 2020, respectivamente.

Tabela 6- Número de casos com temperatura observada e prevista pelo Ske0w-T graduação de escala em (°C) para o método 1 em a) 2019 e b) 2020 e para o método 2 em c) 2019 e d) 2020.

a	Temperatura máxima observada						b	Temperatura máxima observada						
Temperatura máxima prevista (Método1)	20-22	22-24	24-26	26-28	28-30	30-32	Temperatura máxima prevista (Método1)	20-22	22-24	24-26	26-28	28-30	30-32	
	22-24	2		1				22-24	1					
	24-26	4	5	5				24-26	4	3	5			
	26-28	4	40	44	10			26-28	1	3	20	4		
	28-30	2	17	40	25	3		28-30	2	5	15	17	1	
	30-32			13	7	1		30-32		2	17	10	1	
	32-34			2	13	3		1	32-34			3	7	2
	34-36			3				34-36				3		
	36-38							36-38						
	38-40							38-40						

c	Temperatura máxima observada						d	Temperatura máxima observada					
Temperatura máxima prevista (Método 2)	20-22	22-24	24-26	26-28	28-30	30-32	Temperatura máxima prevista (Método 2)	20-22	22-24	24-26	26-28	28-30	30-32
	22-24	5	2	1		1		22-24	9	5	1		
	24-26	9	63	41	2			24-26	3	8	33	4	
	26-28	3	46	93	60			26-28	1	17	47	51	1
	28-30		7	64	43	5		28-30		3	22	45	7
	30-32			7	5			30-32		1	7		
	32-34			9	1			32-34			2		
	34-36			2	2	1		34-36					
	36-38				1	1		36-38			1		
	38-40				1			38-40					

As cores da tabela 6 indicam a quantidade de casos entre temperatura prevista e a temperatura observada, assim onde os quadrados encontram-se em verdes representam os casos em que a temperatura observada e prevista iguais, quadrados vermelhos indicam que a temperatura prevista foi acima da observada e os quadrados amarelos indicam que a temperatura prevista foi abaixo da observada.

Analisando a tabela 6, observa-se que no método 1 obteve a maior parte dos casos onde as temperaturas observadas foram iguais as temperaturas previstas no ano de 2020, correspondendo a 33% dos casos, para o método 2, esses casos ocorreram em 2019 representando 43% dos casos.

Em 2019, nota-se 45% e 49% dos casos, para os métodos 1 e 2 respectivamente, estão numa faixa de temperatura próxima a temperatura observada, ou seja, variam em até 2°C acima ou abaixo da temperatura observada, em 2020 esses casos correspondem respectivamente a 35% e 52% dos casos.

É possível observar que o método 1 possui, para os dois anos, um maior número de casos em que a temperatura prevista e observada possuem uma diferença de temperatura superior a 2°C, apresentando 24 % dos casos em 2019 e 32% dos casos em 2020, para o método 2 esses casos representam 8% dos casos tanto pra 2019 quanto para 2020.

Tabela 7- Porcentagem de casos em relação a temperatura observada é maior, menor, no intervalo próximo, ou, igual a prevista e os demais casos onde a temperatura prevista ultrapassa 2°C em relação a observada.

		Porcentagem de casos em que a Temperatura observada			
	Ano	Maior que a temperatura prevista	Menor que a temperatura prevista	Igual a temperatura prevista	Demais casos
Método1	2019	7	38	31	24
	2020	8	27	33	32
Método 2	2019	23	26	43	8
	2020	35	17	40	8

Desse modo a previsão se mostrou satisfatória para ambos os métodos, com destaque para o segundo método em ambos os anos, onde alcançou uma porcentagem de previsão de 92%, enquanto no método 1 essa porcentagem foi de 76% e 68 %, em 2019 e 2020 respectivamente

5. Análise de casos

Para ambos os métodos foram avaliadas as temperaturas máximas previstas e selecionados para análise aqueles casos que a temperatura máxima prevista apresentava maior erro na previsão daquele ano.

Foram escolhidos seis casos, onde foram selecionados os dias em que a temperatura máxima prevista foi superestimada para cada método e para cada ano (casos 1, 2, 3 e 4), a menor temperatura máximas prevista entre os dois métodos (caso 5) e a temperatura máxima prevista com pouca diferença em relação a temperatura observada.

5.1. 1º CASO: 31 DE MARÇO DE 2019, método 1

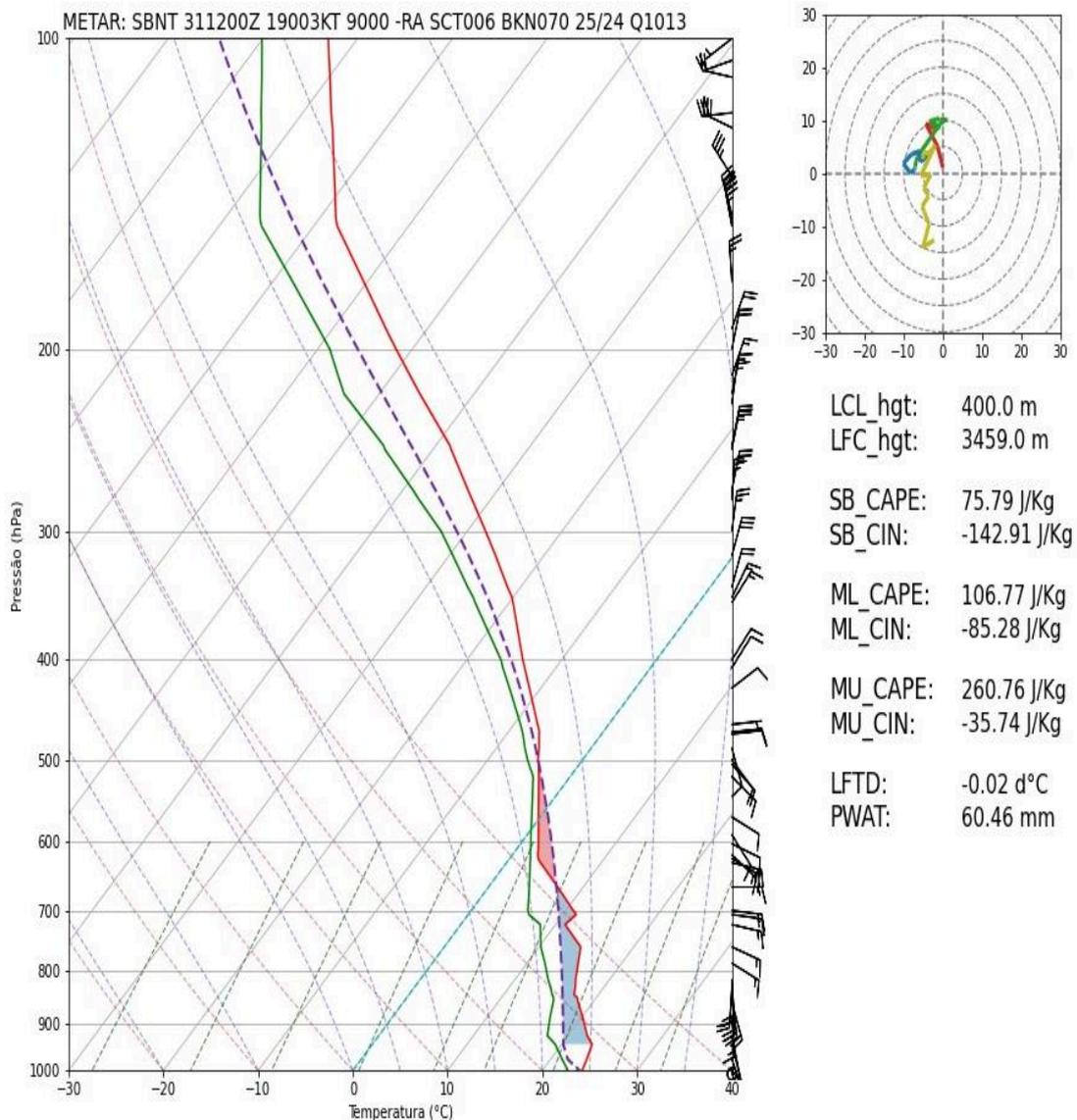
Em 2019, o maior erro na previsão ocorreu no dia 31 de março, a temperatura prevista apresentou um erro de 8°C, registrando 33°C, em relação a temperatura observada, a qual registrou 25°C. Quando comparado com a tabela de altura de nuvens (tabela1), nota-se que existe cobertura de nuvens médias.

Figura 11- A figura apresenta a) Diagrama termodinâmico skew-T, b) imagem de satélite e c) onde estão contidas; a) pressão e espessura em 1000 hPa, linhas de correntes em b) 925 hPa, c) 850, hPa, d) 700 hPa e) 500 hPa e) 250 hPa.

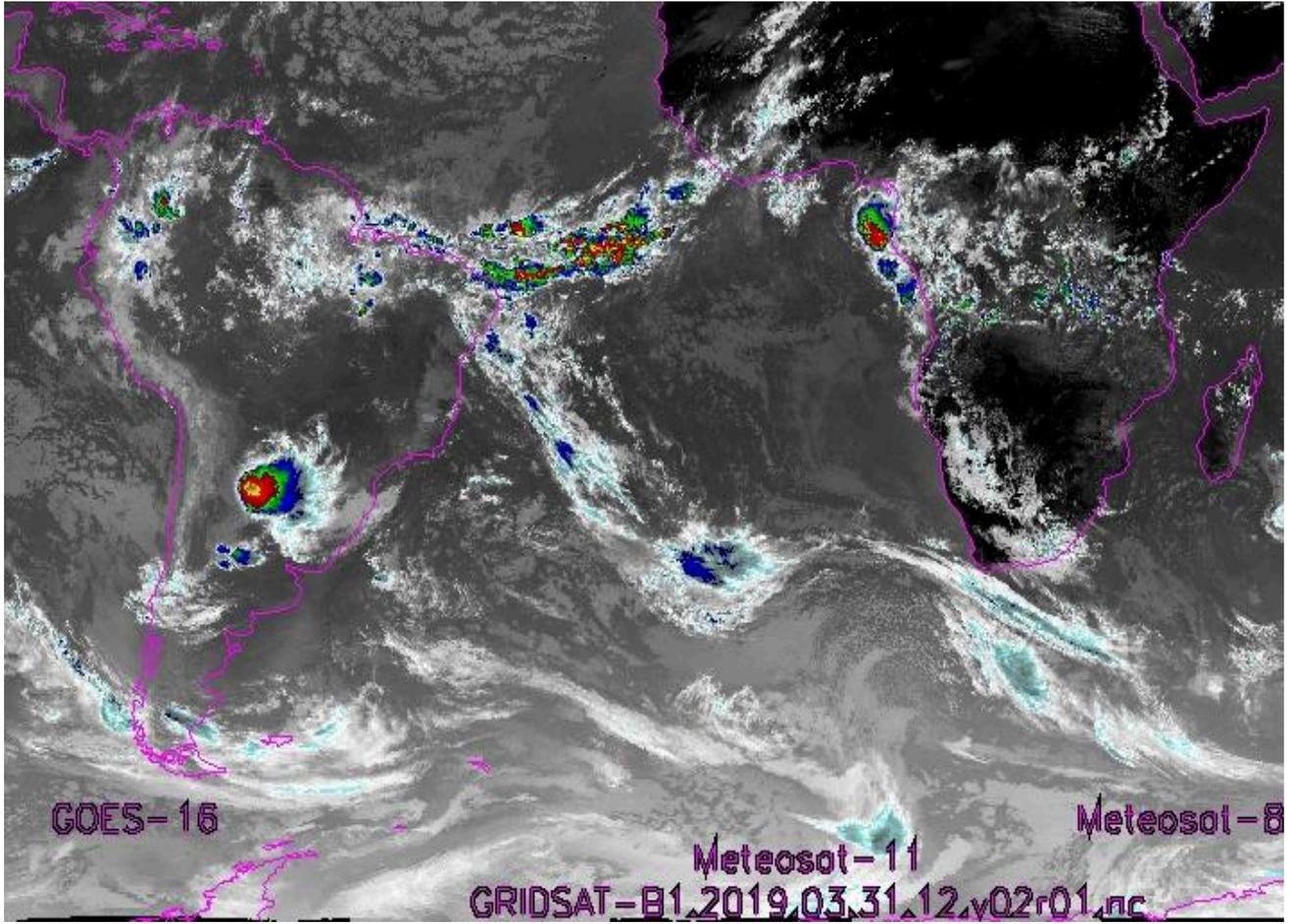
a

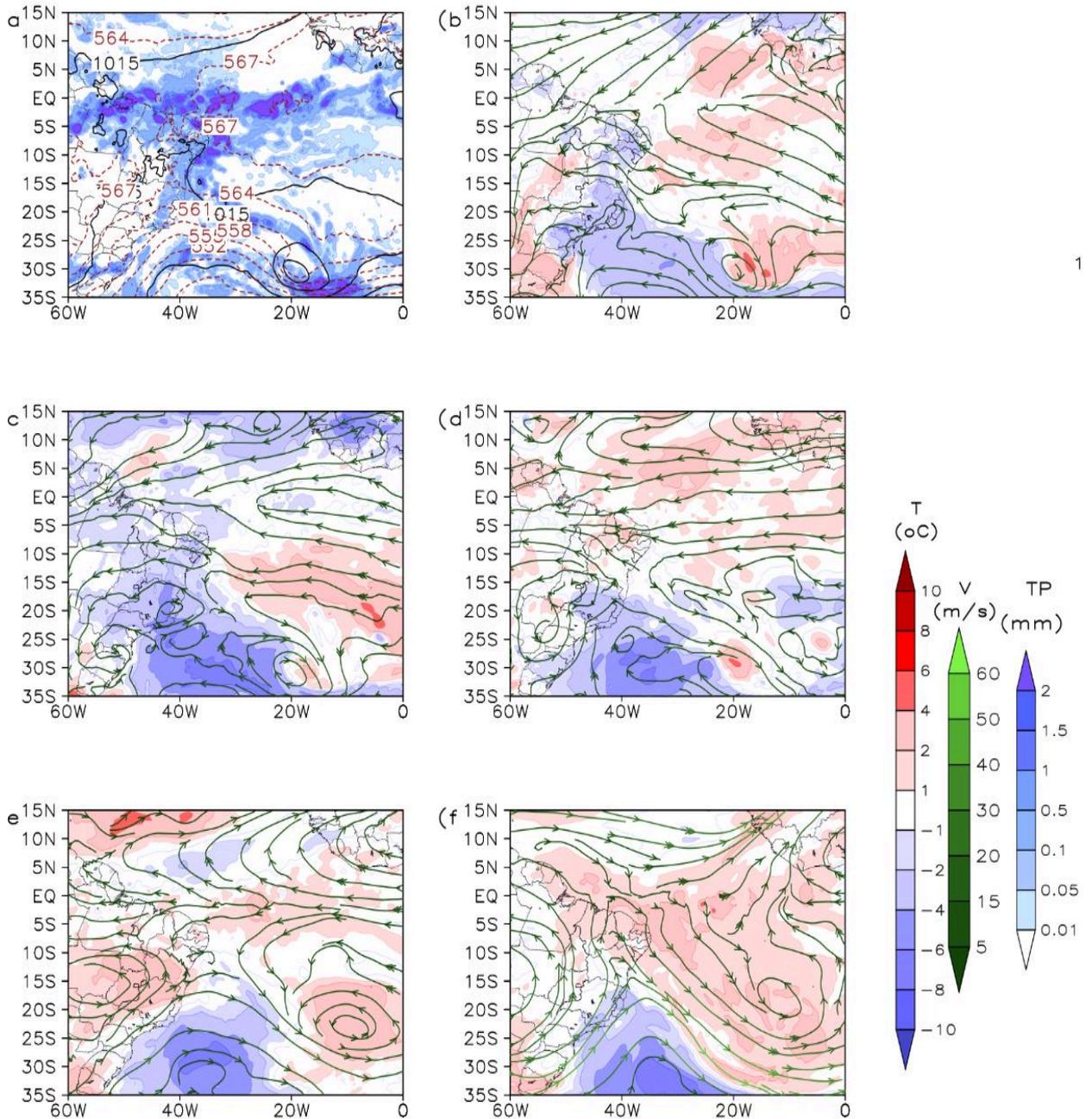
Local da radiosondagem: SBNT | Validade: 31/3/2019 - 12UTC

Latitude: -5.91 | Longitude: -35.25 | Elevação: 49.0 m



b



C

Observando o perfil termodinâmico do dia 31 de março de 2019, nota-se a estabilidade atmosférica por meio da presença de isoterma na superfície com baixa umidade até o nível 620 hPa, com uma camada de inversão de subsidência entre 720 e 700 hPa, a qual ocorreu na mesma direção do vento. a partir 620 hPa há uma ligeira camada mais úmida e um fraco CAPE positivo até 500 hPa, indicando formação de nebulosidade do tipo Altocumulus (AC). A observação do METAR permite observar que o vento está vindo do Sul com velocidade de 3 nós e sua visibilidade é superior a 9000 metros, observa-se ainda que o código aponta ainda a presença de leve

precipitação, nuvens e nuvens dispersas quebradas em 600 e 7000 pés acima do solo. Inversão na direção do vento

Através da imagem de satélite pode-se confirmar a nebulosidade com desenvolvimento de nuvens convectivas na ZCIT sob o NEB, o sistema frontal sobre o Atlântico bem como o acoplamento entre os dois.

No dia 29 de março de 2019, ocorreu um processo de ciclogênese entre as latitudes 20°S e 25°S e as longitudes 35°W e 30°W permanecendo até o dia 2 de abril. Durante os dias 29 e 30 de março, foi observada a presença de POAS entre o 0°S e 15S em 925 hPa.

O ciclone formado no dia 29, atingiu seu desenvolvimento máximo no dia 31 de março. Neste dia, observa-se a confluência da ZCIT entre 0°S e 5S; no nível 250 hPa é possível verificar a presença de um cavado entre duas altas, que está relacionado a um sistema frontal em baixos níveis.

Em 29 de março, foi observado, em baixos níveis, um sistema frontal no sul do Atlântico que provoca instabilidade no sudeste brasileiro. Posteriormente, entre os dias 30 de março e 01 de abril, ocorre a formação de um novo sistema frontal sobre o Atlântico que se acopla a ZCIT sobre a região do NEB.

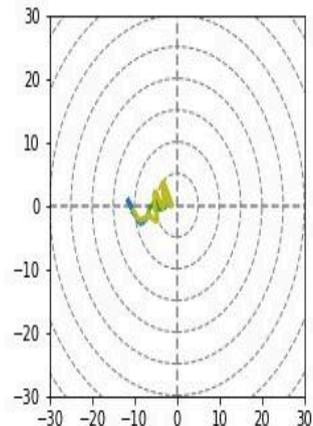
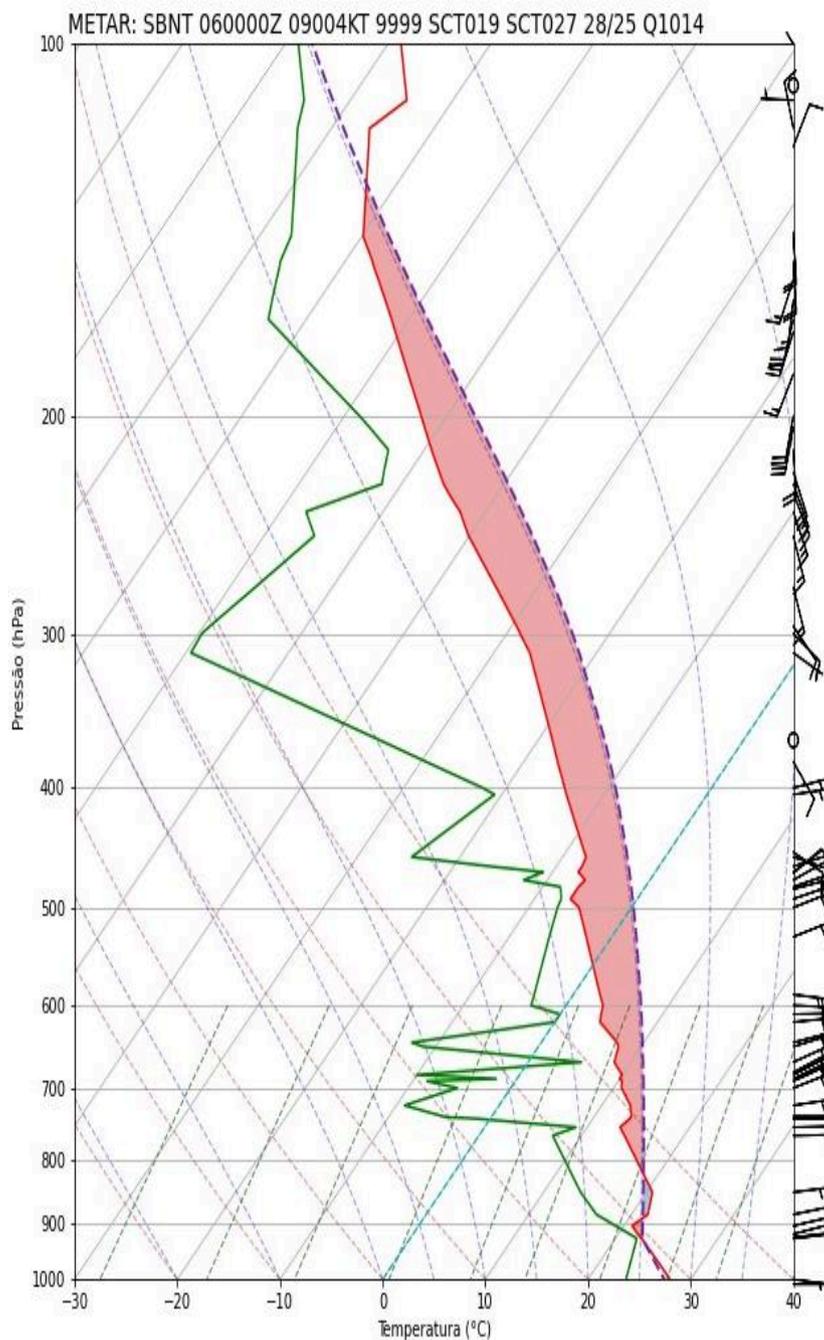
Em 250 hPa do dia 31 de março, é possível observar a formação de um VCAN entre os dois anticiclones em 200 hPa.

5.2 2º CASO: 06 DE MARÇO DE 2020, MÉTODO 1

O segundo caso, ocorrido no dia 06 de março, refere-se a temperatura máxima prevista de maior erro para o ano de 2020, referente ao método 1. Neste dia, a temperatura máxima prevista obtida apresentou um erro de 7°C, registrando 36°C, em comparação a temperatura máxima observada, a qual marcou 29°C.

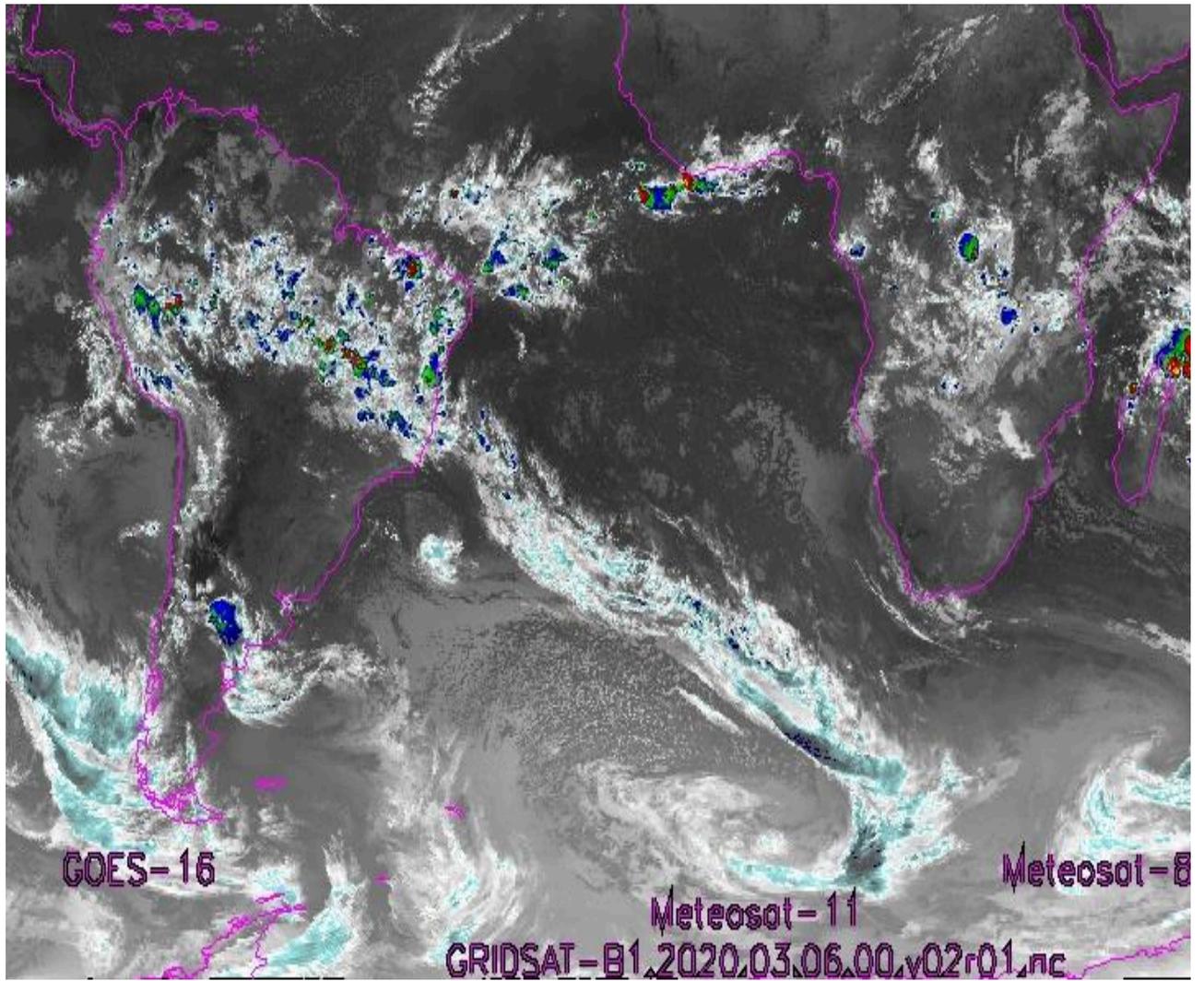
Figura 12- a figura apresenta a) Diagrama termodinâmico skew-T, b) imagem de satélite e c) onde estão contidas; a) pressão e espessura em 1000 hPa, linhas de correntes em b) 925 hPa, c) 850, hPa, d) 700 hPa e) 500 hPa e) 250 hPa

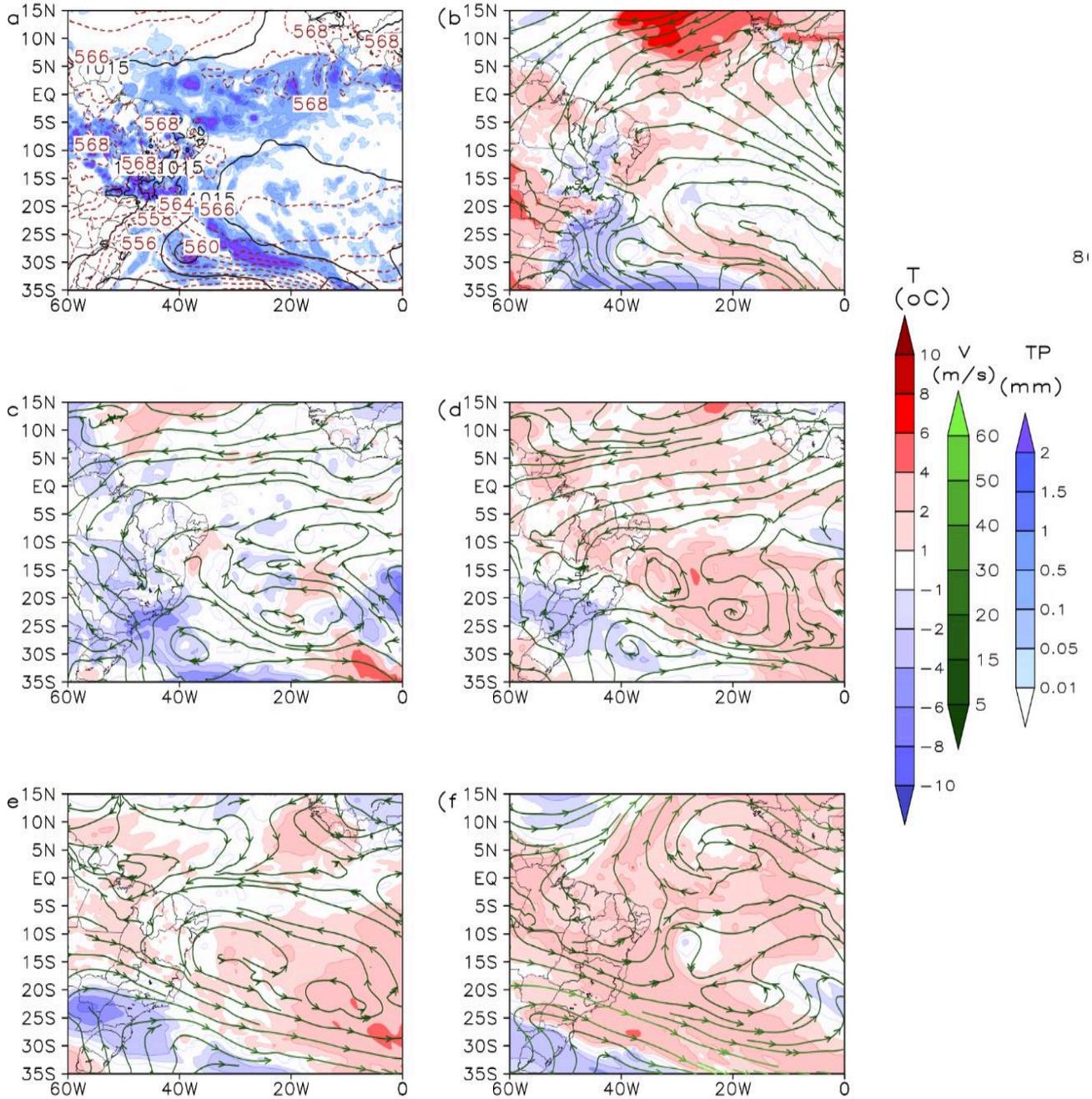
a Local da radiosondagem: SBNT | Validade: 6/3/2020 - 00UTC
 Latitude: -5.91 | Longitude: -35.25 | Elevação: 49.0 m



LCL_hgt:	474.0 m
LFC_hgt:	1731.0 m
SB_CAPE:	2394.19 J/Kg
SB_CIN:	-10.3 J/Kg
ML_CAPE:	1794.82 J/Kg
ML_CIN:	0.0 J/Kg
MU_CAPE:	2394.19 J/Kg
MU_CIN:	-10.3 J/Kg
LFTD:	-5.3 d°C
PWAT:	51.53 mm

b



C

No dia 06 de março de 2020, observa-se através da análise do perfil termodinâmico que há uma instabilidade absoluta em baixos níveis, com um leve CAPE positivo indicando a presença de nuvem Cumulus humilis (Cu hum), a partir de 820 hPa até altos níveis o CAPE torna-se positivo novamente indicando a presença de nuvem do tipo Cumulonimbus. Segundo as informações contidas no código METAR, observa-se que o vento é proveniente do Leste com uma velocidade de 4

nós, a região possui ainda uma boa visibilidade superior a 10 km com nuvens dispersas acima de 1900 e 2700 pés da superfície.

Através da imagem de satélite pode ser identificada a penetração da ZCIT sobre o nordeste brasileiro, bem como a presença de ZCAS (Zona de convergência do Atlântico Sul) na região centro-oeste e sudeste do Brasil, a qual se liga a uma zona frontal que estava sobre o Atlântico Sul. Observa-se o desenvolvimento de nebulosidade convectiva na nebulosidade da ZCIT próxima ao nordeste do Brasil.

Um dos motivos para essa alteração da temperatura máxima prevista no dia 6 de março de 2020, pode ser atribuída a formação de um sistema frontal entre as latitudes 25°S e 30°S e longitudes 45°W e 50°W no Hemisfério Sul. Além de a presença um sistema de alta pressão sobre o Atlântico, ocorrido entre os dias 4 e 8 de março de 2019, contribuir para essa variação.

O processo de formação do sistema frontal teve início no dia 4 de março, com a formação de um ciclone no Atlântico, entre 25S e 30S e 30W e 40W. Este ciclone dissipou-se no dia 5 e voltando a se formar no dia 6 e dissipando-se novamente em 8 de março.

No dia, foi possível observar a formação de um ciclone no Atlântico Sul, o qual permanece na região e, no dia 6 de março, o mesmo se interliga com a umidade proveniente da Amazônia, dando origem então a ZCAS que permanece na região até dia 8 de março.

Durante o dia 6 de março, Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) se acopla a zona frontal até o dia 10 de março, explicando a ocorrência de precipitação e a nebulosidade convectiva. Ainda em 10 de março, foi possível observar a formação de Perturbações Ondulatórias dos Alísios (POAS) entre latitudes 10°S e 20°S e longitudes 35°W e 45°W.

5.3 3º CASO: 25 DE JANEIRO DE 2019, MÉTODO 2

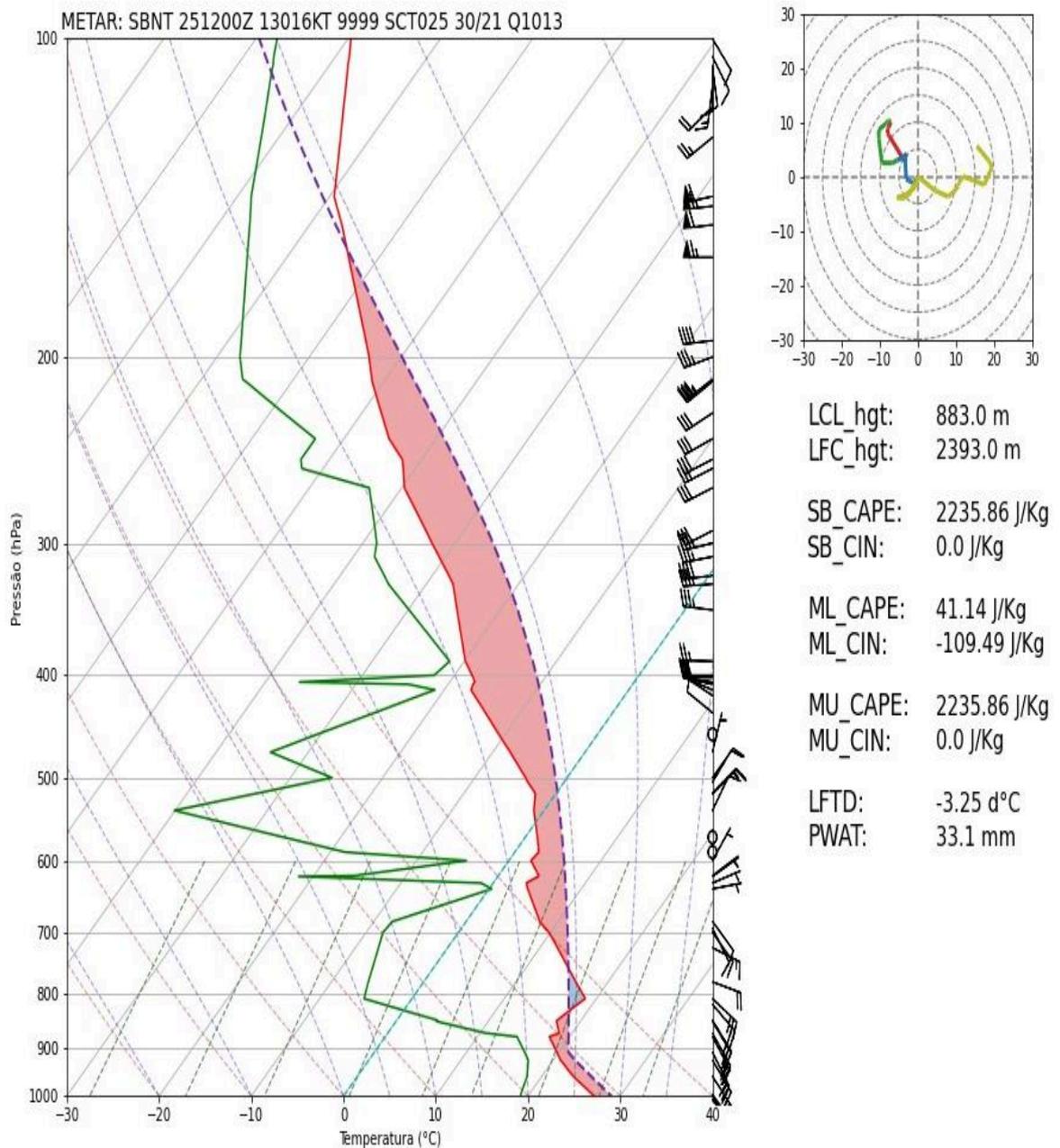
Para o método 2, no ano de 2019, o maior erro de previsão ocorreu no dia 25 de janeiro, onde observado um erro de 9°C entre a temperatura máxima prevista, que marcou 39°C, e a temperatura máxima observada, a qual registrou 30°C.

Figura 13- A figura apresenta a) Diagrama termodinâmico skew-T, b) imagem de satélite e c) onde estão contidas; a) pressão e espessura em 1000 hPa, linhas de correntes em b) 925 hPa, c) 850, hPa, d) 700 hPa e) 500 hPa e) 250 hPa

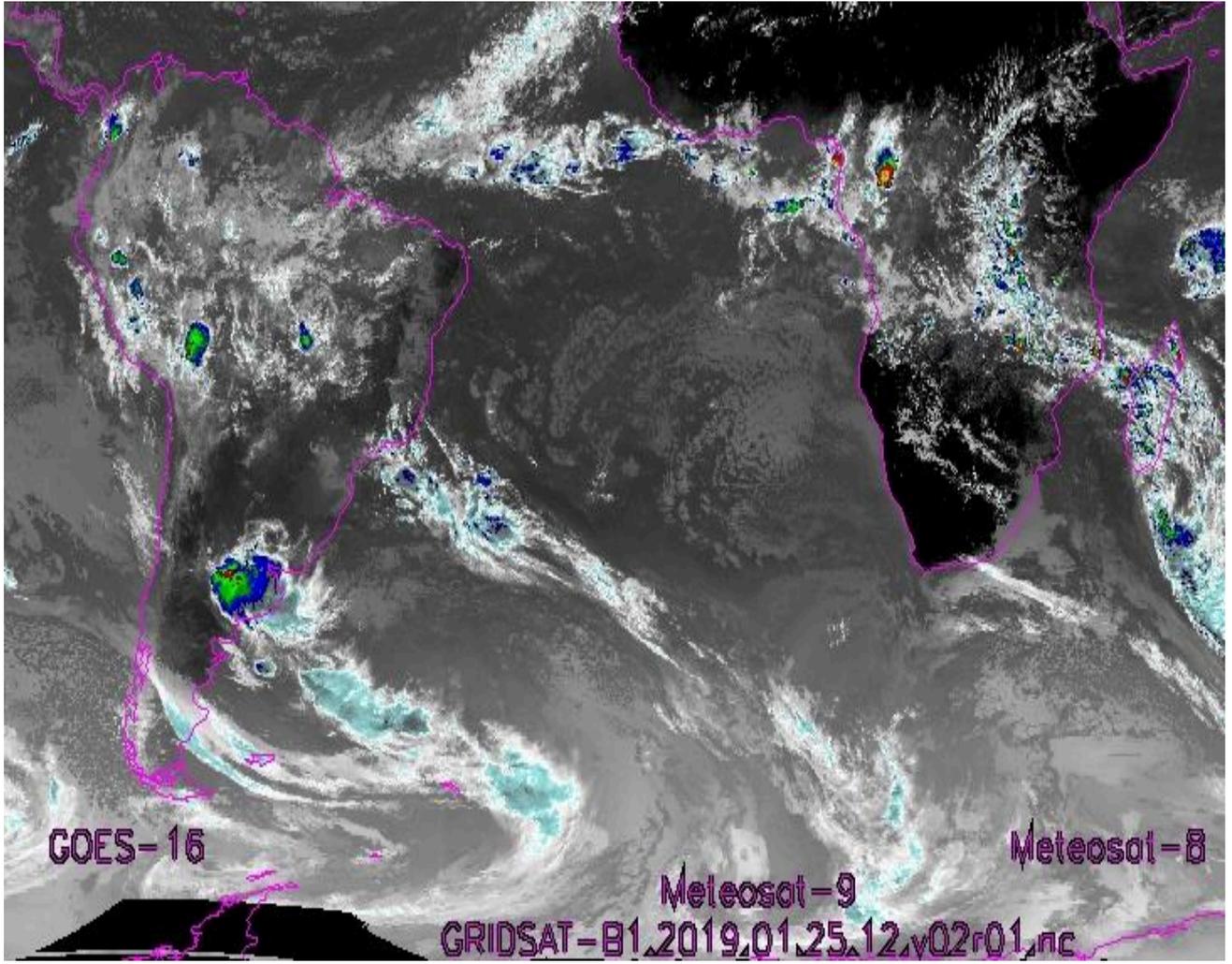
a

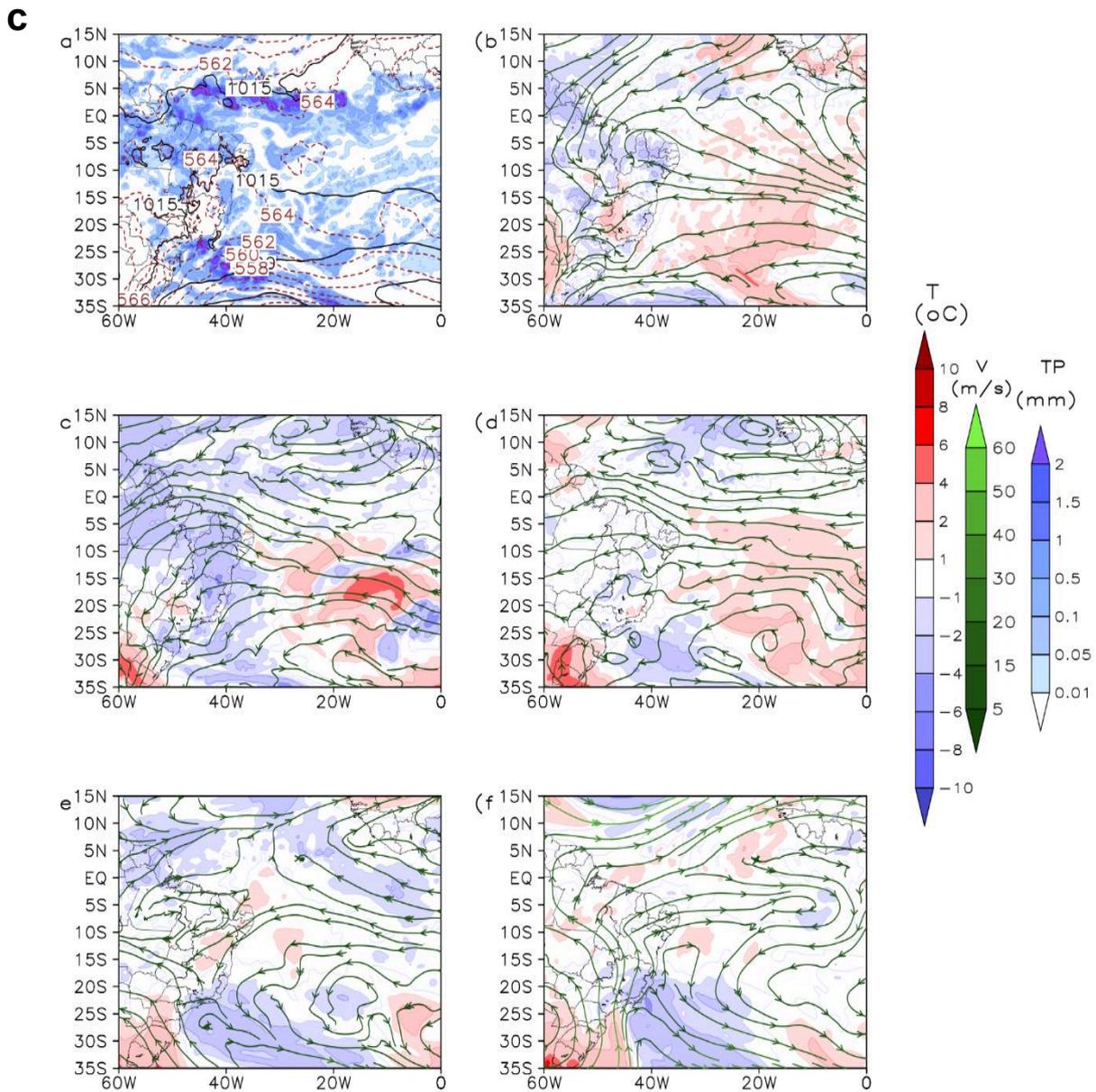
Local da radiosondagem: SBNT | Validade: 25/1/2019 - 12UTC

Latitude: -5.91 | Longitude: -35.25 | Elevação: 49.0 m



b





Conforme o diagrama termodinâmico do dia 25 de janeiro de 2019, observa-se um perfil sem umidade e de instabilidade atmosférica em superfície com uma fraca inversão de subsidência em 890 hPa, seguida por uma isoterma e posteriormente estabilidade atmosférica, proporcionando uma cape positivo de 750 hPa até altos níveis indicando a presença de nuvem do tipo Cumulonimbus (Cb) De acordo com as informações do código METAR para a região, é possível observar que o vento está vindo de direção sudeste a uma velocidade de 16 nós, visibilidade superior a 10 km e nuvens dispersas acima de 2500 pés da superfície.

Analisando as imagens de satélite para o dia 25 de janeiro, observa-se que conforme mostrou o perfil vertical, não havia o favorecimento de umidade na região.

Durante o período de 23 a 30 de janeiro de 2019, foi identificada a presença de uma área de alta pressão sobre o Atlântico, abrangendo a faixa de 925 a 500 hPa, enquanto em 250 hPa foi observado um sistema de baixa pressão, caracterizado pela persistência de um VCAN ao longo de todo o intervalo temporal.

Entre os dias 23 e 25 de janeiro, a presença de perturbações ondulatórias dos alísios (POAS) foi notada nos níveis 700 hPa e 500 hPa, situando-se entre 0°S e 20°S.

No dia 25 de janeiro, em níveis mais baixos, os ventos alísios provenientes do Sudeste foram desviados pela alta pressão sobre o Atlântico. As cristas dessa alta pressão estenderam-se por todo o litoral do Brasil, resultando em condições meteorológicas estáveis e secas.

Desse modo a configuração de alta pressão em baixos níveis, 925 hPa até 500 hPa, e baixa pressão em altos níveis, 250 hPa, funcionam como um bloqueio atmosférico, dificultando assim o deslocamento vertical das massas de ar. Observa-se ainda a presença de Cb na periferia VCAN

5.4 4º CASO: 23 DE JUNHO DE 2020, MÉTODO

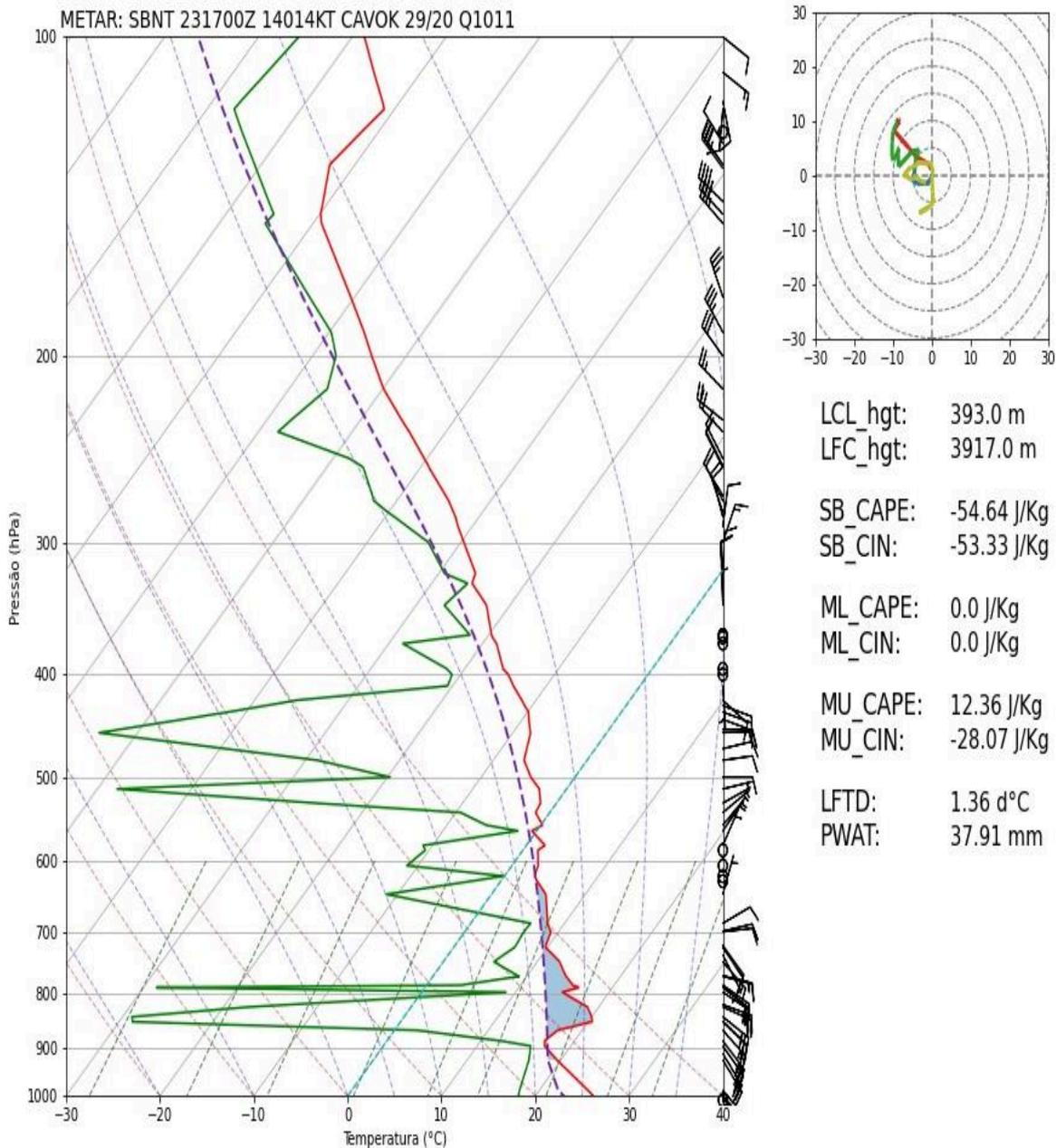
Em 2020, o caso com maior erro de previsão na temperatura máxima prevista ocorreu no dia 23 de junho, onde também apresentou um erro de 9°C, obtendo uma temperatura máxima prevista de 36°C, enquanto a temperatura máxima observada foi de 28°C.

Figura 14- A figura apresenta a) Diagrama termodinâmico skew-T, b) imagem de satélite e c) onde estão contidas; a) pressão e espessura em 1000 hPa, linhas de correntes em b) 925 hPa, c) 850, hPa, d) 700 hPa e) 500 hPa e) 250 hPa

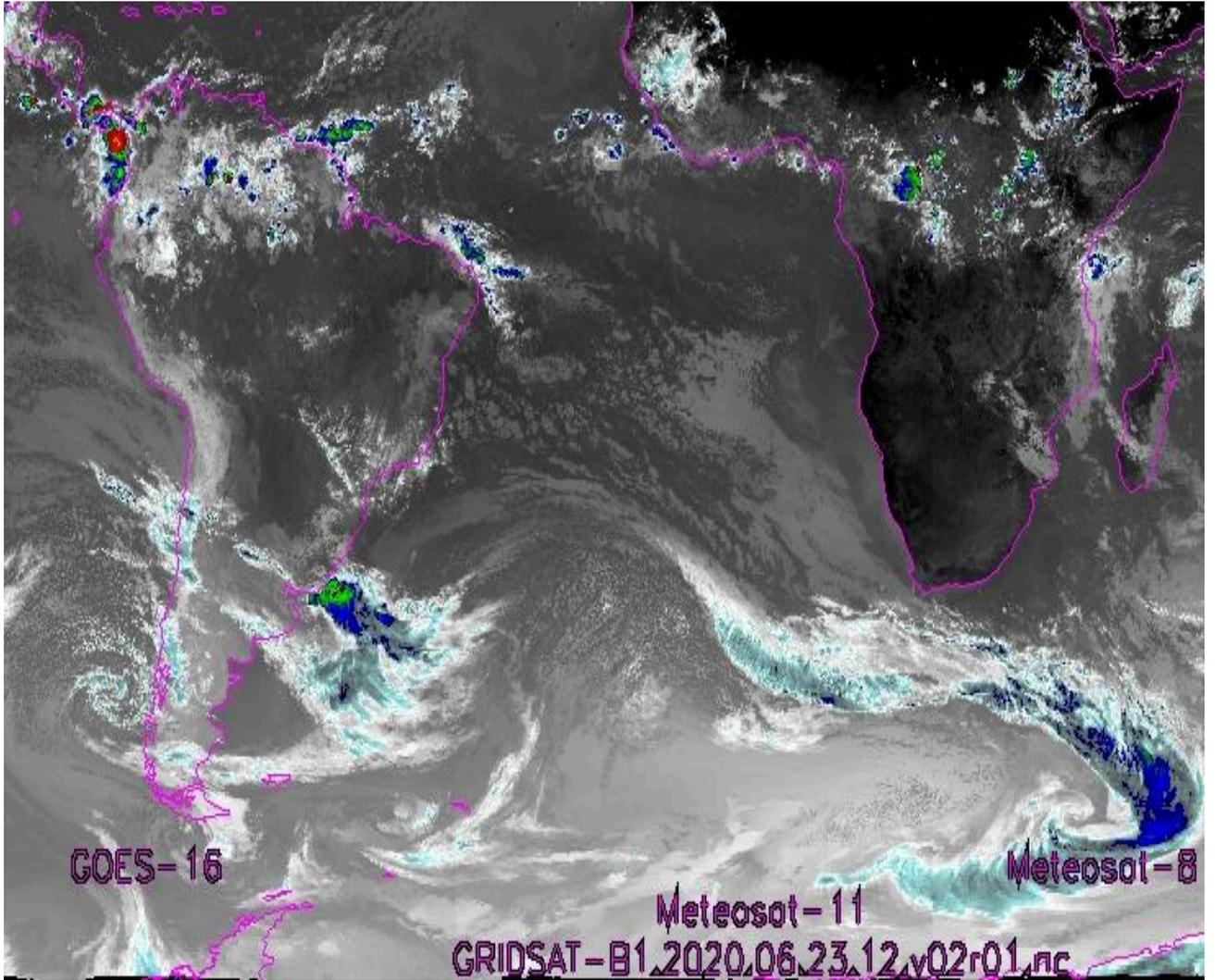
Local da radiosondagem: SBNT | Validade: 23/6/2020 - 12UTC

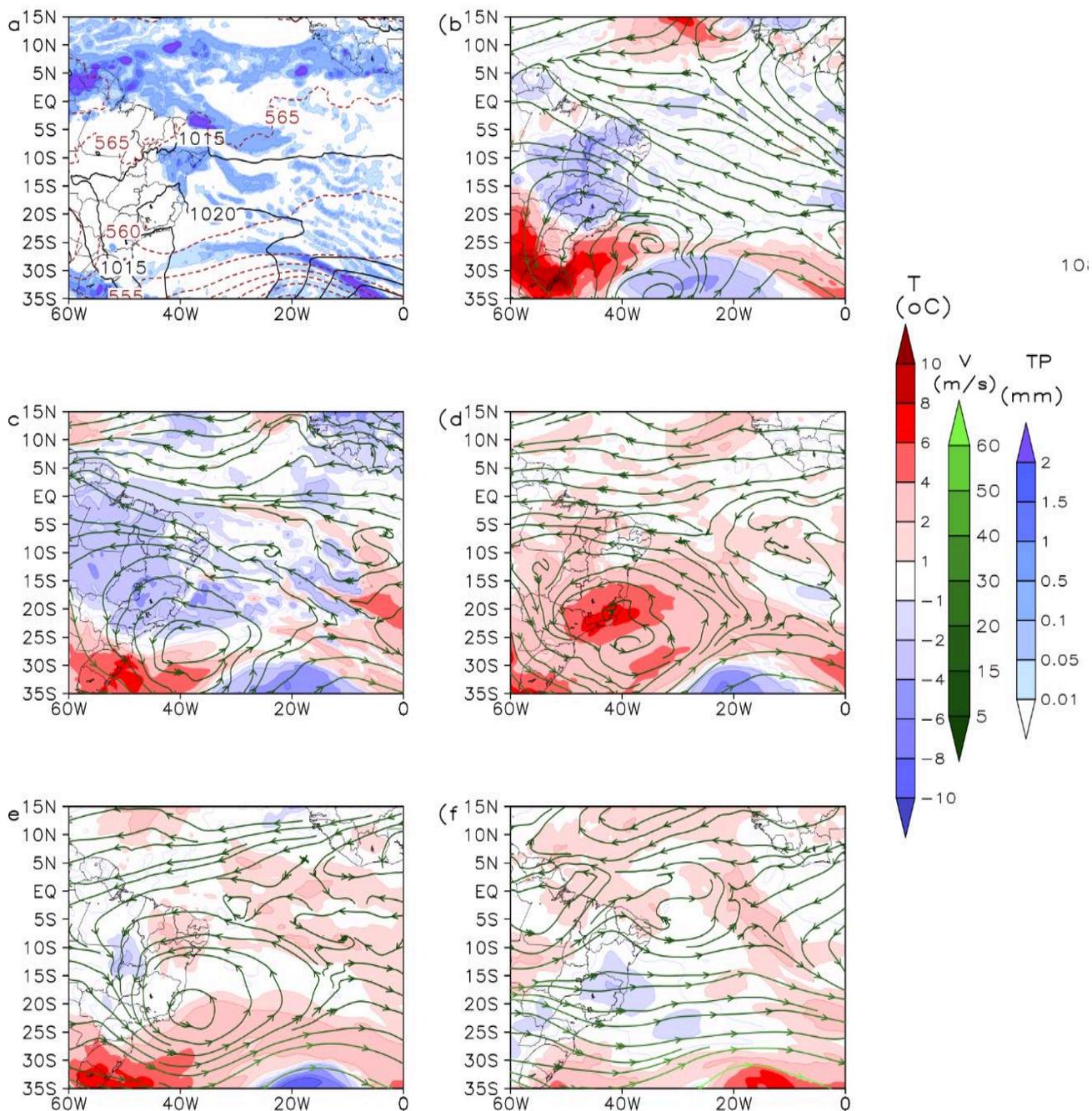
Latitude: -5.91 | Longitude: -35.25 | Elevação: 49.0 m

a



b



C

De acordo com o perfil termodinamico do dia 23 de junho de 2020, forte instabilidade na superficie seguida de duas inversões de subsidencias e CAPE negativo de 890 hPa a 620 hPa, com algumas áreas demonstrando um pouco de umidade como nos níveis 550 com nuvem do tipo Altostratus e em 320 com nuvens do tipo Cirrustratus (Cs). Analisando o METAR, observa-se que a região apresenta condições meteorológicas onde o vento precede do sudeste a uma velocidade de 14

nós, com visibilidade superior a 10 km e não possui presença de nuvens significativas abaixo de 5000 pés.

A imagem de satélite mostra que maior parte do território com pouca nebulosidade, e muita presença de nuvens convectivas nas proximidades, apesar de haver nebulosidade vinda de leste, provavelmente uma parte que se despreendeu da ZCIT e alcançou o nordeste do Brasil.

No período entre os dias 21 e 27 de junho, é possível observar a presença de um anticiclone estacionário localizado no Atlântico Sul, o qual se estende desde 925 hPa até 250 hPa. Exercendo influência não apenas sobre a cidade de Natal, mas também abrange uma grande extensão do Litoral Brasileiro.

No dia 23, torna-se evidente uma maior influência dos ventos alísios provenientes do sudeste sobre o estado do Rio Grande do Norte, o que pode ter contribuído para o registro de precipitação na região.

Em altos níveis, um anticiclone atua entre os dias 23 e 27 de junho sobre a região do Nordeste Brasileiro (NEB), atuando como um bloqueio atmosférico e provocando alterações na circulação, tornando-a mais meridional na região.

O VCAN (Vórtice Ciclônico de Altos Níveis), posicionado sobre a crista do Sistema de Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), apresenta circulação fechada na extremidade da crista do ASAS, o que indica, um anticiclone barotrópico de núcleo quente. Isso, por sua vez, favorece a formação de CCMs.

5.5 5º CASO: 11 DE MARÇO DE 2019, MÉTODO 2- MENOR TEMPERATURA PREVISTA

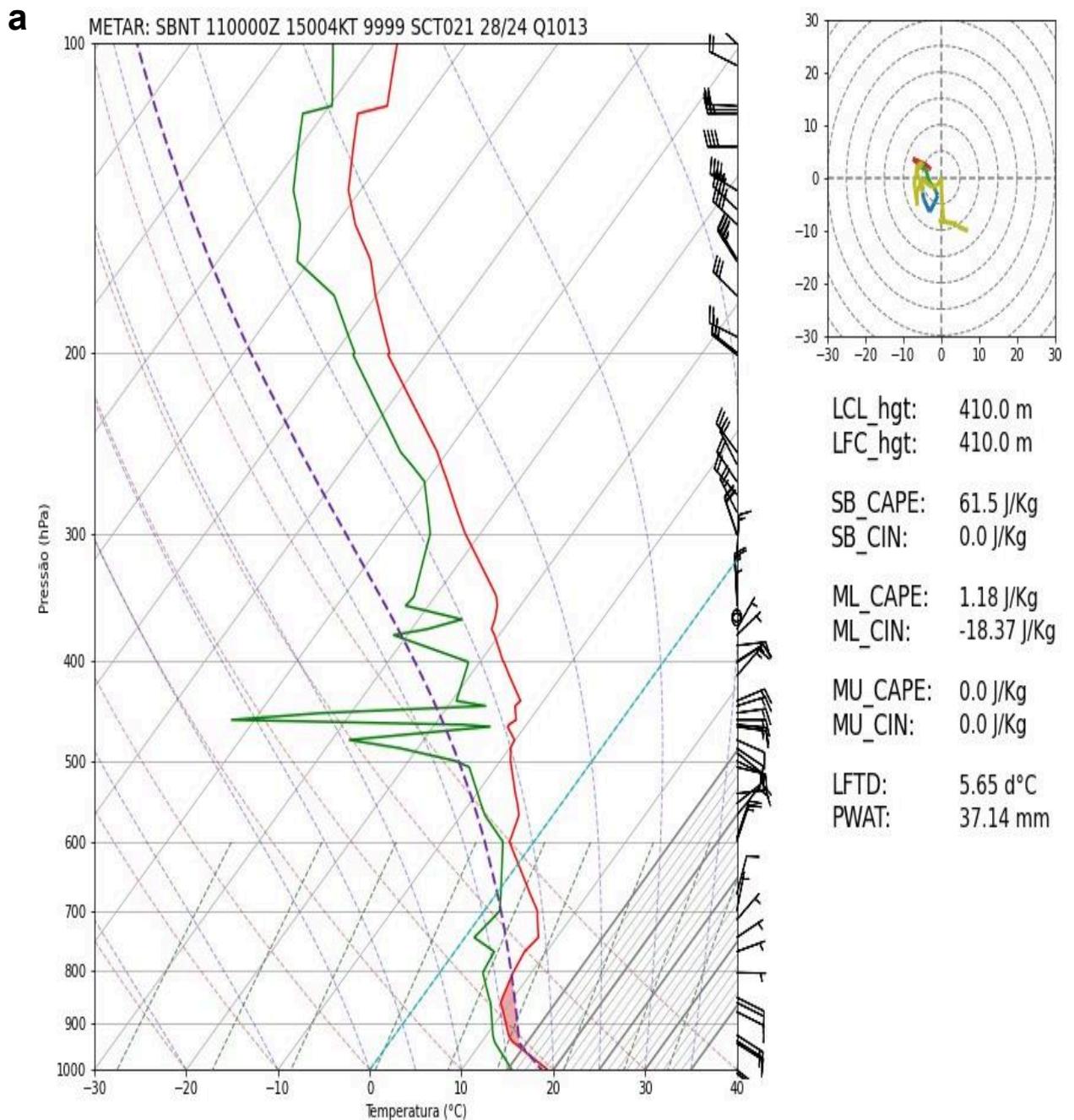
Diferentemente dos quatro casos analisados anteriormente, que apresentavam os maiores erros para quando a temperatura máxima prevista era superestimada, o quinto caso apresenta o dia, em relação a todo período de previsão e independentemente do método, em que a temperatura máxima prevista mais foi subestimada.

A menor temperatura máxima registrada ocorreu em 2019 no método 2, onde a temperatura máxima prevista foi subestimada por um erro de 9°C de diferença, registrando 19°C, enquanto a temperatura máxima observada marcou 28°C.

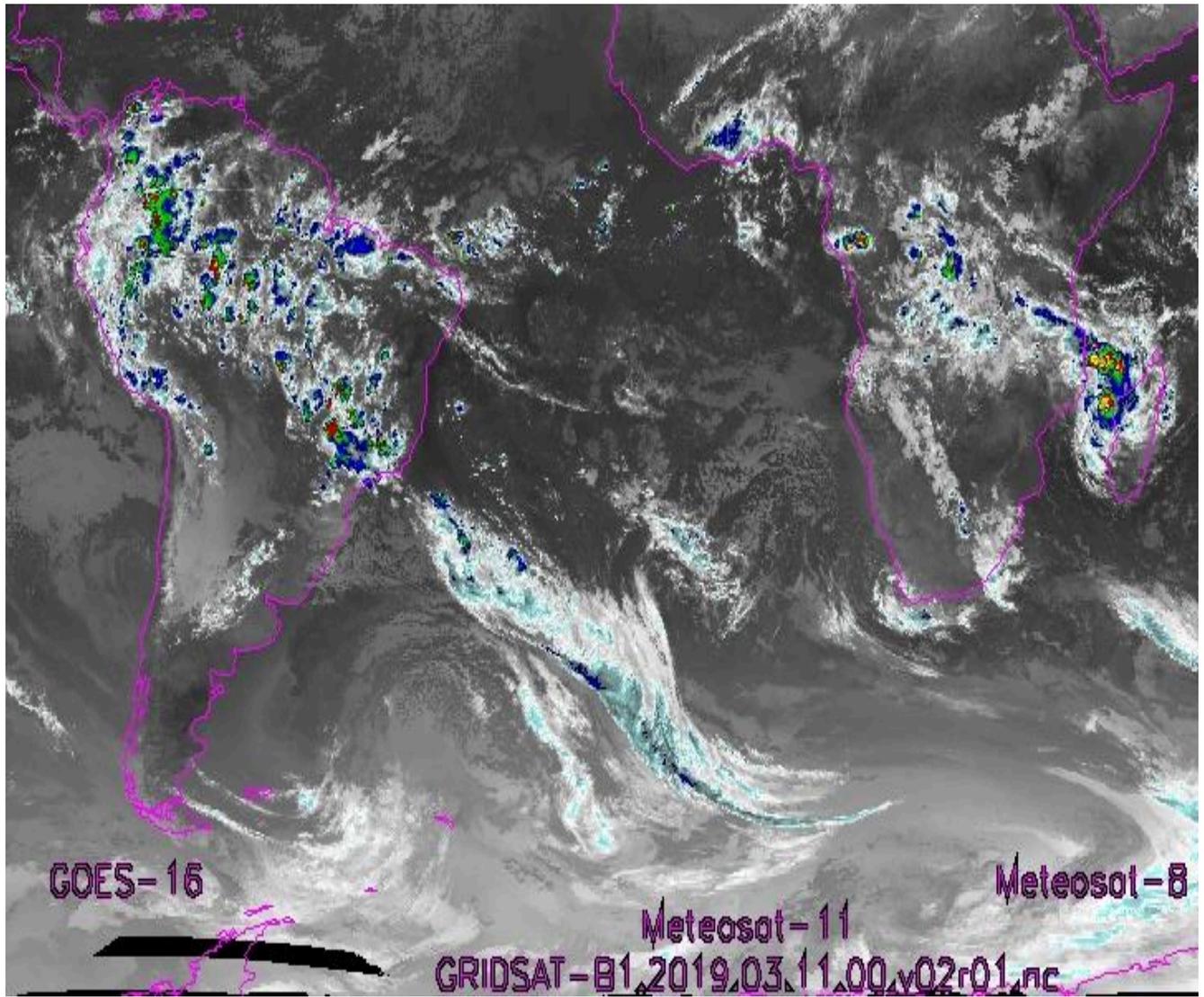
Figura 15- A figura apresenta a) Diagrama termodinâmico skew-T, b) imagem de satélite e c) onde estão contidas; a) pressão e espessura em 1000 hPa, linhas de correntes em b) 925 hPa, c) 850, hPa, d) 700 hPa e) 500 hPa e)250 hPa

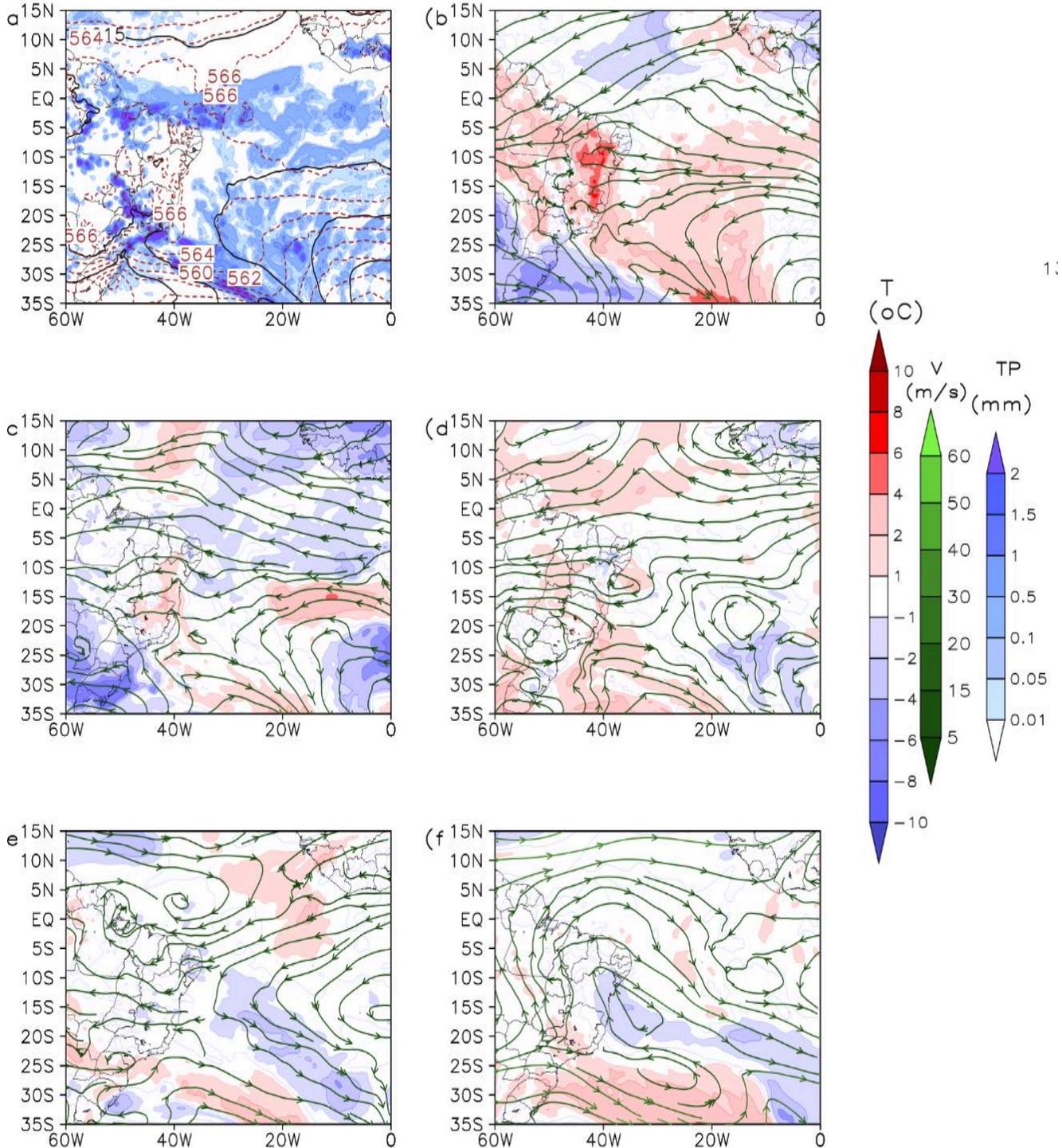
Local da radiosondagem: SBNT | Validade: 11/3/2019 - 00UTC

Latitude: -5.91 | Longitude: -35.25 | Elevação: 49.0 m



b



c

Analisando o perfil vertical do 5° caso, a menor temperatura prevista entre os dois métodos foi obtida pelo método 2, encontra-se um perfil com bastante instabilidade em superfície, com um baixo CAPE positivo em baixos níveis indicando a presença de nuvem convectiva do tipo Cumulus humilis, observa-se também a presença de pequenas inversões de subsidência e algumas isotermias ao longo do

perfil. Analisando o METAR da região, é possível observar que o vento é proveniente de sul-sudeste a uma velocidade de 4 nós, há uma boa visibilidade, superior a 10km, e existe a presença de nuvens dispersas em 20100 pés acima da superfície.

É observado na imagem de satélite o desenvolvimento de nuvens convectivas na região da ZCAS, é visto ainda a presença de fragmentos da ZCIT com nuvens convectivas sobre o estado do Rio Grande do Norte.

No dia 11 de março, os ventos alísios do hemisfério norte e do hemisfério sul se confluência ao estado do Rio Grande do Norte, uma vez que os ventos provenientes do hemisfério sul foram ligeiramente desviados por um sistema de alta pressão sob o Atlântico. Foi verificado um Vórtice ciclônico de Altos Níveis (VCAN) se formou em 250 hPa no HS, uma parte do VCAN se desloca para o HN, onde ganha intensidade e forma um anticiclone (circulação horária) o que pode causar bloqueio atmosférico na região.

No sul do Atlântico, entre os dias 9 e 13 de março, há um sistema frontal que posteriormente se liga a ZCAS e um ciclone, é possível observar ainda a atuação da ZCIT na região. Durante esse período, verificou-se a formação de um sistema de alta pressão no Atlântico, indo de 925 hPa até 500 hPa, em 250 hPa, além de, a presença de um VCAN sobre o NEB agindo como um bloqueio na região.

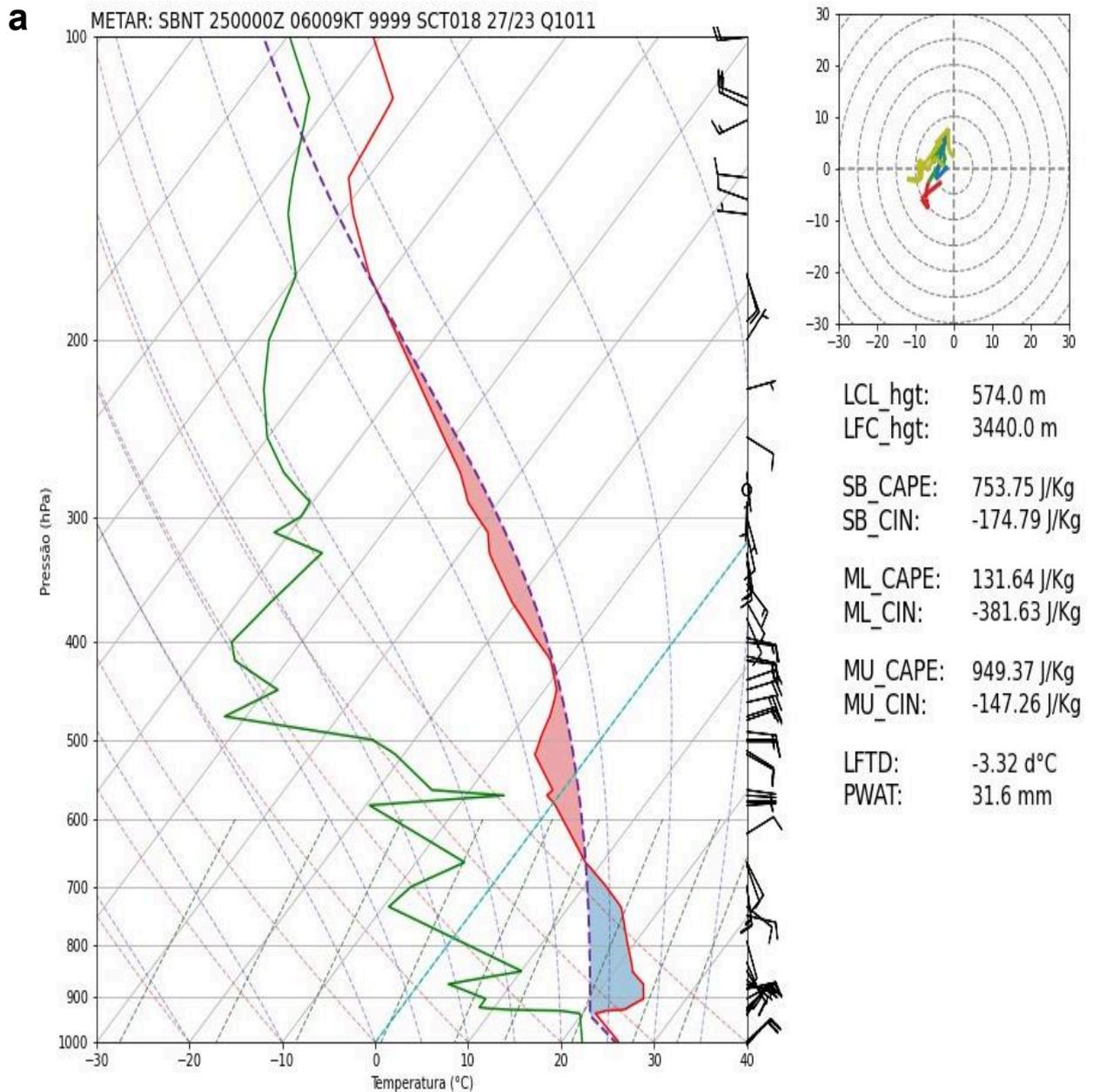
5.6 6º CASO: 25 DE NOVEMBRO DE 2019, MÉTODO 2 (temperatura dentro da diferença esperada)

O sexto, e último caso, o qual não foi escolhido por nenhum motivo específico, tem por objetivo analisar o dia em que a previsão da temperatura máxima prevista esteve dentro do limite de 2°C.

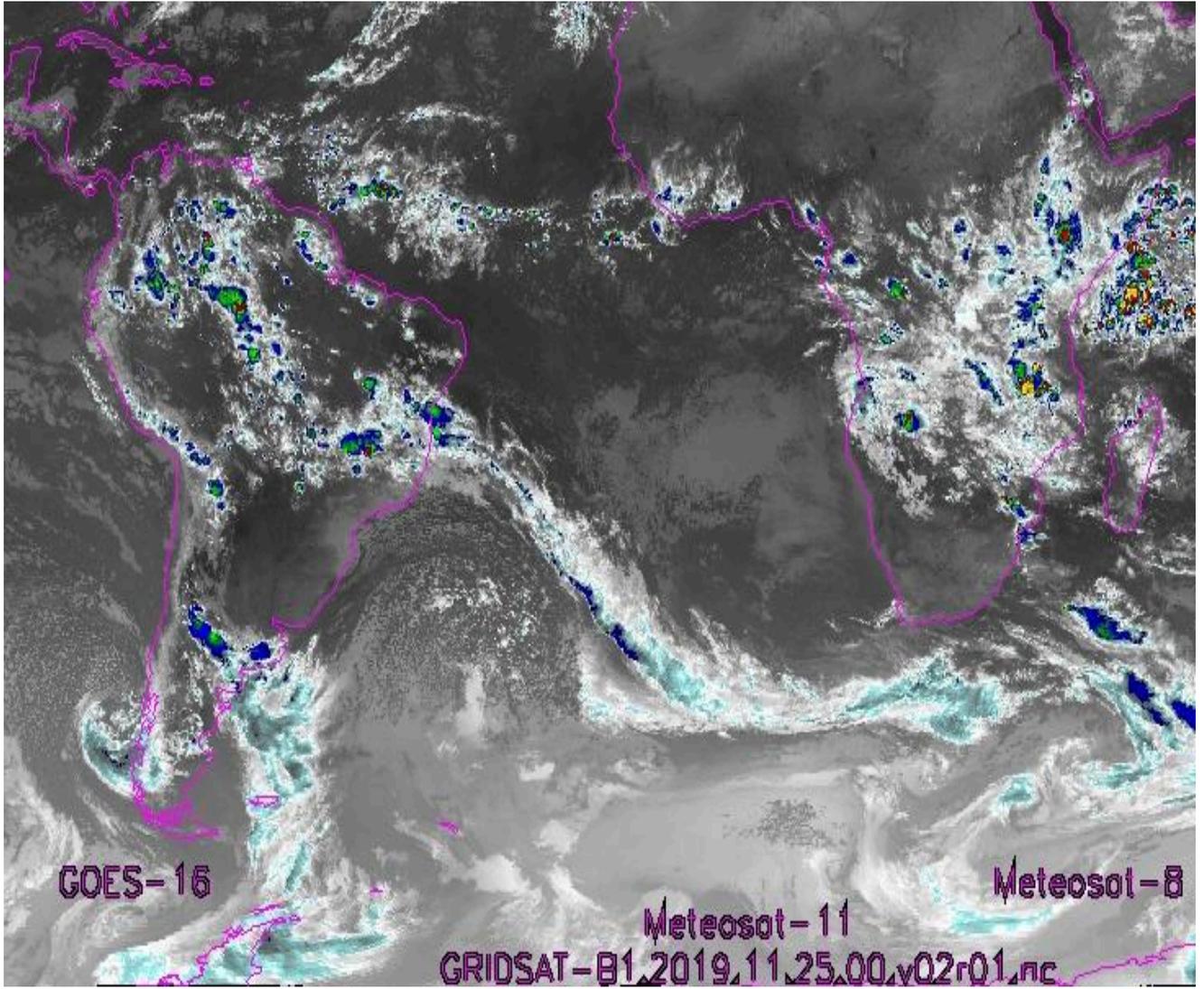
Foi analisado o dia 25 de janeiro de 2019, para o método 2, onde a temperatura máxima prevista registrada foi de 28°C, enquanto a temperatura máxima observada era de 27°C.

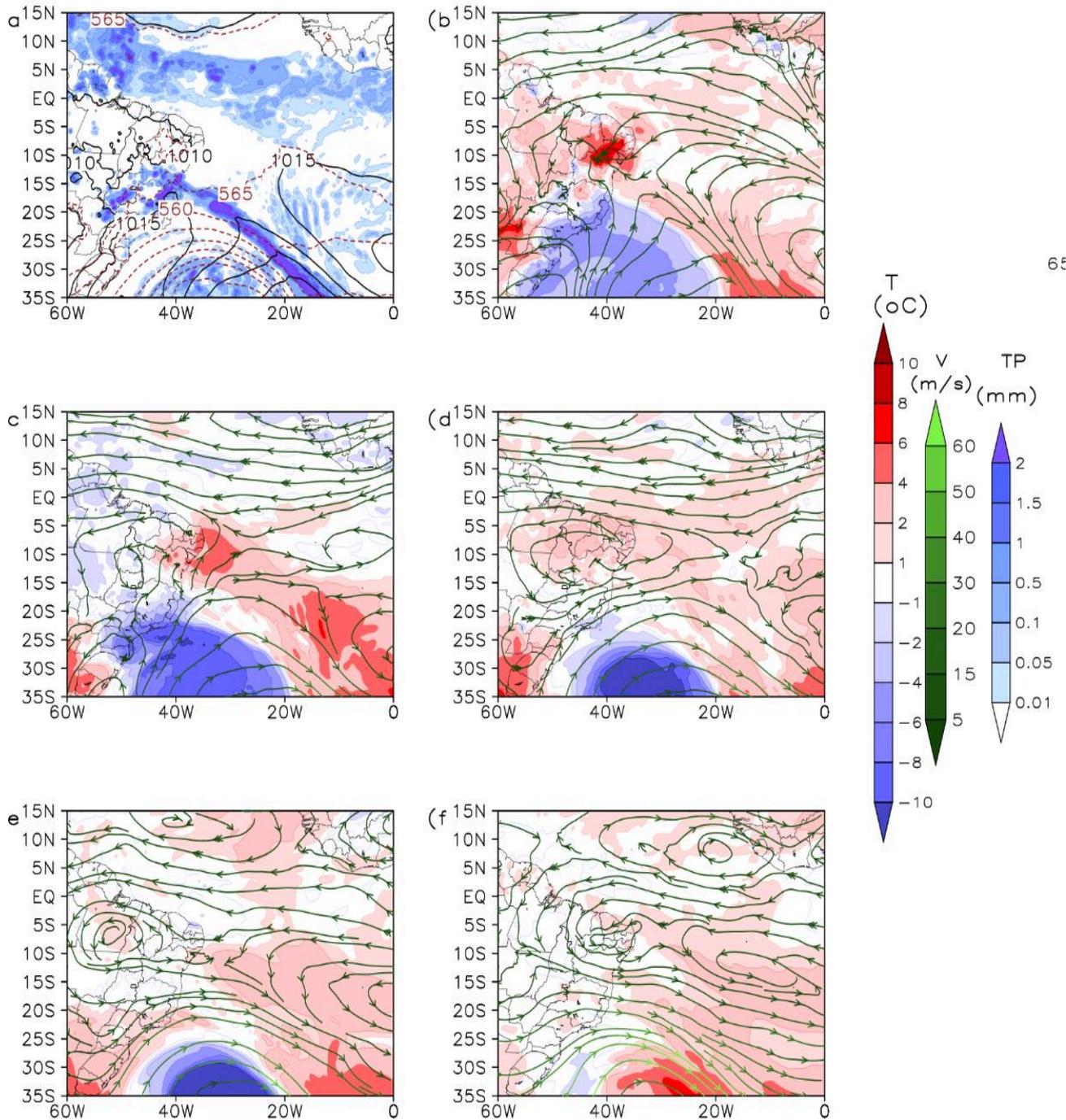
Figura 16- A figura apresenta a) Diagrama termodinâmico skew-T, b) imagem de satélite e c) onde estão contidas; a) pressão e espessura em 1000 hPa, linhas de correntes em b) 925 hPa, c) 850, hPa, d) 700 hPa e) 500 hPa e)250 hPa.

Local da radiosondagem: SBNT | Validade: 25/11/2019 - 00UTC
 Latitude: -5.91 | Longitude: -35.25 | Elevação: 49.0 m



b



C

O perfil termodinâmico do dia 25 de novembro, apresenta instabilidade atmosférica em superfície juntamente com uma inversão de subsidência e CAPE negativo de 910 a 680 hPa, onde o CAPE torna-se positivo até altos níveis. O perfil de modo geral não apresenta umidade, porém há a presença de nuvens convectivas do tipo Altocumulus (Ac) na região. O código METAR a apresenta condições onde o vento está na direção leste-noroeste a uma velocidade de 9 nós, de visibilidade

superior a 10km com nuvens dispersas a 1800 pés a cima do solo, desse modo apresenta vento moderado, boa visibilidade e a uma altitude especifica apresenta nuvens dispersas.

A principal razão para a diferença entre a temperatura máxima prevista e a observada no dia 25 de novembro se deve à passagem de um sistema frontal do Hemisfério Sul, que ocorreu entre os dias 18 e 30 de novembro de 2019 e se estendeu ao norte de 10°S.

Esse processo de invasão do sistema frontal teve início em 18 de novembro, quando um ciclone se formou no Sul do Atlântico, entre as coordenadas 45°S, 35°S e 40°W, 30°W, e apresentou um sistema frontal associado ao Jato de Baixos Níveis (JBN) na região Amazônica.

O sistema frontal do ciclone permaneceu associado à região até 20 de novembro, dando origem à Zona de Convergência Intertropical (ZCAS), que foi confirmada por meio de verificações em outros campos de dados. O sistema frontal se dissipou entre 21 e 22 de novembro, após a formação de um novo ciclone na extremidade da Corrente de Jato Polar, situado entre 50°S, 40°S e 50°W, 20°W.

Uma nova entrada de sistema frontal, associada ao segundo ciclone, foi observada entre 23 e 26 de novembro. Durante esse período, o centro do ciclone apresentou a formação de frentes secundárias e um acoplamento simultâneo entre a Corrente de Jato Polar (CJP) a 40°S, 20°W, o sistema frontal entre 40°W e 20°W, e o Jato de Baixos Níveis (JBN) a 10°S e 40°W. A região de vanguarda do sistema frontal, a baixos níveis (925 e 825 hPa), apresentou aumentos significativos de temperatura, entre 6 e 10°C, nos dias 24 e 25 de novembro.

Durante esse processo, também foi observada a formação de uma região de convergência nas linhas de corrente no nível 925 hPa, sobre o Nordeste do Brasil, entre 10°S, 5°S e 45°W, 40°W, em 25 de novembro. Além disso, houve a formação de sistemas com circulação anticiclônica acima da região de convergência, entre os níveis 825 e 250 hPa, o que indicou a presença de um anticiclone barotrópico de núcleo quente formado entre os dias 23 e 25 na vanguarda do sistema frontal.

5.7 As propostas para solusao de erros de previsao de Tmax

Análise das situações quando os erros de previsão de temperatura máxima foram maiores mostrou dois principais problemas. Primeiro problema foi associado com os erros na identificação de quantidade e tipos de nuvens. Segundo problema foi associado com a existência de inversão de subsidência intensa

5.7.1- Erros na identificação de quantidade e tipos de nuvens

Este erro ocorreu devido a presença de nebulosidade intensa associada ao acoplamento entre a ZCIT, VCAN e extremidades frontais. A presença de nuvens convectivas no perfil vertical ocasionou temperaturas previstas acima do observado, ocasionadas pelo bloqueia da radiação solar e resfriamento da superfície através da precipitação.

Temperaturas observadas com valores acima da prevista foram identificados na ausência de nuvens convectivas intensas. As condições de céu claro permitiram o aquecimento do ar na superfície ocasionando o erro. Para a solução deste problema é recomendado avaliar a formação de nebulosidade de acordo com a situação sinótica, utilizando imagem de satélites ou campos sinóticos.

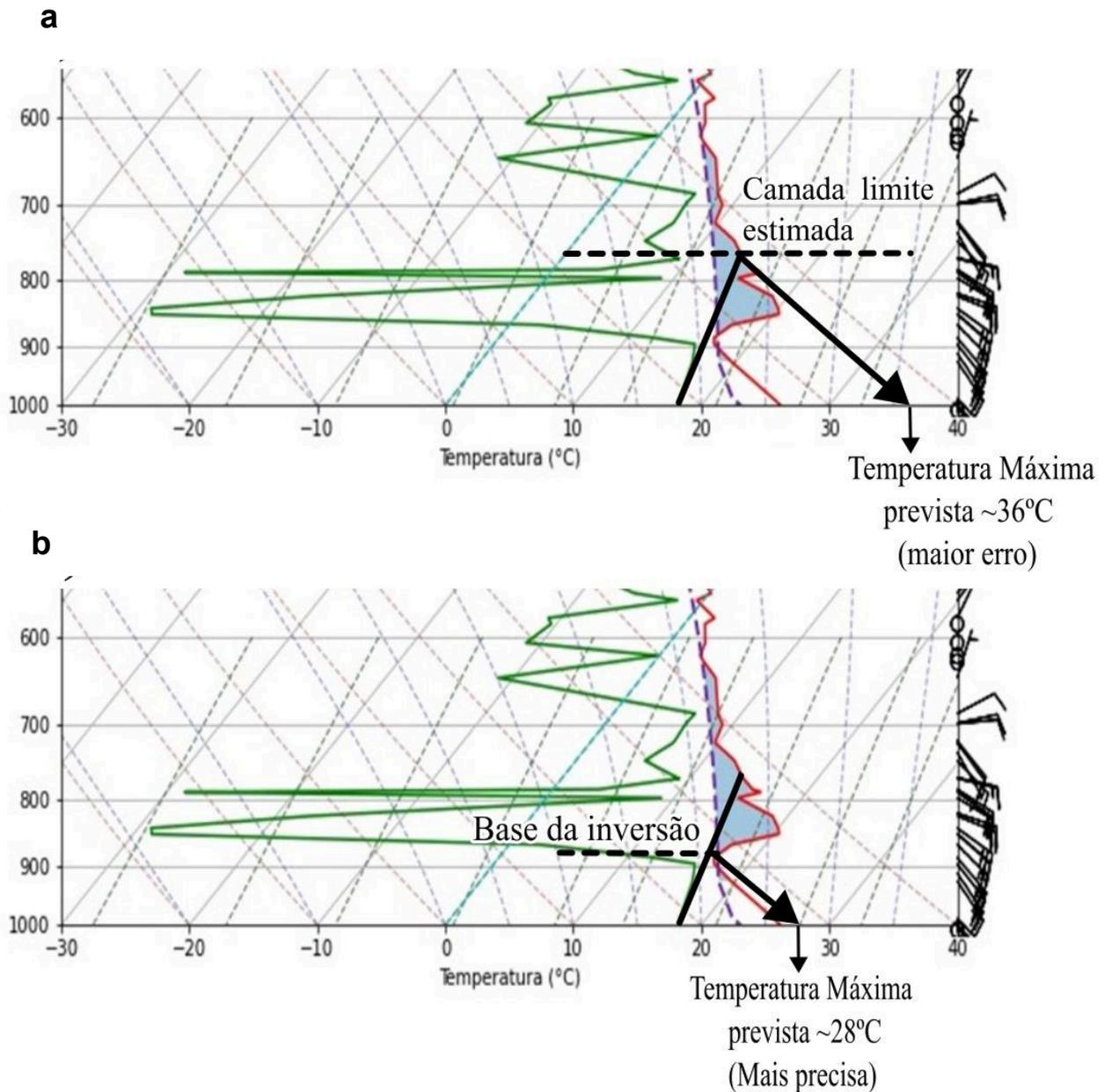
5.7.2 - Inversão de subsidência intensa em baixos níveis

A presença de subsidência em baixos níveis dificultou a formação de nebulosidade, ocasionando temperaturas acima do previsto. Para a solução deste problema recomenda-se que a previsão da temperatura máxima deve ser realizada através da identificação da base da inversão de subsidência, como mostra a figura 14. Desde a base de inversao, linha deverá ser traçada até o nível da superfície, seguindo paralela á adiabática seca mais próxima. Neste ponto será encontrada a temperatura máxima.

Um exemplo desta análise pode ser observada na figura 14. Onde percebe-se instabilidade absoluta entre 1000 e 900 hPa, com forte inversão de subsidência entre 900-850 hPa e e fraca inversão entre 800 e 790 hPa. A partir de 720 até 550 hPa, observa-se uma atmosfera estável. O CAPE (área azul preenchida) negativo demonstra que não há energia o suficiente para o desenvolvimento de nebulosidade convectiva.

Para aumentar a precisão da previsão uma linha paralela á adiabática seca deverá ser traçada entre a base da inversão de subsidência (890 hPa) e a superfície. A temperatura máxima será encontrada onde a linha encontra a superfície

Figura 17- Diagrama termodinâmico para o dia 23 de junho de 2020: a) cálculo da Tmax pelo método 2. B) cálculo da Tmax da base de inversão de subsidência



6. Conclusão

As análises foram realizadas para dois anos, utilizando os dados de radiossonda disponíveis Natal – RN, totalizando 1119 casos. Análises sinótica detalhadas foram realizadas em 6 casos, quatro com temperatura acima da observada, um caso com temperatura abaixo da observada e um caso com a temperatura dentro do esperado. Nos estudos de caso foram observadas as influências de sistemas sinóticos na qualidade da previsão

Na análise estatística predominaram, para o método 1, valores de viés estatístico entre 2,73 e -0,23, de Erro Quadrático Médio (EQM) entre 14,37 e 0,83, e Raiz do Erro Quadrático Médio (REQM) entre 3,79 e 0,91. Para o método 2 predominaram para o Viés valores entre 1,08 e -1, EQM entre 4,80 e 2,16 e REQM entre 2,32 e 1,60.

Os maiores erros de previsão de temperatura máxima ocorreram por dois motivos: 1) devido dos erros na identificação de quantidade e tipos de nuvens e 2) existência de inversão de subsidência intensa.

Nos estudos de caso, a influência de sistemas sinóticos foi observada através da formação de nebulosidade intensa, estas condições influenciaram a qualidade da previsão. Os sistemas observados foram: Zona de convergência Intertropical (ZCIT), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), Vorticies Ciclônicas de Altos Níveis (VCAN), Perturbação Ondulatória dos Alísios (POA), e as Zonas frontais.

As maiores discrepâncias entre as temperaturas previstas e observadas ocorridas durante o verão, o que coincide com a época de formação de VCANs na região. A ocorrência de VCAN foi identificada em todos os casos com os erros de previsão.

Em quatro dos 6 casos analisados detalhadamente, a temperatura prevista foi acima da observada e os erros de previsão ocorreram devido a influência da nebulosidade. Nos casos 1 e 2, a nebulosidade foi resultado do acoplamento entre a ZCIT e zonas frontais ou ZCAS. Este processo ocorreu onde havia a presença VCAN. Nos casos 3 e 4, a nebulosidade convectiva intensa estava localizada na periferia

VCAN. No caso 4, a instabilidade se desenvolveu acima da camada de inversão, onde a camada mais quente encontrava-se próximo do nível 850 hPa.

No caso 5, a temperatura prevista foi abaixo da observada. O perfil vertical mostrou a existência de diversas finas camadas de nuvens separadas em todos os níveis. O erro na previsão foi ocasionado por estas condições. Várias camadas de subsidência e de fracas convecções também foram identificadas. Essas finas camadas de nuvens são muito sensíveis a quaisquer modificações de temperatura ao longo do dia, devido a condições de subsidência e advecções fracas. A previsão foi baseada na existência de nuvens, entretanto as nuvens finas dissiparam-se, ou não foram observadas, modificando as condições utilizadas na previsão.

Em situações sinóticas mais típicas, como no caso 6, as zonas frontais ou ZCAS não atravessaram a área de estudo e a presença do VCAN não foi observada. Nestes casos, as temperaturas previstas são muito próximas às observadas. A presença de camadas com inversão de subsidência proporciona a estabilidade térmica da atmosfera, reduzindo a formação de nuvens e precipitações e proporcionando condições estáveis onde a radiação solar pode aquecer a superfície de modo mais eficiente, provocando temperaturas mais elevadas.

De maneira geral, a previsão mostrou-se satisfatória, ou seja, correspondeu de modo preciso ou muito próximo à temperatura observada. No método 1 (análise objetiva), as temperaturas observadas e previstas estiveram dentro da margem de erro em 68% e 76% dos casos para os anos de 2019 e 2020. No método 2 (análise operacional), as temperaturas observadas e previstas estiveram dentro da margem de erro em 92% dos casos, tanto para 2019 quanto para 2020. Os erros observados no método 1, estavam associados a identificação da camada com nebulosidade e à presença dos sistemas sinóticos citados anteriormente.

7- Referências

Andrade, L.S. Variabilidade Decadal da Zona de Convergência Intertropical e sua Influência na Pluviosidade da região Norte do Brasil. 2007. Dissertação (Mestrado em Meteorologia). Universidade Federal de Alagoas – UFAL, Maceió/AL

Amorim, A. C. B., Scudelari, A. C., Amaro, V. E., & Matos, M. d. F. A. d. Variability of the extreme daily rainfall in the city of natal, rio grande do norte state, northeast brazil. Anuário Do Instituto De Geociências - UFRJ, 42(4), 284-295, 2019 https://doi.org/10.11137/2019_4_284_295.

Byrne, M., Pendergrass, A., Rapp, A., & Wodzicki, K. Response of the intertropical convergence zone to climate change: location, width, and strength. Current Climate Change Reports, 4(4), 355-370, 2018. <https://doi.org/10.1007/s40641-018-0110-5>
Bulletin of the American Meteorological Society, 92, 893-907.

Carpenedo, C. Atividade convectiva associada às anomalias de temperatura da superfície do mar no atlântico tropical e impactos climáticos no estado de minas gerais. Revista Brasileira De Climatologia, 1, 2018. <https://doi.org/10.5380/abclima.v1i0.60355>.

Cavalcanti, i. F. A.; kousky, v.e. frentes frias sobre o brasil. In: cavalcanti, i. F. A., ferreira, n. J., justí da silva, m. G. A.; silva dias, m. A. F. Tempo e clima no brasil. 2009. São paulo: oficina de textos. Cap. 9, p. 133-147.

Costa, J. D. d., Amaral, R. F. d., & Araújo, P. V. d. N. Evolução espaço-temporal da ocupação urbana sobre áreas naturais em ambientes costeiros. Revista Brasileira De Geografia Física, 14(4), 1957-1971, 2021 <https://doi.org/10.26848/rbgf.v14.4.p1957-1971>

Dury, G. H. High temperature extremes in Austrália. Annals of the Association of American Geographers, p. 388-400. 1972.

Fetter, R., Oliveira, C., & Steinke, E. Um índice para avaliação da variabilidade espaço-temporal das chuvas no brasil. Revista Brasileira De Meteorologia, 33(2), 225-237, 2018. <https://doi.org/10.1590/0102-7786332002>

Fedorova, N., Carvalho, M.H., Levit, V., Marcelino, B.C., Gonçalves, A.M., Alves E.P., Signorini, E, Pinheiro, G.C., Marques ,J., Oliveira, V.M., Almeida, A.J., Botelho, C.B.,

“A maximum temperature forecasting method for the city of Pelotas, Rio Grande do Sul.” *Meteorologica* 30, n 1-2: 91-99, 2005.

Fedorova, n.; Levit, v.; Cruz, C. D. On frontal zone analysis in the tropical region of the northeast brazil. *Pure and applied geophysics*. 2015. Doi 10.1007/s00024-015- 1166-
Fedorova Natalia, Pontes Da Silva Bruce Francisco, Levit Vladimir. Análise e previsão prática das nuvens pelo diagrama termodinâmico SKEWT/LOG-P, 227p. ISBN: 978-85-92336

Fedorova, N., Carvalho, M.H., Gonçalves, A, M., Alves E.P., Signorini, E, Pinheiro, G.C., Marques, J., Oliveira, V.M., Almeida, A.J. “Verificação de um método de previsão de temperatura máxima para Pelotas” *Revista Brasileira de Meteorologia* 14, no. 2., 37-45, 1999.

Fedorova Natalia. *Meteorologia Sinótica*. Volume 1. Pelotas: Ed. Universitária/UFPel, 260p, ISBN: 85-7192-108-3, 1999.

Fedorova Natalia. *Meteorologia Sinótica* Volume 2. Pelotas: Ed. Universitária/UFPel, 242p, ISBN: 85-7192-145-7, 2001.

Fritzsos, E.; Mantovani, L. E., V.; Aguiar, A. V. Relação entre altitude e temperatura: uma contribuição ao zoneamento climático no Estado do Paraná. *Revista de Estudos Ambientais*, v. 10, p. 40-48, 2008.

Francelino, M. R., Filho, E. I. F., Resende, M. D. V. d., & Leite, H. G. Contribuição da caatinga na sustentabilidade de projetos de assentamentos no sertão norte-riograndense. *Revista Árvore*, 27(1), 79-86, 2003. <https://doi.org/10.1590/s0100-67622003000100011>

JUNIOR, N. C. R.; Santiago, A. M.; GOMES, R. J. Fotoquímica na Atmosfera. Universidade Federal do Espírito Santo – Programa de Pós-Graduação Engenharia Ambiental, p. 19, 2005

Kousky, V.E. 1979. Frontal Influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*, 107: 1140–1153

Kousky, V. E.; Elias, M. *Meteorologia Sinótica: Parte 1*. INPE – 2605 – MD/021, pp 107, 1982.

Lemos, C.F. & Calbete, N.O. 1996. Sistemas Frontais que atuaram no Litoral de 1987 a 1995. Climanálise - Boletim de Monitoramento e Análise Climática Edição Especial de Comemoração de 10 Anos

Levine, A., Frierson, D., & McPhaden, M. (2018). Amo forcing of multidecadal pacific itcz variability. *Journal of Climate*, 31(14), 5749-5764. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-17-0810.1>

Lyra, M. J. A., de Freitas, I. G. F., & de Barros Santiago, D Precipitação Intensa Associado às Perturbações Ondulatórias dos Alísios Sobre o Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 13, n. 07, p. 3195-3205, 2020.

Martins, G., Rosa, A., Setzer, A., Rosa, W., Morelli, F., & Bassanelli, A. (Dinâmica espaço-temporal das queimadas no brasil no período de 2003 a 2018. *Revista Brasileira De Geografia Física*, 13(4), 1558-1569. 2020). <https://doi.org/10.26848/rbgf.v13.4.p1558-1569>

Mingalev, I., Orlov, K., & Mingalev, V. (2019). Results of numerical modeling of the origin of cyclones and anticyclones in the vicinity of the intertropical convergence zone. *Atmospheric and Climate Sciences*, 09(02), 213-228. <https://doi.org/10.4236/acs.2019.92015>

Magnusdottir, 2011. Globally gridded satellite (GridSat) observations for climate studies.

Molion, L.C.B.; Bernardo, S.O. Uma Revisão da Dinâmica das Chuvas no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 17, n. 1, pp. 1-10, 2002.

Molion, L.C.B. Micrometeorology of an Amazonian rainforest, in: *The Geophysiology of Amazonia*, Dickinson, R.E. (ed.), 255-270, UNU, John Wiley and Sons, 1987

Marengo, J. A., Valverde, M. C. Caracterização do clima no Século XX e Cenário de Mudanças de clima para o Brasil no Século XXI usando os modelos do IPCC-AR4. *Revista Multiciência*, v. 8, n. 1, p. 5-28, 2007.

Medeiros, S. D. S., Cecílio, R. A., de Melo Júnior, J. C., & da Silva Junior, J. Estimativa e espacialização das temperas do ar mínimas, médias e máximas na Região Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v. 9, n. 2, p. 247-255, 2005.

Ross, Sheldon M. *Introduction to probability and statistics for engineers and scientists*. 5. ed. Los Angeles, Usa: University Of Southern California, 2014. 670 p. Disponível

em: <https://minerva.it.manchester.ac.uk/~saralees/statbook3.pdf>. Acesso em: 29 set. 2023.

Reboita, M.S.; Gan, M.A.; Rocha, R.P. & Ambrizzi, T. 2010. Regimes de precipitação da América do Sul: Uma revisão bibliográfica. *Revista Brasileira de Meteorologia*, 25(2): 185-204.

Reboita, M. and Santos, I. (2015). Influência de alguns padrões de teleconexão na precipitação no norte e nordeste do Brasil. *Revista Brasileira De Climatologia*, 15. <https://doi.org/10.5380/abclima.v15i0.37686>

Reboita, M., Rodrigues, M., Armando, R., Freitas, C., Martins, D., & Miller, G. (2016). Causas da semi-aridez do sertão nordestino (the causes of semi-aridity in the northeast "sertão"). *Revista Brasileira De Climatologia*, 19. <https://doi.org/10.5380/abclima.v19i0.42091>

Song, X. and Zhang, G. (2019). Culprit of the eastern Pacific double-ITCZ bias in the Ncar Cesm1.2. *Journal of Climate*, 32(19), 6349-6364. <https://doi.org/10.1175/jcli-d-18-0580.1>

Silva, A.B.P, Molion, L.C.B. 2002. Extremos de Precipitação Sobre a Costa Leste do Nordeste do Brasil: O Evento de Agosto de 2000. In: congresso brasileiro de meteorologia, 12, Foz do Iguaçu. Anais, Foz do Iguaçu, SBMET.

Silva, B., Fedorova, N., Levit, V., Peresetsky, A., & Brito, B. (2011). Sistemas sinóticos associados às precipitações intensas no estado de Alagoas. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 26(3), 323-338. <https://doi.org/10.1590/s0102-77862011000300001>

SACCO, F. G., ASSIS, S. V., Correlação entre radiações solar global medida e estimada. In: XIII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Fortaleza-CE. Ed. nº41, 2004

SANTOS, P. J. D. Espacialização da temperatura mensal e anual do ar no estado de Alagoas baseado em modelo determinístico global. 2010. 66 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010. Disponível em:

https://www.repositorio.ufal.br/bitstream/riufal/899/1/Dissertacao_PauloJoseDosSantos_2010.pdf. Acesso em: 10 dez. 2023.

Tanajura, C., Genz, F., & Araújo, H. (2010). Mudanças climáticas e recursos hídricos na Bahia: validação da simulação do clima presente do HadRM3p e comparação com os cenários A2 e B2 para 2070-2100. *Revista Brasileira De Meteorologia*, 25(3), 345-358. <https://doi.org/10.1590/s0102-77862010000300006>

Veber, M.E. 2011. Desenvolvimento de atividade convectivas sobre a região nordeste do Brasil, organizada pela extremidade frontal. Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Universidade Federal de Alagoas, Dissertação de Mestrado 132p

Wang, T., Wang, N., & Jiang, D. (2023). Last glacial maximum itcz changes from pmip3/4 simulations. *Journal of Geophysical Research Atmospheres*, 128(10). <https://doi.org/10.1029/2022jd038103>