



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE ALAGOAS - UFAL
INSTITUTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS – ICAT
CURSO DE GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA**

CAMILA GOMES DE OLIVEIRA

**ATUAÇÃO DA CORRENTE DE JATO DO NORDESTE BRASILEIRO ASSOCIADA
A DIFERENTES SISTEMAS SINÓTICOS**

**MACEIÓ-AL
2023**

CAMILA GOMES DE OLIVEIRA

**ATUAÇÃO DA CORRENTE DE JATO DO NORDESTE BRASILEIRO ASSOCIADA
A DIFERENTES SISTEMAS SINÓTICOS**

Projeto de TCC apresentado à Universidade Federal de Alagoas –UFAL – como pré-requisito para a obtenção do grau de Bacharelado em Meteorologia, sob orientação da Prof^a. Dr^a. Natalia Fedorova.

**MACEIÓ-AL
2023**

Catálogo na Fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico

Bibliotecário: Marcelino de Carvalho Freitas Neto – CRB-4 – 1767

O48a

Oliveira, Camila Gomes de.

Atuação da corrente de jato do nordeste brasileiro associada a diferentes sistemas sinóticos / Camila Gomes de Oliveira. – 2023.
83 f. : il.

Orientadora: Natalia Fedorova.

Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas. Maceió, 2023.

Bibliografia: f. 73-79.

Apêndices: f. 80-83.

1. Correntes de Jato - Brasil, Nordeste. 2. Movimentos verticais. 3. Sistemas sinóticos. I. Título.

CDU: 531.373.44

Dedico este trabalho aos meus avôs queridos, Benedito do Nascimento Neto (in memoriam) e José Miguel Soares (in memoriam), meus melhores amigos nesta vida. Minha avó Maria de Lourdes Soares, que me ensinou muito do que é amar e cuidar de quem amamos, independente de consanguinidade. As minhas tias Marisa e Marinúvia, que sempre estiveram por perto, me dando suporte. Meus pais, Marigleide do Nascimento Gomes e José Candido de Oliveira Filho, que apesar de tudo, me deram e me proporcionaram o que tinham de melhor. Ao Maharishy Gomes, que sempre me incentivou e me fez acreditar ser capaz quando achei que não seria e enfim, aos meus amados orientadores, Natalia Fedorova e Vladimir Levit, que estiveram sempre ao meu lado.

AGRADECIMENTOS

Agradeço aos meus queridos professores, Natalia Fedorova e Vladimir Levit, por não me deixarem cair ou desistir quando parecia difícil demais e por toda a paciência em tirar minhas dúvidas. Ao meu amigo, Davidson, por me ajudar e motivar diariamente, por ser minha mão amiga nas dificuldades acadêmicas.

Ao meu querido Maharishy, por toda motivação e apoio na minha trajetória acadêmica e pessoal, por acreditar em mim quando eu mesma duvidava e por ter me proporcionado avançar quando eu achava que não tinha como.

Ao Matheus Lyra, por estar sempre disponível para ajudar e tirar dúvidas, ao Rafael, meu sensei, que me ajudou a sair do imenso bloqueio criativo em que me encontrava, além de ter me dado lições importantíssimas e aos meus amigos Larissa Omena, Alysson Campos e Paulo Diego, por me acolher, aconselhar e tornar a vida mais leve.

Por fim, aos amigos mais recentes, João Muniz, Eduardo Neves, Roberto Cavalcante, Ian Cardozo e Max Levy, pelas pessoas incríveis que vocês são, pela oportunidade de conhecer, conviver e partilhar boas risadas.

A todos, minha gratidão.

“A vida é uma tempestade [...] Um dia
você está tomando sol e no dia seguinte o mar
te lança contra as rochas. O que faz de você
um homem é o que você faz quando a
tempestade vem.”

O Conde de Monte Cristo - Alexandre Dumas

RESUMO

A economia da região Nordeste, impulsionada pela agricultura, pecuária e turismo, é sensível às variações no tempo. A pesquisa focaliza a influência da Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro (CJNEB) e outros sistemas sinóticos nas condições meteorológicas da região. Recentemente, a CJNEB foi identificada como um fator significativo nas chuvas intensas locais, pois seus movimentos verticais interagem com outros sistemas meteorológicos. O estudo visa a examinar a estrutura vertical da CJNEB em conjunto com a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), Frente Fria (FF), Extremidades Frontais (EF), Alta da Bolívia (AB) e Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN), com foco nas implicações dessas interações na formação de fenômenos meteorológicos adversos. Os dados abrangem o período de 2016 a 2018. As análises sinótica e termodinâmica foram baseadas nos seguintes dados: a) Codificação METAR contendo dados de superfície obtidos pelo Departamento de Controle de Espaço Aéreo (DECEA), b) Imagens de satélite Global ISCCP B1 Browse System (GIBBS) disponibilizados pela Nacional Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA) no canal IR, dos satélites GOES + METEOSAT-10 e GOES 16 no canal infravermelho (IR), disponibilizadas pelo Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), c) Dados de reanálise do modelo numérico ERA5 ($0,25^{\circ} \times 0,25^{\circ}$, distribuídos verticalmente nos níveis padrões de pressão e nos horários sinóticos das 00, 06, 12 e 18 UTC), disponibilizado pelo European Centre for Medium-Range Weather Forecasts (ECMWF). Para a composição dos campos meteorológicos e perfis verticais simulados foi utilizado o software gráfico Grid Analysis and Display System (GrADS). A CJNEB foi observada em 1087 dias (99%), com velocidade média de 35 m/s. ASAS esteve presente em 991 dias, Extremidades Frontais (EFs) em 93 dias, e VCAN e AB atuaram junto com a CJNEB em 380 dias. Cinco casos exemplares ilustram a influência da CJNEB em diferentes cenários sinóticos. No primeiro caso (10/01/2016), a interação da CJNEB com a AB, o VCAN e a ASAS resultou em movimentos verticais que causaram precipitação no litoral de Alagoas, Pernambuco e Paraíba. No segundo caso (23/01/2018), a CJNEB influenciou trovoadas, chuva forte e nevoeiro em Maceió ao interagir com o VCAN e a AB, alterando o padrão do VCAN. O terceiro caso (14/11/2017) mostrou como a CJNEB intensificou os movimentos ascendentes na área onde a EF atuava. O quarto caso (16/07/2017) ilustrou uma interação entre a CJNEB, ASAS, AB e um cavado em altos níveis (CAN), afetando os movimentos verticais da região. No quinto caso (22/08/2018), a CJNEB não esteve presente, e a ASAS foi o principal sistema atuante, sem movimentação profunda observada. Além disso, durante o estudo, houve 748 dias com precipitação na região sob influência da CJNEB e 21 ocorrências de nevoeiro em Campina Grande (SBKG). Este estudo aprofunda a compreensão da influência da CJNEB e outros sistemas sinóticos nas condições meteorológicas de Alagoas, fornecendo informações valiosas para a previsão de eventos climáticos adversos na região.

Palavras-chave: Correntes de Jato do Nordeste brasileiro. Movimentos Verticais. Sistemas sinóticos.

ABSTRACT

The economy of the Northeast region, based on agriculture, livestock, and tourism, is sensitive to weather variations. The research focuses on the influence of the Brazilian Northeast Jet Stream (BNEJS) and other synoptic systems on the region's meteorological conditions. Recently, BNEJS has been identified as a significant factor in local heavy rainfall, as its vertical movements interact with other meteorological systems. The study aims to examine the vertical structure of BNEJS in conjunction with the South Atlantic Subtropical High (SASH), Cold Front (CF), Frontal Boundaries (FB), Bolivian High (BH), and Upper Tropospheric Cyclonic Vortex (UTCV), with a focus on the implications of these interactions on the formation of adverse weather phenomena. The data cover the period from 2016 to 2018. Synoptic and thermodynamic analyses were based on the following data: a) METAR coding containing surface data obtained by the Department of Airspace Control (DECEA), b) GIBBS satellite images in the infrared (IR) channel, provided by NOAA, and GOES + METEOSAT-10 and GOES 16 satellite images in the IR channel, provided by CPTEC, c) Reanalysis data from the ERA5 numerical model ($0.25^{\circ} \times 0.25^{\circ}$, vertically distributed at standard pressure levels and at synoptic times of 00, 06, 12, and 18 UTC), provided by ECMWF. The GrADS software was used for composing meteorological fields and simulated vertical profiles. BNEJS was observed on 1087 days (99%), with an average speed of 35 m/s. SASH was present on 991 days, Frontal Extremities (FEs) on 93 days, and UTCV and BH acted together with BNEJS on 380 days. Five exemplary cases illustrate the influence of BNEJS in different synoptic scenarios. In the first case (10/01/2016), the interaction of BNEJS with BH, UTCV, and SASH resulted in lifting that caused precipitation on the Brazilian Northeast (BNE) coastal zone. In the second case (23/01/2018), BNEJS influenced thunderstorms, heavy rainfall, and fog in Maceió in interacting with UTCV and BH, altering the UTCV pattern. The third case (14/11/2017) showed how BNEJS intensified lifting in the FE activity zone. The fourth case (16/07/2017) illustrates the interaction between BNEJS, SASH, BH, and an upper-level trough, affecting the vertical movements of the region. In the fifth case (22/08/2018), BNEJS was absent, and SASH was the main active system, without intense vertical movements and precipitation. Furthermore, the BNEJS-influenced region occurred 748 precipitation days and 21 fog events in Campina Grande (SBKG) during the study period. This study deepens the understanding of the influence of BNEJS and other synoptic systems on the meteorological conditions in Alagoas, providing valuable information for the prediction of adverse meteorological events in the region.

Keywords: Brazilian Northeast Jet Stream. Vertical Movements. Synoptic Systems.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1 - ESQUEMATIZAÇÃO DO POSICIONAMENTO DA CJ ENTRE AS MASSAS DE AR QUENTE E FRIO.	20
FIGURA 2 - REPRESENTAÇÃO DA LOCALIZAÇÃO DA CJ PARA O HEMISFÉRIO NORTE.	21
FIGURA 3 - EXEMPLO DE CJNEB, NO DIA 24/01/2018. LINHAS DE CORRENTE E MAGNITUDE DO VENTO EM 200HPA.	22
FIGURA 4 - MODELOS CONCEITUAIS DO TIPO 1.	23
FIGURA 5 - MODELOS CONCEITUAIS DO TIPO 2.	24
FIGURA 6 - MODELOS CONCEITUAIS DO TIPO 3.	24
FIGURA 7 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DO EIXO DA CJ	25
FIGURA 8 - COMPONENTES TRANSVERSAIS DO VENTO AGEOSTRÓFICO E PADRÕES DE DIVERGÊNCIA ASSOCIADOS ÀS REGIÕES DE ENTRADA E SAÍDA DE UMA CORRENTE DE JATO RETA.	26
FIGURA 9 - MODELO CONCEITUAL DA CIRCULAÇÃO TRANSVERSAL NA ENTRADA E SAÍDA DA CJ COM CURVATURA CICLÔNICA (A) E ANTICICLÔNICA (B) PARA O HN.	27
FIGURA 10 - VARIAÇÃO ANUAL DA LOCALIZAÇÃO DA AB (A) E PERFIL VERTICAL (B).	27
FIGURA 11 - EXEMPLO DE ASAS NO DIA 09/01/2016. LINHAS DE CORRENTE E MAGNITUDE DO VENTO.	28
FIGURA 12 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA ESTRUTURA VERTICAL DO VCAN.	29
FIGURA 13 - PROCESSOS DE FORMAÇÃO DOS VCANs: (A) CLÁSSICA, (B) AFRICANA I, (C) AFRICANA II E (D) ALTA.	30
FIGURA 14 - REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DA ONDA FRONTAL.	31
FIGURA 15 - REGIÃO DE ESTUDO COM RECORTE INDICANDO A SUBÁREA.	34
FIGURA 16 - AERÓDROMOS DOS QUAIS FORAM COLETADAS A CODIFICAÇÃO METAR.	36
FIGURA 17 - GRÁFICO DE DIAS COM REGISTRO DE CJNEB EM CADA ESTAÇÃO, PARA TODO O PERÍODO DE ESTUDO.	41
FIGURA 18 - LINHAS DE CORRENTE E MAGNITUDE DO VENTO EM 200 hPa (A), VORTICIDADE E LINHAS DE CORRENTE EM 200 hPa (B) PARA AS 12 UTC. 10/01/2016.	47
FIGURA 19 - CORTE VERTICAL DE ÔMEGA EM 5°S (A), 10°S (B), 15°S (C) E 20°S (D), VARIANDO DE 50 A 10° O. 12 UTC. 10/01/2016.	47
FIGURA 20 - LINHAS DE CORRENTE E MAGNITUDE DO VENTO EM 200 hPa (A) E VORTICIDADE COM LINHAS DE CORRENTE EM 1000 hPa (B) PARA AS 00 UTC. 10/01/2016.	48

FIGURA 21- CORTE VERTICAL DE ÔMEGA EM 24°S, VARIANDO DE 50 A 10° O. 00 UTC. 10/01/2016.....	49
FIGURA 22 - DIAGRAMA TERMODINÂMICO SIMULADO PARA MARAGOGI ÀS 00 (A), 06 (B), 12 (C) E 18 UTC (D). 10/01/2016.....	50
FIGURA 23 - IMAGENS DE SATÉLITE GRIDSAT - B1 NO CANAL IR PARA 00 (A) E 12 UTC (B). 10/01/2016.	51
FIGURA 24 - MAPA DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA EM 24 HORAS PARA O DIA 10/01/2016.....	51
FIGURA 25 - LINHAS DE CORRENTE COM MAGNITUDE DO VENTO (A) E VORTICIDADE COM LINHAS DE CORRENTE EM 200 hPa (B) PARA AS 12 UTC. 23/01/2018.	54
FIGURA 26 - SEÇÃO VERTICAL DE ÔMEGA PARA AS 12 UTC EM 10°S (A) E 19°S (B) VARIANDO DE 70 A 15° O.	54
FIGURA 27 - DIAGRAMA TERMODINÂMICO PARA O AEROPORTO DE MACEIÓ AS 00 (I), 06 (II), 12 (III) E 18UTC (IV). 23/01/2018.....	55
FIGURA 28 - IMAGEM DO SATÉLITE GRIDSAT - B1 NO CANAL IR (A) E IMAGEM DO SATÉLITE GOES 16, NO CANAL 15 PARA AS 12 UTC (B). 10/01/2016.	57
FIGURA 29 - PRECIPITAÇÃO ACUMULADA NA ESTAÇÃO DE MACEIÓ-AL (A), MAPA DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA EM 24 HORAS (B). 23/01/2018.	57
FIGURA 30 - GRÁFICO DE PRECIPITAÇÃO HORÁRIA NA ESTAÇÃO DE MACEIÓ PARA O DIA 23/01/2018.....	58
FIGURA 31 - LINHAS DE CORRENTE COM MAGNITUDE DO VENTO (A), VORTICIDADE EM 1000 hPa (B), PRESSÃO AO NÍVEL MÉDIO DO MAR (C) E SEÇÃO DE TEMPERATURA POTENCIAL EQUIVALENTE (D). 06UTC. 14/11/2017.....	60
FIGURA 32 - SEÇÃO VERTICAL DE ÔMEGA EM 39°W (A), 30°W (B), 25°S (C) E 20°S (D). 06 UTC. 14/11/2017.	61
FIGURA 33 - DIAGRAMA TERMODINÂMICO SIMULADO PARA BOM JESUS DA LAPA.00 (A) E 06 (B), 12 (C) E 18 UTC (D). 14/11/2017.	62
FIGURA 34 - IMAGEM DO SATÉLITE GOES 13 + METEOSAT 10, NO CANAL IR PARA AS 03 UTC (A) E IMAGEM DO SATÉLITE GRIDSAT - B1 NO CANAL IR, PARA AS 06 UTC (B). 14/11/2017.....	63
FIGURA 35 - MAPA DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA EM 24 HORAS (A) E PRECIPITAÇÃO HORÁRIA NA ESTAÇÃO DE BOM JESUS DA LAPA - BA (B). 14/11/2017.....	63
FIGURA 36 - LINHAS DE CORRENTE E MAGNITUDE EM 200 hPa (A), VORTICIDADE EM 1000 hPa (B), SEÇÃO VERTICAL DE ÔMEGA EM 19° (C), E 25°S.	65

FIGURA 37 - DIAGRAMA TERMODINÂMICO SIMULADO PARA ARAPIRACA ÀS 00 (A), 06 (B), 12 (C), E 18 UTC (D). 16/07/2017.	66
FIGURA 38 - IMAGEM GRIDSAT - B1 NO CANAL IR (A) E IMAGEM DO SATÉLITE GOES 16, NO CANAL 15, PARA AS 18 UTC (B). 16/07/2017.....	67
FIGURA 39 - MAPA DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA EM 24 HORAS PARA O DIA 16/07/2017.....	67
FIGURA 40 - LINHAS DE CORRENTE E MAGNITUDE DO VENTO EM 200 hPa (A), VORTICIDADE E LINHAS DE CORRENTE EM 1000 hPa) (B), PLOTADAS PARA 00 UTC. 22/08/2016.	68
FIGURA 41 - SEÇÃO VERTICAL DE ÔMEGA EM 20°S (LINHA PRETA TRACEJADA INDICA ONDE PASSA ASAS). 22/08/2016.	69
FIGURA 42 - DIAGRAMA TERMODINÂMICO SIMULADO PARA AS 00 (I) E 18 UTC (II) E MAPA DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA EM 24 HORAS. 22/08/2016.	69
FIGURA 43 - IMAGEM DO SATÉLITE GRIDSAT - B1 NO CANAL IR, PARA AS 00 UTC (A) E MAPA DE PRECIPITAÇÃO ACUMULADA EM 24 HORAS. 22/08/2016.	71

LISTA DE QUADROS

QUADRO 1 - DEFINIÇÃO DE CCM PROPOSTA POR MADDOX (1980) BASEADA EM IMAGENS DE SATÉLITE.....	38
QUADRO 2 - VARIÁVEIS UTILIZADAS.....	40

LISTA DE TABELAS

TABELA 1 - CJNEB COM AS MAIORES VELOCIDADES REGISTRADAS.....	42
TABELA 2 - CASOS APRESENTADOS COM INFORMAÇÕES HORÁRIAS - HORÁRIO (H), VELOCIDADE MÁXIMA DO VENTO (V), DIREÇÃO DA CJNEB (D), SISTEMAS SINÓTICOS ASSOCIADOS (SS) E FENÔMENOS METEOROLÓGICOS (F). EXTREMIDADE FRONTAL (EF), SEM REGISTRO DE FENÔMENO (SF), NÃO SE APLICA.	44
TABELA 3 - ÍNDICES DE INSTABILIDADE DOS PERFIS SIMULADOS PARA 00, 06, 12 E 18 UTC.	50
TABELA 4 - FENÔMENOS REGISTRADOS PELO CÓDIGO METAR NO EVENTO DE CHUVA E TROVOADA OCORRIDO NO DIA 23/01/2018 NA CIDADE DE MACEIÓ/AL.....	52
TABELA 5 – ÍNDICES DE INSTABILIDADE DOS PERFIS SIMULADOS PARA MACEIÓ 00, 06, 12 E 18 UTC.	56
TABELA 6 - ÍNDICES DE INSTABILIDADE DOS PERFIS SIMULADOS PARA 00, 06, 12 E 18 UTC. 14/11/2017.....	62
TABELA 7 - ÍNDICES DE INSTABILIDADE DOS PERFIS SIMULADOS PARA ARAPIRACA ÀS 00, 06, 12 E 18 UTC. 16/07/2017.....	66
TABELA 8 - ÍNDICES DE INSTABILIDADE DOS PERFIS SIMULADOS PARA MARAGOGI NOS HORÁRIOS DAS 00, 06, 12 E 18 UTC. 22/08/2016.	70

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

AB – Alta da Bolívia
AL – Alagoas
AS – América do Sul
ASAS – Alta Subtropical do Atlântico Sul
CAN – Cavado em Altos Níveis
CCM – Complexos Convectivos de Mesoescala
CEMADEN – Centro de
CJ – Corrente de Jato
CJNEB – Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro
CJP – Corrente de Jato Polar
CJST – Corrente de Jato Subtropical
COLA - Center for Ocean Land Atmosphere Interaction
CPTEC – Centro de Precisão de Tempo e Estudos Climáticos
D - Direção da CJNEB
ECMWF - European Centre for Medium-Range Weather Forecasts
EF – Extremidade Frontal
F - Fenômenos meteorológicos
FF – Frente Fria
FO - Frente Oclusa
FQ - Frente Quente
GIBBS – Global SCCC B1 Browse System
GrADS - Grid Analysis and Display
H – Horário
HN – Hemisfério Norte
hPa – Hectopascal
HS – Hemisfério Sul
INMET – Instituto Nacional de Meteorologia
INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais
IR – Infravermelho
ISCCP - International Satellite Cloud Climatology Project
L – Leste
M – Meridional

Mb – Milibar

N – Norte

NA - Não se Aplica

NE – Nordeste

NEB – Nordeste Brasileiro

NO – Noroeste

NOAA - National Oceanic and Atmospheric Administration

NVM – Núcleo de Ventos Máximos

O – Oeste

PB – Paraíba

PE – Pernambuco

PS – Perfil Simulado

S – Sul

SE – Sudeste

SF - Sem registro de fenômeno

SO – Sudoeste

SS - Sistemas sinóticos associados

T – Transversal

TPE – Temperatura Potencial Equivalente

UTC – Tempo Coordenado Universal

V - Velocidade máxima do vento

VCAN – Vórtice Ciclônico em Altos Níveis

Z - Zonal

ZCAS - Zona de Convergência do Atlântico Sul

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO.....	18
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	20
2.1 CORRENTE DE JATO - CJ.....	20
2.1.1 <i>Corrente de jato subtropical – CJST.....</i>	<i>21</i>
2.1.2 <i>Corrente de jato polar – CJP.....</i>	<i>21</i>
2.1.3 <i>Corrente de jato do nordeste brasileiro – CJNEB.....</i>	<i>22</i>
2.1.4 <i>Núcleos de ventos máximos - NVM.....</i>	<i>24</i>
2.1.5 <i>Fluxo zonal e meridional.....</i>	<i>25</i>
2.1.6 <i>Circulação transversal.....</i>	<i>25</i>
2.2 ALTA DA BOLÍVIA – AB.....	27
2.3 ALTA SUBTROPICAL DO ATLÂNTICO SUL - ASAS.....	28
2.4 VÓRTICE CICLÔNICO EM ALTOS NÍVEIS - VCAN.....	28
2.4.1 <i>Estrutura vertical.....</i>	<i>29</i>
2.4.2 <i>Processos de formação.....</i>	<i>29</i>
2.5 SISTEMAS FRONTAIS.....	30
2.5.1 <i>Climatologia das frentes na AS.....</i>	<i>31</i>
2.5.2 <i>Formação e dissipação de frentes frias na AS.....</i>	<i>32</i>
2.5.3 <i>Identificação de zonas frontais na AS.....</i>	<i>32</i>
3 MATERIAIS E MÉTODOS.....	34
3.1 ÁREA DE ESTUDO.....	34
3.2 DADOS UTILIZADOS.....	34
3.2.1 <i>Imagens de satélite.....</i>	<i>35</i>
3.2.2 <i>Dados de precipitação.....</i>	<i>35</i>
3.2.3 <i>Codificação METAR e SPECI.....</i>	<i>35</i>
3.3 SOFTWARES UTILIZADOS.....	36
3.4 METODOLOGIA.....	36
3.4.1 <i>Identificação da CJNEB.....</i>	<i>36</i>
3.4.2 <i>Identificação da ASAS.....</i>	<i>37</i>
3.4.3 <i>Identificação dos CCMs.....</i>	<i>37</i>
3.4.4 <i>Identificação das Frentes Frias.....</i>	<i>38</i>
3.4.5 <i>Análise da estrutura espacial.....</i>	<i>39</i>

3.4.6 Descrição de variáveis	39
4 RESULTADOS.....	41
4.1 ANÁLISE GERAL DO PERÍODO DE ESTUDO.	41
4.2 ANÁLISE DOS CASOS COM DIFERENTES SISTEMAS SINÓTICOS	43
4.3 ANÁLISE DO EVENTO DE CJNEB COM VCAN, AB E ASAS OCORRIDO NO DIA 10/01/2016.....	45
4.3.1 <i>Análise sinótica.</i>	45
4.3.2 <i>Análise termodinâmica</i>	49
4.3.3 <i>Análise de imagem de satélite e precipitação.</i>	50
4.4 ANÁLISE DO EVENTO DE CJNEB COM VCAN E AB OCORRIDO NO DIA 23/01/2018. 52	
4.4.1 <i>Análise sinótica</i>	53
4.4.2 <i>Análise termodinâmica</i>	54
4.4.3 <i>Análise de imagem de satélite e precipitação</i>	56
4.5 ANÁLISE DO EVENTO DE FF COM CJNEB OCORRIDO NO DIA 14/11/ 2017.....	58
4.5.1 <i>Análise sinótica</i>	58
4.5.2 <i>Análise termodinâmica</i>	61
4.5.3 <i>Análise de imagem de satélite e precipitação.</i>	62
4.6 ANÁLISE DO CASO DE CJNEB COM CAN, AB E ASAS OCORRIDO NO DIA 16/07/2017.....	63
4.6.1 <i>Análise sinótica</i>	64
4.6.2 <i>Análise termodinâmica</i>	65
4.6.3 <i>Análise de imagem de satélite e mapa de precipitação.</i>	66
4.7 ANÁLISE DO CASO DE ASAS SEM CJNEB OCORRIDO NO DIA 22/08/2016.	68
4.7.1 <i>Análise sinótica</i>	68
4.7.2 <i>Análise termodinâmica</i>	69
4.7.3 <i>Análise de imagem de satélite e mapa de precipitação</i>	70
5 CONCLUSÕES	72
REFERÊNCIAS	74
APÊNDICE	81

1 INTRODUÇÃO

A Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro (CJNEB) recentemente foi encontrada e documentada. Localizada próximo aos trópicos, entre as longitudes 20°W e 50°W e latitudes 0° e 20°S, por volta de 200hPa, próximo da tropopausa tropical, apresentando velocidade superior a 20m/s (GOMES, 2003; FEDOROVA et. al., 2017a e 2017b). Virji, em 1981, já havia observado esses fortes ventos na periferia da Alta da Bolívia, mas não chegou a estudá-los mais detalhadamente. O primeiro estudo sobre CJNEB próximo de Alagoas (GOMES, 2003), registrou a ocorrência dessas correntes durante todas as estações do ano, apresentando maior ocorrência e desenvolvimento durante os meses de inverno. As CJNEB são um dos mais frequentes sistemas associados à precipitações intensas em Alagoas (Pontes da Silva et al., 2011). Todavia, ainda não existem estudos sobre a modificação de sua estrutura vertical na presença de sistemas sinóticos como a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS), Frente Fria (FF) e Extremidades Frontais (EF), Alta da Bolívia (AB) e Vórtice ciclônico de Altos níveis (VCAN), por isso, não se sabe de que forma esses movimentos podem influenciar a ocorrência de fenômenos adversos. Conforme analisado por Pontes da Silva et al. (2011), Alagoas tem como base econômica a agricultura, pecuária e o Turismo, setores que são intensamente afetados pelo tempo e clima, dependendo deles para a tomada de decisões. Dessa forma, o presente estudo é de elevada importância, pois os sistemas sinóticos determinam as condições do tempo em todas as regiões do planeta, seja de maneira direta ou indireta, podendo gerar fenômenos adversos que podem causar prejuízos econômicos, materiais e humanos tanto para o meio urbano, como para o rural. Ter ciência dos sistemas produtores de fenômenos adversos, e a partir daí, desenvolver métodos que possam prognosticar a formação dos processos que darão origem a esses sistemas é uma maneira de amenizar os prejuízos e preservar vidas humanas.

A região nordeste do Brasil, situa-se numa área em que os processos tropicais interagem com os processos das latitudes médias, o que torna a identificação dos sistemas, os quais combinados poderão gerar fenômenos adversos, bastante complexa. A posição da CJNEB pode persistir por 24h e, às vezes, de 3 a 4 dias (FEDOROVA, 2017a e 2017b). Desde sua identificação, até os dias de hoje, já foram realizados alguns estudos sobre essa região de fortes ventos em altos níveis, porém poucos sobre a análise da estrutura vertical da CJNEB na presença de outros sistemas de escala sinótica.

O objetivo geral do presente estudo foi analisar a atuação da CJNEB quando associada a outros sistemas sinóticos e como pode influenciar na ocorrência de fenômenos adversos. No

entanto, para entender melhor essa interação e seu impacto na formação de precipitação, o objetivo específico do estudo é examinar a configuração da estrutura vertical da ASAS, FFs e EFs, VCANs e AB na presença da CJNEB e, conseqüentemente, na formação de precipitação.

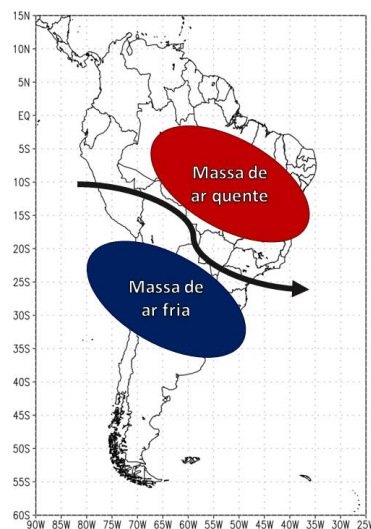
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nesse capítulo serão apresentadas algumas definições e trabalhos relativos a estudos sobre os principais sistemas que atuam sobre a América do Sul (AS).

2.1 Corrente de jato - CJ

Próximo à tropopausa, existe uma região onde a componente zonal do vento de oeste atinge valores máximos. O aumento da componente com a altura se dá pela existência de gradientes meridionais de temperatura. Esse escoamento caracterizado por valores máximos é denominado de Corrente de Jato (CJ). Segundo Riehl (1969), a descoberta do Jato foi uma revelação surpreendente e ocorreu durante a Segunda Guerra Mundial, durante missões de bombardeio sobre as Ilhas Japonesas, onde os aviões voavam a altitudes aproximadas de 10.000 metros e, em algumas ocasiões, permaneciam virtualmente estacionários em relação ao solo, graças à presença de ventos fortes que sopravam na direção oposta. Segundo Fedorova (2001), as CJs são definidas como ventos na alta troposfera, com velocidades superiores a 30 m/s. Localizadas acima de 500 hPa, entre a alta troposfera e a estratosfera. Caracterizada pelo forte cisalhamento vertical e lateral do vento (REITER; WHITNEY, 1969), limitadas a poucos quilômetros de extensão vertical e dezenas de quilômetros de extensão horizontal (FEDOROVA, 1999). A presença da CJ é um sinal da existência de massas de ar com uma fronteira que as separa (Figura 1), no hemisfério sul, o ar frio se localiza à direita do jato (FORTUNE, 1980), enquanto no hemisfério norte o ar se localiza a esquerda.

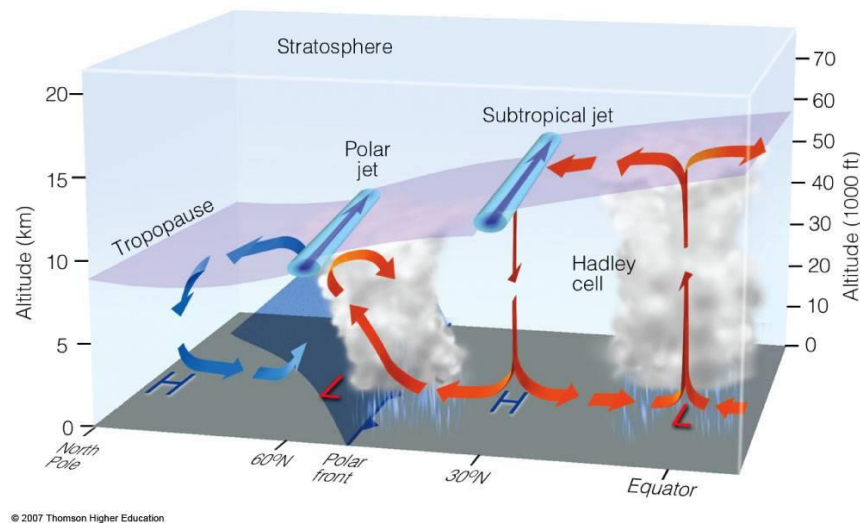
Figura 1 - Esquematização do posicionamento da CJ entre as massas de ar quente e frio.



Fonte: Adaptada de Campos, 2010; pg 2.

Atualmente, sabe-se que existem dois tipos de CJ (REITER; WHITNEY, 1969), a Corrente de Jato Polar (CJP) e a Corrente de Jato Subtropical (CJST) que serão tratadas mais à diante. As CJ se formam no limite entre as três células em cada hemisfério, onde ocorre o encontro de massas de ar de temperaturas diferentes, originando variações de pressão e fortes ventos (Figura 2). A CJST está associada a circulação das células de Hadley e de Ferrel, enquanto a CJP está localizada entre as células de circulação polar e de Ferrel (VAZ, 2014). No inverno as diferenças de temperatura aumentam á medida que se intensificam as CJs (CIVITA et al., 1995).

Figura 2 - Representação da localização da CJ para o hemisfério norte.



Fonte: Lyndon State College, 2019

A CJ experimenta variações sazonais, diretamente relacionadas às mudanças de temperatura ao longo das estações do ano. Durante o inverno, essas correntes atingem sua máxima intensidade devido ao acentuado gradiente de temperatura entre latitudes, enquanto no verão, observa-se seu enfraquecimento devido ao menor gradiente entre as latitudes.

2.1.1 Corrente de jato subtropical – CJST

Essa corrente apresenta uma regularidade mais pronunciada em sua trajetória e tipicamente se localiza na fronteira polar da Célula de Hadley (localizada no lado descendente dessa célula), cobrindo latitudes que variam de 20°S a 35°S, nos níveis 300 – 200 hPa. Notavelmente, sua posição média varia em direção ao equador durante a estação de inverno e em direção aos polos durante o verão.

2.1.2 Corrente de jato polar – CJP

Essa corrente se caracteriza por sua irregularidade e está diretamente relacionada ao acentuado gradiente horizontal de temperatura que se manifesta nas estreitas zonas frontais em altos níveis (PEZZI *et al.*, 1996). Esta corrente geralmente se posiciona no lado equatorial dessas zonas frontais, abrangendo uma faixa de latitudes entre 35°S e 70°S. Localizada entre as células de circulação polar e de Ferrel, nos níveis de 300 – 200 hPa. Durante o inverno, sua localização tende a se aproximar do equador em comparação com o verão.

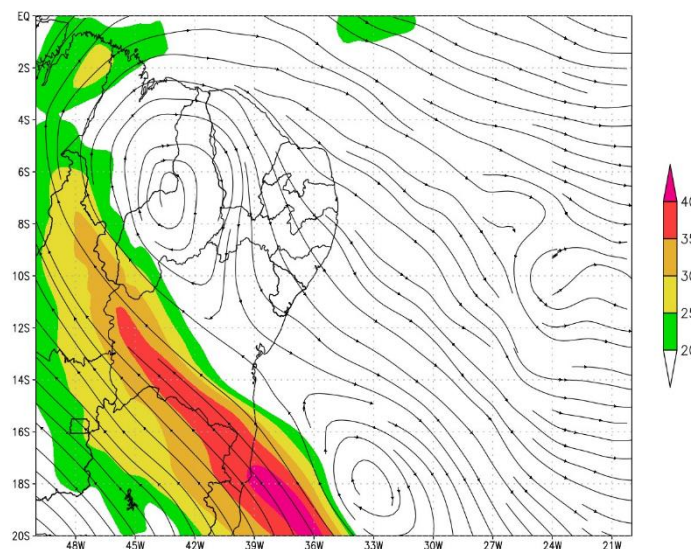
2.1.3 Corrente de jato do nordeste brasileiro – CJNEB

Virji, em 1980 observou a presença de ventos fortes, superiores a 20 m/s, localizados na periferia da Alta da Bolívia (AB), mas não chegou a estudá-los mais detalhadamente. Em 2003, Gomes, realizou o primeiro estudo sobre CJ próximo ao estado de Alagoas, onde foi registrada a ocorrência dessas correntes durante todas as estações do ano, apresentando maior ocorrência e desenvolvimento durante os meses de inverno.

Localizada próximo aos trópicos, entre as longitudes 20°W e 50°W e latitudes 0° e 20°S, por volta de 200hPa, próximo da tropopausa tropical, apresentando velocidade superior a 20m/s (GOMES, 2003; FEDOROVA *et. al.*, 2017a e 2017b).

Á partir daí, foram realizados estudos com a intenção de compreender melhor esse sistema. Em 2006, Fedorova e Campos constataram a existência de conexões com outros sistemas sinóticos como VCAN do hemisfério norte e sul (HN e HS), Vórtices de Médios Níveis (VCMN) e Correntes de Jato de Baixos Níveis (CJBN). A figura 3 ilustra uma CJNEB.

Figura 3 - Exemplo de CJNEB, no dia 24/01/2018. Linhas de corrente e magnitude do vento em 200hPa.



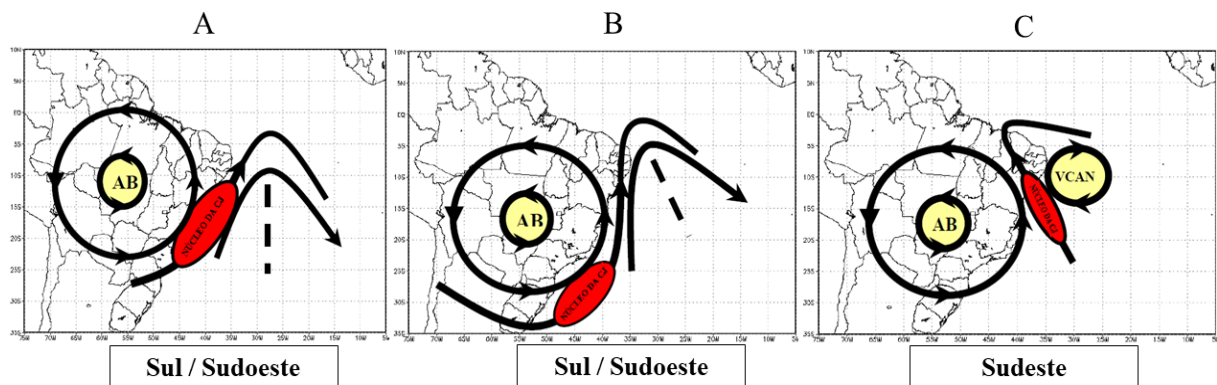
Fonte: Autor, 2023

Repinaldo (2010), elaborou grupos de eventos de CJNEB em três tipos: Meridional (de sul, sudoeste), zonal (de oeste) e transversal (de sudeste e noroeste) (LEITE, 2022). Costa (2010) constatou que o padrão Meridional é o de maior frequência, com 47% dos casos estudados. Fedorova et al. (2017b) estudaram a frequência, a velocidade e a direção dos ventos, no período entre 1994 e 2009, chegando à conclusão de que os eventos da CJNEB ocorrem praticamente durante todos os dias do ano.

Em outro estudo, Fedorova et al. (2017a), desenvolveram modelos conceituais de localização e para cada tipo de fluxo da CJNEB.

A CJNEB do tipo 1 (Figura 4) está associada aos mecanismos de formação do VCAN, conforme detalhado por GAN e KOUSKY (1982). De acordo com esses autores, o desenvolvimento do cavado e a formação do VCAN estão diretamente ligados AB (CAMPOS, 2010).

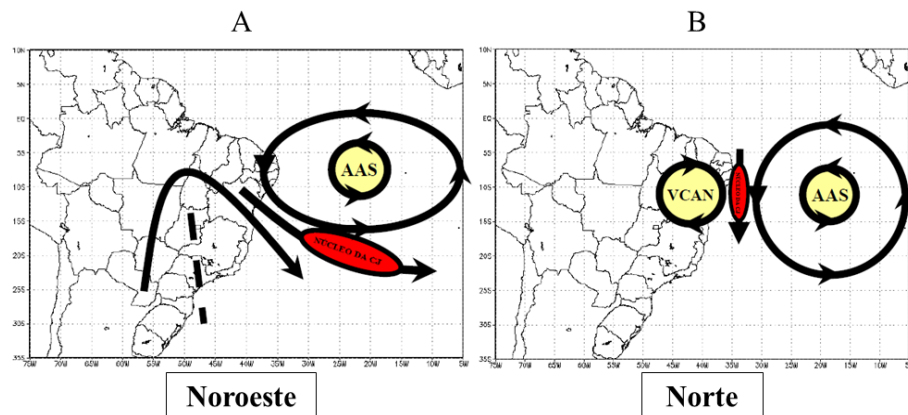
Figura 4 - Modelos conceituais do tipo 1.



Fonte: Campos, 2010

A CJNEB do tipo 2 (Figura 5) está associada a o anticiclone do atlântico sul (AAS) com VCAN no NEB do tipo clássico e/ou cavado em altos níveis (CAMPOS, 2010). Caracterizadas por terem o fluxo de norte, as correntes são divididas em 2 subtipos. No tipo 2-A, a CJNEB está localizada entre um cavado e a Alta do Atlântico Sul, e no tipo 2-B, entre um VCAN e a Alta do Atlântico Sul. Estudos de Fedorova et al. (2017), mostraram que a localização da CJNEB depende se os eixos dos sistemas estão alinhados em uma mesma latitude surgindo uma corrente do norte (tipo 2-B) ou se a Alta do Atlântico Sul está localizada mais ao norte do VCAN criando uma corrente de noroeste (tipo 2-A).

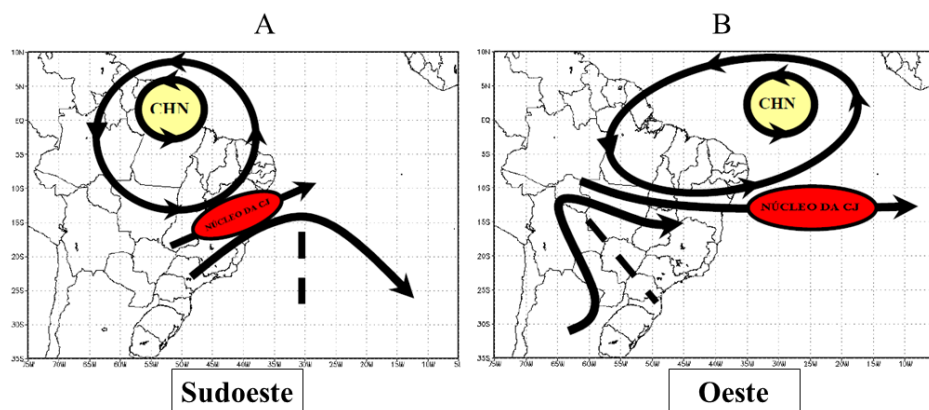
Figura 5 - Modelos conceituais do tipo 2.



Fonte: Campos, 2010

A CJNEB do tipo 3, está relacionada com a interação inter-hemisférica entre um VCAN no HN, entre 0 e 10°N e um CAN no HS, ao longo da costa brasileira e o oceano adjacente, criando uma corrente de sudoeste (Figura 6- A) ou oeste (Figura 6- B) a depender das posições relativas dos sistemas. O VCAN do HN uma vez localizado na região continental ao Norte da América do Sul (AS) e o cavado sobre o oceano Atlântico a corrente será sudoeste, enquanto o VCAN do HN sobre o oceano e o cavado sobre o continente a corrente será de oeste.

Figura 6 - Modelos conceituais do tipo 3.



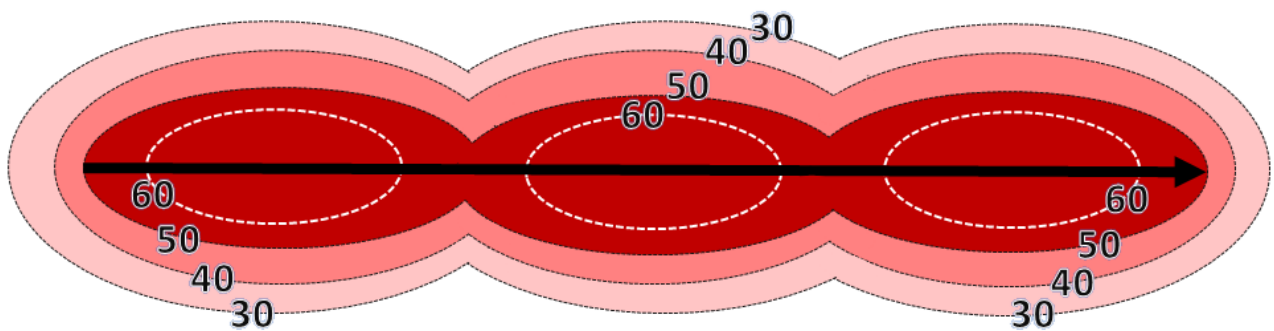
Fonte: Campos, 2010

2.1.4 Núcleos de ventos máximos - NVM

Conhecidos na literatura como “Jet Streaks”, são núcleos ao longo do eixo do jato que facilmente podem atingir velocidades superiores a 65 m/s (Figura 7), deslocando-se ao longo do eixo, no mesmo sentido do vento, contudo essa velocidade de deslocamento não é igual à do vento dentro do núcleo (MEDINA, 1976). Os NVM têm recebido significativa atenção de

estudos científicos devido a sua importância como precursores de ciclogênese e tempo severo (CARLSON, 1991; BLUESTEIN, 1993).

Figura 7 - : Representação esquemática do eixo da CJ – Linhas tracejadas em preto são isotacas em m/s; em tracejado branco são os NVMs; Seta preta indica a direção de propagação.



Fonte: Adaptado de Medina, 1976

2.1.5 Fluxo zonal e meridional

As CJ se propagam de forma ondulatória, por meio de cristas e cavados, dessa forma, é permitida a troca de ar frio e quente, onde o ar frio sai dos polos em direção ao equador e o ar quente sai do equador e vai em direção aos polos. A amplitude da onda é um fator importante para determinar as condições de tempo, uma vez que maiores amplitudes geram fluxos meridionais, com cristas e cavados intensos com intensa mistura de ar quente e frio, além de facilitar o desenvolvimento de tempestades severas (VAZ, 2014). Por outro lado, menores amplitudes são consideradas fluxos zonais que fluem de oeste para leste, onde a mistura de ar frio e quente é menos intensa.

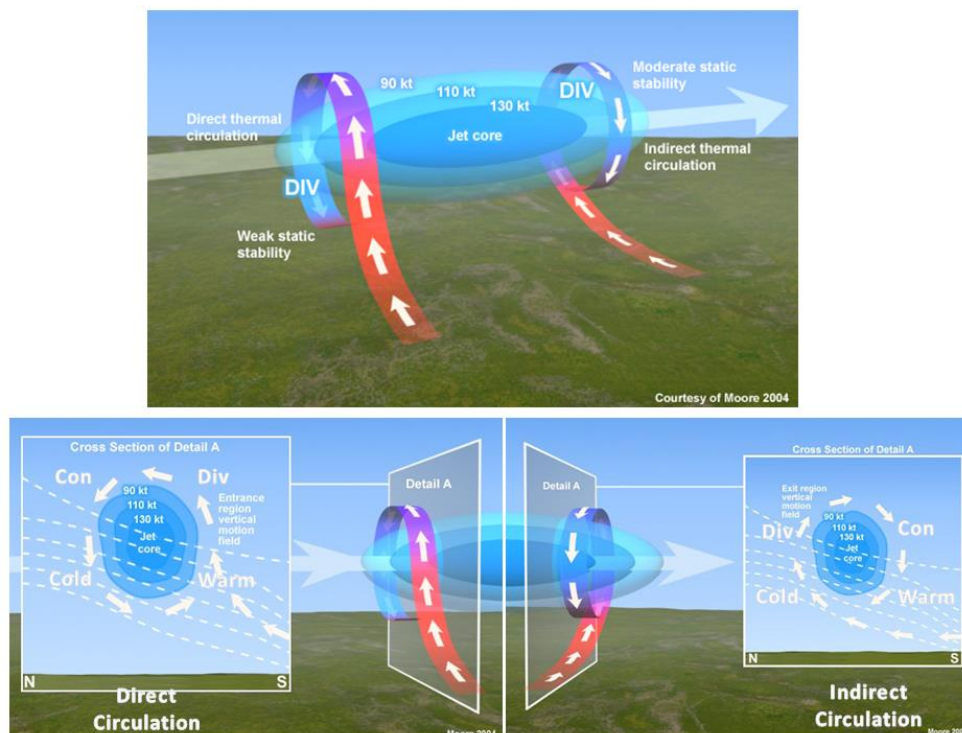
2.1.6 Circulação transversal

Devido a relação com atividades convectivas, a circulação da CJ tem tido bastante relevância e por isso, tem sido bastante estudada. A circulação da CJ desempenha um papel fundamental, garantindo que existam os processos de ajuste das massas de ar nas áreas de entrada e saída do NVM, especialmente considerando as variações de velocidade nessas regiões. RIEHL et al. (1952) e REITER e WHITNEY (1969), fizeram revisões históricas sobre a CJ. BEE e BATES (1955) adicionaram os efeitos de curvatura no modelo proposto por RIEHL *et al.* (1952). Modelos conceituais desenvolvidos através de métodos empíricos

mostraram também a existência de uma circulação transversal na CJ (Uccellini e Jonhson, 1979; Mattocks e Bleck, 1986).

A mudança da velocidade do fluido na entrada e saída do NVM pode ser explicada pela componente ageostrófica da velocidade do vento (HOLTON, 1979). Na entrada do jato, ocorre a aceleração da parcela de ar, logo, a componente ageostrófica é negativa, direcionando-a para o polo (menor altura geopotencial). Já na saída, a parcela de ar desacelera, o que torna a componente ageostrófica positiva, direcionando-a para o equador (maior altura geopotencial) (Figura 8).

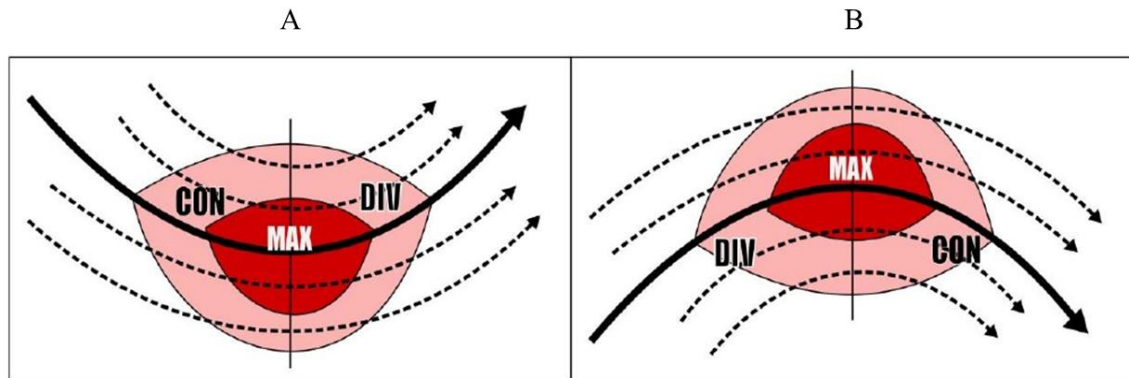
Figura 8 - Componentes transversais do vento ageostrófico e padrões de divergência associados às regiões de entrada e saída de uma corrente de jato reta.



Fonte: Adaptado de University Corporation for Atmospheric Research, 2015.

O conceito mostrado acima não pode ser aplicado às CJ com curvatura ciclônica ou anticiclônica devido aos efeitos da curvatura que amplificam o escoamento meridional. BEEBE e BATES (1955) foram os primeiros a estudar esse efeito e sugeriram que a CJ com curvatura ciclônica teria divergência e convergência mais intensa no lado ciclônico (Figura 9-A), enquanto a circulação anticiclônica teria divergência e convergência mais intensa no lado anticiclônico (Figura 9-B).

Figura 9 - Modelo conceitual da circulação transversal na entrada e saída da CJ com curvatura ciclônica (A) e anticiclônica (B) para o HN.



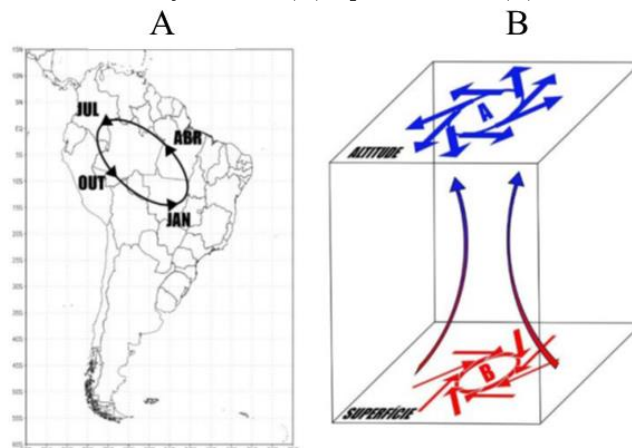
Fonte: Adaptado de Beebe e Bates, 1955

2.2 Alta da bolívia – AB

Típico do verão na AS, a AB (Figura 10) é um sistema de alta pressão que ocorre na alta troposfera. Seu centro apresenta grande variabilidade de localização, apesar de normalmente localizar-se sobre a região da Bolívia. Ao longo do verão, o sistema sofre variações de intensidade devido ao aumento de convecção em baixos níveis sobre a região amazônica (SILVA DIAS et al, 1983).

A região semiárida do NEB experimenta um período mais seco durante parte do ano por estar próxima à região amazônica, onde ocorrem movimentos convectivos intensos e amplos que se tornam movimentos anticiclônicos em altos níveis (AB), divergindo em sua periferia, criando um ramo de ventos descendentes e uma forte inversão de subsidência sobre o oceano Atlântico Sul e no NEB, o que inibe o desenvolvimento de nuvens, levando a um período mais seco do ciclo anual (NOBRE e MOLION, 1988).

Figura 10 - Variação anual da localização da AB (A) e perfil vertical (B).



Fonte: Adaptado de Molion, 2008

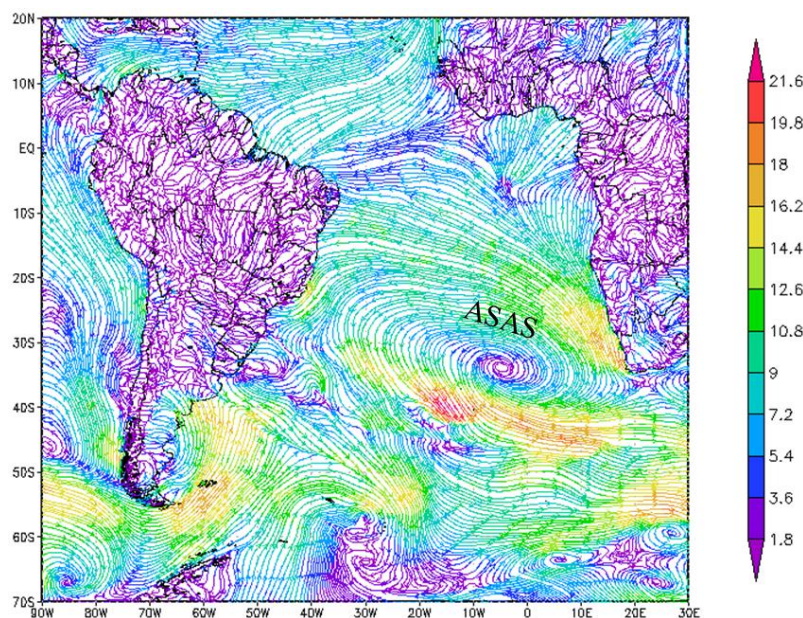
2.3 Alta subtropical do atlântico sul - ASAS

Também conhecido como Anticiclone do Atlântico Sul, é um sistema de alta pressão semipermanente localizado no ramo descendente da célula de Hadley, sobre o sul do oceano Atlântico, tipicamente localizada em 15°- 45° S e 45° O - 15° L (Mächel et al., 1998). Constitui uma massa de ar seco, relativamente quente e quase totalmente desprovida de nuvens (TUBELIS; NASCIMENTO, 1980).

Durante o inverno a ASAS é mais intensa e estende-se para oeste sobre a Região Sudeste do Brasil, contribuindo com condições mais secas e ventos mais intensos, enquanto no verão é mais fraco e retraído para leste, contribuindo com condições mais úmidas e ventos mais fracos (HASTENRATH, 1985; SATYAMURTY et al., 1998; CAMARGO DO AMARANTE et al., 2001; REBOITA et al., 2010; SUN et al., 2017; REBOITA et al., 2019; CARPENEDO e AMBRIZZI, 2020).

Quando atua no Sudeste do país, afasta as instabilidades tropicais, inibe a passagem de frentes frias, reduz a umidade atmosférica e favorece a concentração de poluentes aéreos nas grandes cidades (BASTOS; FERREIRA, 2000).

Figura 11 - Exemplo de ASAS no dia 09/01/2016. Linhas de corrente e magnitude do vento.



Fonte: Autor, 2023

2.4 Vórtice ciclônico em altos níveis - VCAN

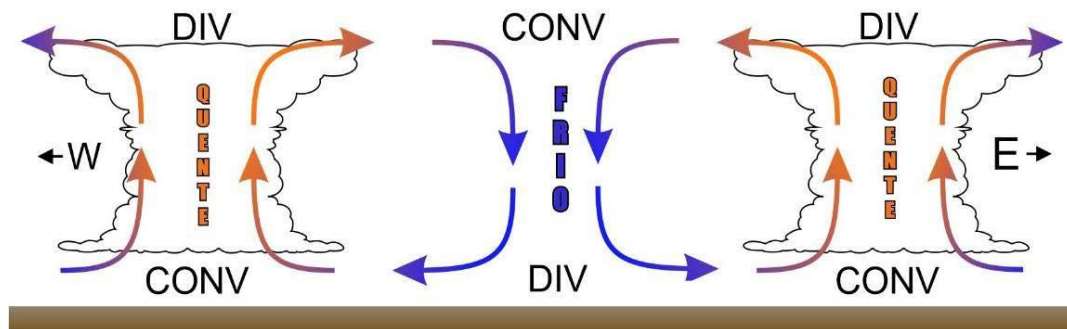
São sistemas formados por uma baixa pressão na alta troposfera, no qual a circulação ciclônica é fechada por possuir um centro mais frio que sua periferia (GAN, 1982). Palmén

(1949), Palmer (1951) e Frank (1966) foram os pioneiros no estudo de vórtices em altos níveis, no HN (LEITE, 2022). Estudos sobre as características da circulação troposférica feitos sobre o oceano Atlântico Sul Tropical comprovaram a existência de VCAN no HS (DEAN, 1971; ARAGÃO, 1975).

2.4.1 Estrutura vertical

Caraterizado por movimentos descendentes de ar frio e seco em seu centro e ar quente ascendendo em sua periferia, o que gera uma circulação térmica direta (FRANK,1966; KOUSKY; GAN, 1981; GAN, 1982), em que ar quente sobe e ar frio desce. Proposta por Kousky e Gan (1981), a figura 13 ilustra a estrutura vertical do VCAN.

Figura 12 - Representação esquemática da estrutura vertical do VCAN.



Fonte: Adaptado de Kousky e GAN, 1981

2.4.2 Processos de formação

Kousky e Gan (1981) propuseram os quatro mecanismos de formação do VCAN descritos a seguir:

a) Clássica: Ocorre acima da amplificação de crista da AB. Essa amplificação se dá por uma forte advecção de ar quente em baixos níveis, ocasionada pela entrada de um sistema frontal subtropical. O sistema frontal gera uma convecção organizada que libera calor latente e intensifica a crista em altos níveis, que consequentemente amplifica o cavado a leste fechando o vórtice (Leite, 2022) (Figura 13 – A), o qual tem influência sobre as chuvas do NEB por conta de sua proximidade, com duração média de 7 dias (KOUSKY; GAN, 1981).

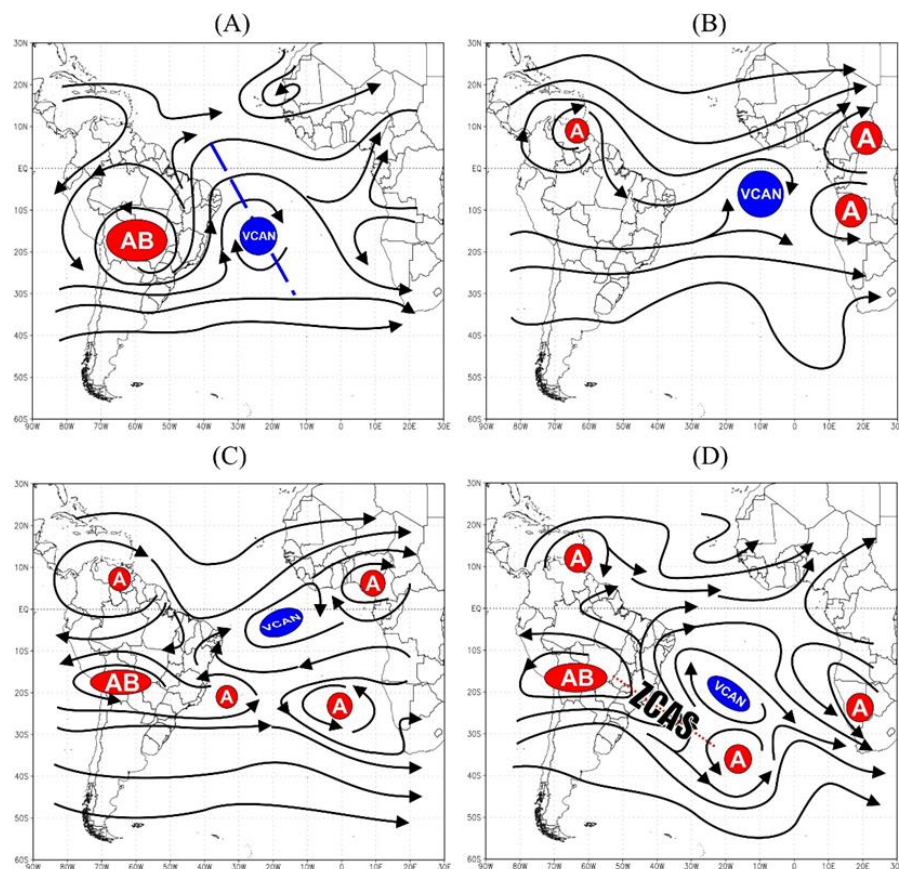
b) Africana: Um par de anticiclones é formado em altos níveis por conta da intensificação da convecção em baixos níveis, sobre o continente africano. Esses anticiclones induzem o aprofundamento do cavado a oeste e consequentemente, forma-se um VCAN. Este

tipo de VCAN é de curta duração, com apenas 2,5 à 3 dias (PAIXÃO e GANDU, 2000) (FIGURA 13 B).

c) Africana II: Ocorre devido a intensificação do anticiclone no HN do continente africano, onde os VCANs se formam nas cristas dos anticiclones de altos níveis do HN. As faixas de anticiclones entre 20° e 30° nos hemisférios N e S, ajudam na formação de circulação fechada do VCAN, que tem duração de 3 à 7 dias (PAIXÃO e GANDU, 2000) (FIGURA 11c). (Figura 13 – C)

d) Alta: – A intensificação da convecção na região da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) através da liberação de calor latente força o surgimento da ASAS que, por sua vez, forma um cavado a norte / noroeste. O fechamento desse cavado resulta no VCAN que apresenta duração de 2,5 – 5 dias (RAMIREZ et al., 1999) (Figura 13 – D). Outro fator é que a AB se encontra mais a oeste, com isso observa-se a corrente com escoamento mais zonal no HN (FEDOROVA, 2008).

Figura 13 - Processos de formação dos VCANs: (A) Clássica, (B) Africana I, (C) Africana II e (D) Alta.



Fonte: Adaptado de Fedorova, 2008

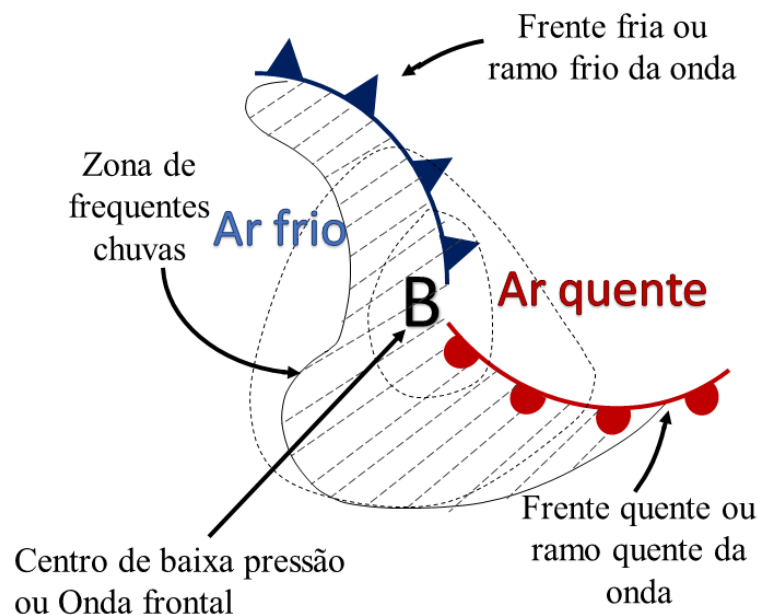
2.5 Sistemas frontais

2.5.1 Climatologia das frentes na AS

Um dos primeiros estudos que avaliaram as regiões frontogenéticas de maneira global foi o de Satyamurty e Mattos (1989). Os autores verificaram que a área mais frontogenética na AS localiza-se no sul da Argentina durante o verão e que durante o inverno, desloca-se para o norte do país e sua vizinhança. Simmonds et al. (2012), observaram que nos meses de verão (dezembro a fevereiro) as maiores frequências de Frentes Frias (FFs) estão entre as latitudes de 40° e 60°S. Dentro dessa faixa, nas regiões oceânicas a leste da Patagônia, sudeste da África do Sul e sudoeste da Austrália, há maior ocorrência de FFs (MUANZA, 2018). Catto et al. (2012) verificou que nas latitudes médias do HS, mais de 50% da precipitação anual está associada com a ocorrência de FFs.

Segundo Kousky (1979), as FFs afetam a climatologia da AS durante todo o ano. Vianello e Alves. (1991), destacam a importância da transição de sistemas frontais nas regiões sul e sudeste do Brasil por ser um dos sistemas mais frequentes nessa região. Responsáveis por grandes alterações nos elementos que modulam o clima, os sistemas frontais são definidos como zona de transição entre duas massas de ar com propriedades termodinâmicas distintas, assim como diferentes densidades, temperaturas, pressões e umidade que tendem a se manter individualizadas, conservando suas particularidades (VIANELLO; ALVES, 1991).

Figura 14 - Representação esquemática da onda frontal.



Fonte: Adaptado de Varejão-Silva, 2001

Há maior frequência de sistemas frontais no Sul da Bahia entre os meses de dezembro e março (KOUSKY (1979). Durante o verão, o número de sistemas frontais que alcança a região tropical é menor devido a ocorrência de ZCAS, que persiste sobre as regiões sudeste e centro-oeste, fazendo com que as frentes frias se desloquem apenas até essas áreas (ANDRADE, 2005).

2.5.2 Formação e dissipação de frentes frias na AS

(BERGERON, 1928) *apud* Scheuer (2017), propôs uma teoria relacionada a formação e dissipação de frentes que explica o aspecto cinemático através de massas de ar de grande escala, chegando a conclusão de que as frentes se formam por conta da dinâmica do movimento confluyente entre massas de ar com propriedades diferentes. Em 1956, Pettesen et al., introduziram os termos “frontogênese” para o processo de formação e intensificação de uma frente e “frontólise” para o processo de dissipação (MUANZA, 2018).

O campo de deformação horizontal é a principal fonte frontogenética em baixos níveis (850 hPa) (ORLANSKI et al., 1985). FFs em altitude são consideradas zonas de fortes gradientes de vorticidade potencial isentrópica de Ertel (P) (BLUESTEIN et al., 1993) e a frontogênese é a reação da escala lateral de gradiente de P próximo da tropopausa (DAVIES; ROSSA, 1998).

Em alguns casos, a depender da intensidade do sistema, algumas FFs podem se propagar até latitudes baixas, atingindo as proximidades da Amazônia, provocando o fenômeno descrito por Marengo et al. (1997) e Mattos (2003) como friagem (MUANZA, 2018).

Comumente, os sistemas frontais se propagam até 20°S, onde se inicia o processo de frontólise (OLIVEIRA, 1986; CAVALCANTE; KOUSKY, 1996), porém, alguns sistemas frontais mais intensos podem chegar em torno de 25°S, podendo afetar até a região Norte do país com queda de temperatura e aumento da atividade convectiva (FORTUNE; KOUSKY, 1983).

2.5.3 Identificação de zonas frontais na AS

As FFs podem ser identificadas por meio de imagens de satélite juntamente a modelos atmosféricos operacionais, levando em conta o giro do vento para a direção sul, persistência do vento de sul por pelo menos um dia e uma queda de temperatura do ar simultânea ao giro

do vento ou até dois dias depois (RODRIGUES et al., 2004). Durante a passagem de uma FF ocorre acentuada diminuição na temperatura, aumento da pressão, a força do vento aumenta e ocorre uma variação na sua direção (MUANZA, 2018). Um ciclone baroclínico no estágio jovem e de desenvolvimento máximo, além da FF, apresenta também a Frente Quente (FQ) e a Frente Oclusa (FO). Uma FQ é acontece quando o ar quente está avançando e substituindo o ar frio, enquanto a FO ocorre quando uma FF ultrapassa a FQ e com o aumento da região de oclusão o sistema frontal atinge seu estágio terminal.

Na prática operacional, a identificação da Zona Frontal na região tropical não é simples, uma vez que uma estrutura frontal nesta região é diferente da região extratropical e consequentemente, o método de identificação tradicional não é preciso. Fedorova et al. (2016) Avaliaram novos métodos práticos de identificação desse sistema no NEB através do campo de Temperatura Potencial Equivalente (TPE) e sua advecção (MUANZA, 2018).

3 MATERIAIS E MÉTODOS

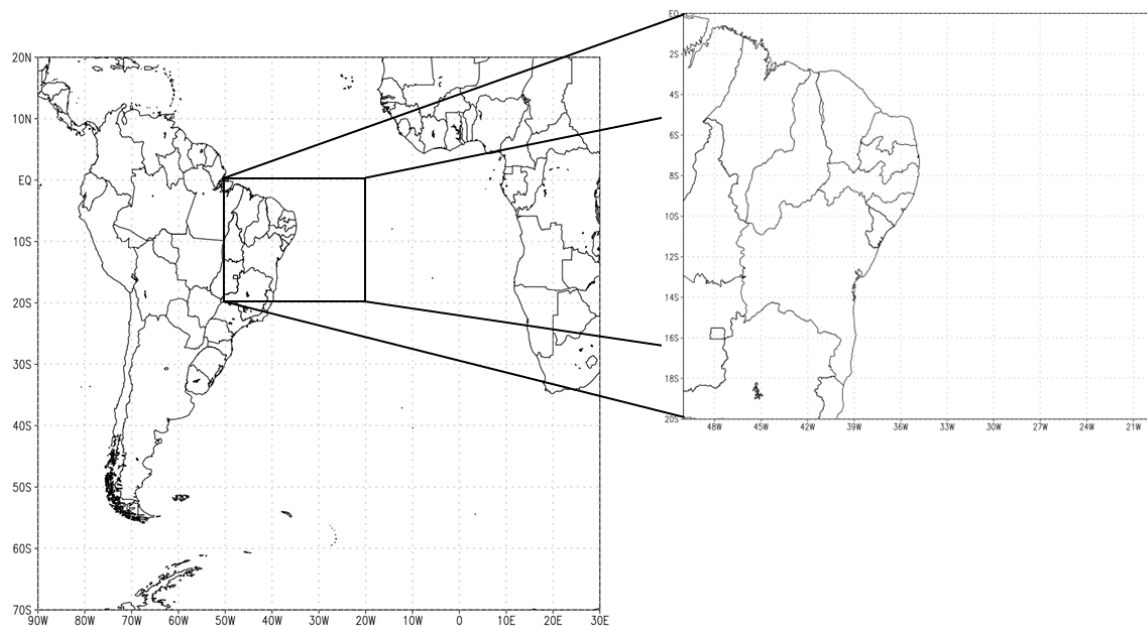
Neste capítulo estão descritos os dados e métodos utilizados para o estudo das CJNEBs no período de 2016 a 2018.

Foi analisada a atuação da CJNEB quando associada a outros sistemas sinóticos e como pode influenciar na ocorrência de fenômenos adversos.

3.1 ÁREA DE ESTUDO

A grande área de estudo e análise dos sistemas sinóticos foi delimitada entre as latitudes 70°S – 20°N e longitudes 90°O – 30°L, com as análises voltadas para o NEB e oceano adjacente. A subárea de estudo foi fixada em 20°S - 0° e 50°O - 20°O (Figura 15). A subárea foi utilizada para estudo dos fenômenos adversos.

Figura 15 - Região de estudo com recorte indicando a subárea.



Fonte: Autor, 2023

3.2 DADOS UTILIZADOS

Para o estudo, foram utilizados dados de reanálise do modelo numérico ERA5 (0,25°×0,25°, distribuídos verticalmente nos níveis padrões de pressão e nos horários sinóticos

das 00, 06, 12 e 18 UTC) do European Center for Medium-Range Weather Forecasting (ECMWF), disponíveis na homepage: <https://cds.climate.copernicus.eu>.

3.2.1 Imagens de satélite

Foram coletadas imagens em grade de satélites geoestacionários (GRIDSAT B1) em intervalos de três horas, no canal infravermelho (IR), disponibilizados pelo sistema de navegação global de dados B1 (GIBBS) do projeto internacional de climatologia em nuvem por satélite (ISCCP) da Administração Nacional Oceânica e Atmosférica (NOAA), na homepage: <https://www.ncdc.noaa.gov/gibbs/year>.

Também foram utilizadas imagens dos satélites METEOSAT-10, GOES-16, GOES-13 e GOES + METEOSAT nos canais infravermelho (IR) e infravermelho realçado (REALCE), disponibilizadas pelo Centro de Previsão de Tempo e estudos climáticos (CPTEC / INPE), na homepage: <https://www.cptec.inpe.br/>.

3.2.2 Dados de precipitação

- a) De forma pontual, foram utilizados dados das estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET);
- b) Para um caso específico, foram verificadas as leituras horárias das 12 estações pluviométrica do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN), localizadas na cidade de Maceió.
- c) De forma espacial, foram utilizados os mapas de precipitação acumulada em 24 horas do INMET, disponíveis na homepage: <https://tempo.inmet.gov.br/PrecAcumulada>.

3.2.3 Codificação METAR e SPECI

Com o intuito de identificar o registro de fenômenos como trovoadas, nevoeiros e precipitação, foi elaborado um arquivo de dados provenientes da estação de superfície dos aeroportos de São Luiz (SBSL), Teresina (SBTE), Parnaíba (SBPB), Fortaleza (SBFZ), Juazeiro do Norte (SBJU), Mossoró (SBMS), Natal (SBNT), Campina Grande (SBKG), João Pessoa (SBJP), Recife (SBRF), Maceió (SBMO), Aracajú (SBAR), Petrolina (SBPL), Lençóis (SBLE), Bom Jesus da Lapa (SBLP) e Salvador (SBSV) (Figura 16). O código METAR oferece informações como o grupo de tempo presente (chuva, trovoadas e etc.), pressão (hPa),

velocidade do vento (nós), umidade relativa (%), temperatura do ar, temperatura do ponto de orvalho (°C) e grupo de nuvens, disponíveis na homepage: <http://www.redemet.aer.mil.br/>.

Figura 16 - Aeródromos dos quais foram coletadas a codificação METAR.



Fonte: Adaptado de REDEMETS, 2023

3.3 SOFTWARES UTILIZADOS

Para a composição dos campos meteorológicos foi utilizado o software gráfico Grid Analysis and Display System (GrADS) na versão 2.2.1. Desenvolvido pelo *Center for Ocean Land Atmosphere Interaction* (COLA), disponível na homepage: <http://cola.gmu.edu/grads>.

Todas as tabelas foram ordenadas no software de planilhas, Microsoft Excel.

3.4 METODOLOGIA

3.4.1 Identificação da CJNEB

Em estudos anteriores (GOMES, 2003; FEDOROVA et. al., 2017a e 2017b) a CJNEB foi definida com velocidade maior ou igual a 20 m/s. Sua localização sobre o NEB fica entre as longitudes 20°O a 50°O e latitudes 0° a 20°S. Os eventos foram identificados através dos mapas de linhas de corrente e magnitude do vento no nível 200hPa, confeccionados a partir dos dados de reanálise das componentes zonal (u) e meridional (v), do modelo numérico ERA5, citado anteriormente.

Em seguida foi construída uma tabela anual para cada dia do ano, onde foram marcados os dias com ocorrência de CJNEB.

3.4.2 Identificação da ASAS.

Localizada entre os continentes Sul-americano e Africano, entre 27-33°S (FEDOROVA et al., 2023), a ASAS (Alta Subtropical do Atlântico Sul) é geralmente encontrada da baixa (1000 hPa) até a média ou alta troposfera (200 hPa). Sua identificação foi feita por meio da análise dos campos de linhas de corrente e vorticidade.

3.4.3 Identificação dos CCMs

Para a identificação de CCM, foi utilizada a metodologia adotada por Lyra et al. (2019). Os casos de CCM foram identificados por meio das imagens do satélite GOES-13 no canal IR e REALCE em um intervalo de 1 hora consultadas no banco de dados de imagens no portal da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DSA) do CPTEC/INPE, disponíveis na homepage: <https://www.cptec.inpe.br/>. Para a identificação dos CCM foram utilizados os critérios sugeridos por Maddox (1980) (Quadro 1). Para a análise dos CCM (Complexos Convectivos de Mesoescala) foi estabelecida uma área de estudo que compreende as latitudes 0° e 20° Sul e longitudes 20° a 50° Oeste.

Quadro 1: Definição de CCM proposta por Maddox (1980) baseada em imagens de satélite.

CARACTERÍSTICAS FÍSICAS	
Tamanho	A – Cobertura de nuvens com temperaturas $\leq -32^{\circ}\text{C}$ observadas no canal IR, com área $\geq 100.000 \text{ km}^2$, B – Região interna da cobertura de nuvens com temperaturas $\leq -52^{\circ}\text{C}$ observadas no canal IR, com área $\geq 50.000 \text{ km}^2$
Início	Quando as definições de tamanho A e B sejam satisfeitas
Duração	As definições de tamanho A e B deverão persistir por um período $\geq 6\text{h}$
Forma	Quando a definição do tamanho A (-32°C) alcançar seu tamanho máximo.
Extensão Máxima	Excentricidade $\geq 0,7$ no momento de máxima extensão.
Término	Quando as definições de tamanho A e B já não são satisfeitas.

Fonte: Adaptado de Lyra, 2019.

3.4.4 Identificação das Frentes Frias

A identificação das frentes foi feita através da identificação de (a) Zona alongada num cavado de um ciclone baroclínico no campo de pressão no nível de 1000 hPa e zona com elevados gradientes de espessura na camada 1000-700 hPa dentro da circulação ciclônica; (b) nebulosidade na forma de um vórtice ciclônico nas imagens de satélite no canal infravermelho na região do ciclone baroclínico; (c) banda de nebulosidade direcionada para o NEB; (d) confluência das linhas de corrente no nível de 850 hPa na região da banda de nuvens; (e) banda de nebulosidade na zona entre os valores positivos (na vanguarda) e negativos (na retaguarda) de $\text{adv } \theta_e$. (FEDOROVA et. al, 2016,).

Identificação frontal usando temperatura potencial equivalente:

O estudo da estrutura de uma frente que passa pela AS para o NEB (GEMIACKI, 2005; FEDOROVA et al. (2016) mostra que uma variação na temperatura potencial na zona frontal não foi observada no NEB. Ao mesmo tempo uma variação na Temperatura potencial equivalente (θ_e) foi usada para identificação frontal. Estes parâmetros foram calculados pelas seguintes equações (BOLTON, 1980) *apud* Fedorova et al. (2016):

$$\theta_e = T_K \left(\frac{1000}{p} \right)^{0.2854(1-0.28 \cdot 10^{-3} r)} \exp \left[\frac{3.267}{T_{lcl}} - 0.00254 r (1 + 0.81 \cdot 10^{-3} r) \right] \quad (1)$$

Onde T_k é a temperatura absoluta em Kelvin (K), p é a pressão atmosférica (hPa), r razão de mistura no nível inicial (g kg^{-1}), T_{lcl} é a temperatura absoluta no nível de condensação por levantamento (K), calculada pela equação:

$$T_{lcl} = \frac{1}{\frac{1}{td-56} + \frac{\ln(T_k - T_d)}{800}} + 56 \quad (2)$$

$$Adv\theta_e \equiv -V_H \cdot \nabla_H \theta_e = - \left(u \frac{\partial \theta_e}{\partial x} + v \frac{\partial \theta_e}{\partial y} \right)$$

(3)

Onde x e y são os componentes do vento (m/s).

3.4.5 Análise da estrutura espacial

As variáveis utilizadas estão descritas no quadro 2.

Quadro 2: Variáveis utilizadas.

Variável	Sigla	Unidade
Pressão ao Nível Médio do Mar	PNM	Pa
Umidade relativa	UR	%
Temperatura	T	K
Ômega	ω	Pas^{-1}
Vento zonal	u	m/s
Vento meridional	V	m/s

Fonte: Autor, 2023

3.4.6 Descrição de variáveis

A seguir são descritas as variáveis utilizadas nas análises:

Linhas de corrente (LC)

$$\frac{dy}{dx} = \frac{v(x, y, t_0)}{u(x, y, t_0)}$$

(1)

Onde:

u = componente zonal (m/s)

v = componente meridional (m/s)

Vorticidade relativa (ζ)

$$\zeta = k \cdot (\nabla \cdot V) = \left(\frac{\partial v}{\partial x} - \frac{\partial u}{\partial y} \right)$$

(2)

Onde:

ζ = Vorticidade relativa ($10^{-4} s^{-1}$)

u = componente do vento zonal (m/s)

v = componente do vento meridional (m/s)

4 RESULTADOS

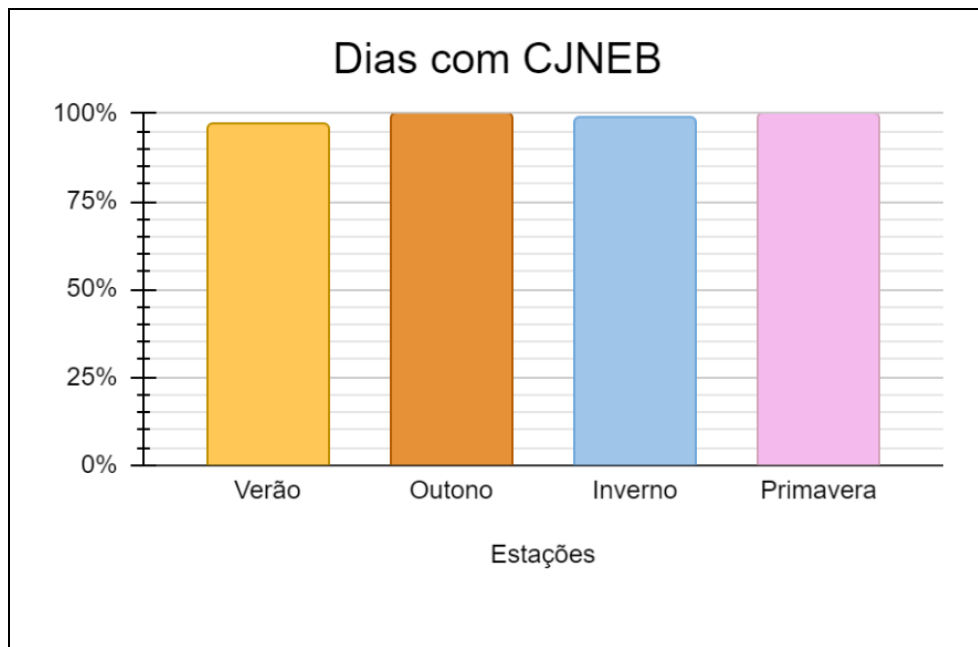
4.1 Análise geral do período de estudo.

Durante o período analisado (2016 a 2018), foram identificados 1087 dias com a presença da Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro (CJNEB), o que corresponde a 99% de todo o período analisado. A CJNEB foi predominantemente transversal (SE-NO), diferente do que foi observado por Costa (2010), que constatou que o padrão Meridional é o de maior frequência, com 47% dos casos estudados. No Apêndice são apresentadas as tabelas com dados diários de velocidade do vento, frequência e sentido da corrente.

No ano de 2016, houve registro de CJNEB todos os dias (100%). Em 2017, a presença dessas correntes foi registrada em 359 dias (98%), enquanto em 2018 foram observadas em 362 dias (99%). Durante todo o período analisado, a CJNEB esteve presente em todos os dias das estações de outono e primavera, exceto 1 dia no inverno de 2018 e em 8 dias nos verões de 2017 e 2018 (6 dias em 2017 e 2 dias em 2018).

O gráfico mostra o percentual de CJNEBs registradas em cada estação (Figura 17)

Figura 17 - Gráfico de dias com registro de CJNEB em cada estação, para todo o período de estudo.



Fonte: Autor, 2023

Em 2016, a CJNEB teve velocidade média de 36 m/s (Apêndice G). Foram registrados 45 dias com extremidades de FFs na região de estudo. Em 143 dias, os VCANs atuaram junto com a CJNEB, destes, a AB e o VCAN atuaram juntos com a CJNEB em 107 dias (tabela X) e a ASAS atuou na região de estudo em 352 dias. Nesse ano, foram registrados 5 CCMs, mas nenhum ocorreu na área de atuação da CJNEB.

Em 2017, a CJNEB teve velocidade média de 34 m/s (Apêndice H). Foram registrados 37 dias com extremidades de FFs na região de estudo. Em 153 dias, a AB e o VCAN atuaram junto com a CJNEB. Já a ASAS atuou na região de estudo por 323 dias. Foram registrados 6 CCMs nesse ano, mas nenhum na área de influência da CJNEB.

No ano de 2018, a CJNEB teve velocidade média de 36 m/s (Apêndice I). Foram registrados 11 dias com FFs na região de estudo. Em 120 dias a AB e o VCAN atuaram com a CJNEB e a ASAS atuou na região de estudo em 316 dias. Foram registrados 2 CCMs nesse ano, mas nenhum na área de atuação de influência da CJNEB.

Os dias em que a CJNEB alcançou as maiores velocidades são apresentados na tabela a seguir. A maior velocidade observada na CJNEB foi de 65 m/s, no dia 15 de julho de 2017. Nos casos em que a CJNEB apresentou uma velocidade maior ou igual a 60 m/s, sua direção foi predominantemente transversal entre os hemisférios (Tabela 1).

Tabela 1 - CJNEB com as maiores velocidades registradas.

DATA	ESTAÇÃO	VELOCIDADE (M/S)	DIREÇÃO
01/06/2016	Outono	60	ZONAL (O - L)
05/08/2016	Inverno	60	MERIDIONAL (S - N)
15/07/2017	Inverno	65	TRANSVERSAL (NO - SE)
28/07/2018	Inverno	60	TRANSVERSAL (NO - SE)
13/09/2018	Inverno	60	ZONAL (O - L)
16/09/2018	Inverno	60	TRANSVERSAL (SO - NE)
23/11/2018	Primavera	60	MERIDIONAL (S - N)

Fonte: Autor, 2023

4.2 Análise dos casos com diferentes sistemas sinóticos

Para uma análise e apresentação mais detalhada, foram selecionados casos que estão associados a diferentes sistemas sinóticos e fenômenos meteorológicos diversos. Para a escolha dos casos foram levadas em consideração as maiores velocidades do vento, sistemas sinóticos atuantes e a existência de diferentes fenômenos meteorológicos. A tabela a seguir (Tabela 2) apresenta dados horários desde o início até o final dos eventos. Foram escolhidos dois eventos nos quais a CJNEB esteve associada com VCAN. Em um desses eventos, o VCAN estava localizado sobre o continente, no NEB, enquanto o outro estava sobre o atlântico.

Em um dos eventos selecionados, também foi destacada a ligação da extremidade frontal com a CJNEB. Já em outro evento, a CJNEB estava situada entre dois anticiclones, um em altos níveis (AB), localizado na região continental logo ao sul do NEB e o outro, a ASAS, com a circulação anticiclônica em toda troposfera.

Para fins de comparação quanto a influência da CJNEB nas condições meteorológicas, foi apresentado um evento sem influência da CJNEB, esse evento teve a influência da ASAS. Assim, foram selecionados 5 casos:

1. CJNEB com VCAN sobre o Atlântico, AB afastada do NEB e ASAS, 10 de janeiro de 2016;
2. CJNEB com VCAN sobre continente (NEB) e AB, 23 de janeiro de 2018;
3. CJNEB com FF, 14 de novembro de 2017;
4. CJNEB com AB, CAN e ASAS, 16 de julho de 2017;
5. ASAS, sem CJNEB, 22 de agosto de 2016.

Tabela 2 - Casos apresentados com informações horárias - Horário (H), velocidade máxima do vento (V), direção da CJNEB (D), sistemas sinóticos associados (SS) e fenômenos meteorológicos (F). Extremidade frontal (EF), sem registro de fenômeno (SF), não se aplica. (NA).

DATA	H	V (M/S)	D	SS	F	TIPO
10/01/16	0	30/35	M (S - N) / T (NO - SO)	CJNEB +AB + VCAN + ASAS	Nevoeiro	1C
	6	40/35	M (S - N) / T (NO - SO)	CJNEB +AB + VCAN + ASAS	Nevoeiro	1C
	12	40/35	M (S - N) / T (NO - SO)	CJNEB +AB + VCAN + ASAS	Nevoeiro	1C
	18	40/30	M (S - N) / T (NO - SO)	CJNEB +AB + VCAN + ASAS	SF	1C
22/01/18	0	30	T (SE - NO)	CJNEB + AB + VCAN	SF	1C
	6	27	T (SE - NO)	CJNEB + AB + VCAN	Nevoeiro	1C
	12	27	T (SE - NO)	CJNEB + AB + VCAN	Prec. int. + trovoada + nevoeiro	1C
	18	30	T (SE - NO)	CJNEB + AB + VCAN	SF	1C
14/11/17	0	35	Z (O - L)	CJNEB + EF	Prec. Int.	1B
	6	40	Z (O - L)	CJNEB + EF	Prec. fraca	1B
	12	35	Z (O - L)	CJNEB + EF	SF	1B
	18	35	T (NO - SE)	CJNEB + EF	SF	1B
16/07/17	0	45 / 55	M (S- N) / T (NO - SE)	AB + ASAS + CAN	Prec. fraca	1B
	6	45 / 45	M (S- N) / T (NO - SO)	AB + ASAS + CAN	Prec. fraca	1B
	12	45 / 40	M (S- N) / T (NO - SO)	AB + ASAS + CAN	Prec. fraca	1B
	18	45 / 40	M (S- N) / T (NO - SO)	AB + ASAS + CAN	Prec. fraca	1B
22/08/16	0	NA	NA	ASAS	NA	-
	6	NA	NA	ASAS	NA	-
	12	NA	NA	ASAS	NA	-
	18	NA	NA	ASAS	NA	-

Fonte: Autor, 2023

4.3 Análise do evento de CJNEB com VCAN, AB e ASAS ocorrido no dia 10/01/2016.

O evento foi escolhido pois foi registrada precipitação intensa sobre parte da costa do NEB (nos estados de Alagoas (AL), Pernambuco (PE) e Paraíba (PB), em regiões que não estavam sob a influência da CJNEB, próximo a região de atuação da CJNEB com o VCAN e ASAS.

4.3.1 Análise sinótica.

Através da análise do campo de linhas de corrente e magnitude do vento, foi possível observar duas CJNEB (figura 18 - A), onde a CJNEB 1 atuava sobre o NEB (eixo indicado com a linha de cor vermelha) apresentando uma posição transversal (T), assim como a CJNEB 2, que atuava sobre o oceano Atlântico, próximo à costa do NEB (eixo indicado com a linha de cor roxa) e também estava numa posição transversal. O NVM (Núcleo de Velocidade Máxima) da CJNEB 1 atingiu a velocidade de 40 m/s, enquanto o da CJNEB 2 chegou a 35 m/s. A CJNEB 1 atuou entre as periferias da AB e do VCAN, enquanto a CJNEB 2 atuou apenas na região da periferia do VCAN, cujo centro estava localizado nas coordenadas 19° S e 20° W, como é possível observar na (figura 18 – B).

Foram feitas seções verticais de ômega com a finalidade de observar a circulação vertical dos sistemas sinóticos identificados. A seção feita em 5°S (figura 19-A) mostra intensa movimentação descendente no setor leste e bastante movimentação ascendente no setor oeste da saída do jato, apesar de estar sob influência da AB.

Em 10°S (figura 19-B), é observada intensa movimentação ascendente no setor oeste e descendente no setor leste da saída da CJNEB 1. Esses movimentos descendentes do setor leste do jato, provocam movimentos descendentes na região do cavado do VCAN. O cavado, por sua vez, fez com que houvesse movimentação ascendente no setor oeste da entrada do jato 2, região em que se esperava que houvesse a predominância de movimentos descendentes. A AB teve movimentação ascendente ainda mais intensa.

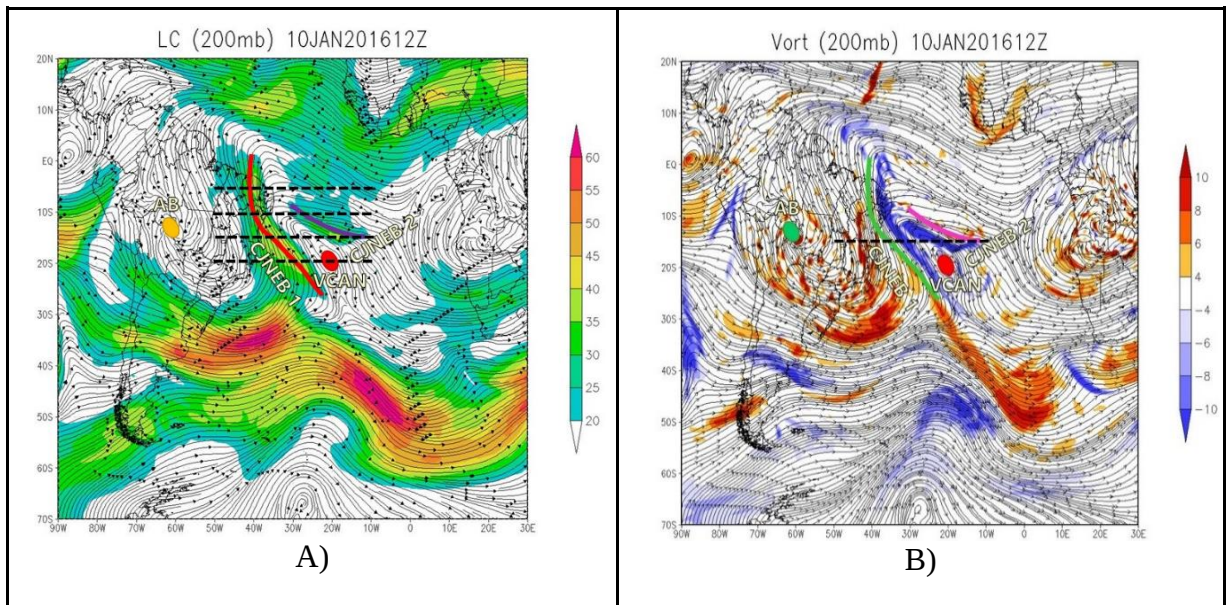
A seção feita em 15°S (figura 19-C) mostra movimentos descendentes intensos e profundos em toda a extensão da CJNEB 1. Diferente do esperado, a região de atuação do cavado do VCAN apresenta movimentação descendente ainda mais intensa e profunda, influenciada pela CJNEB1. A CJNEB 2 apresentou movimentação ascendente mais intensa, no setor oeste, região sob influência do cavado do VCAN. A região da AB segue tendo a predominância de movimentos ascendentes, porém, menos intensos.

Em 20°S (figura 19-D), é observada movimentação ascendente no setor oeste e descendente no setor leste da entrada da CJNEB 1. A região do VCAN que sofre influência da CJNEB 1 teve intensa movimentação descendente e seu centro teve movimentação ascendente. Sabendo que VCANs são núcleos de baixa pressão que se desenvolvem na alta troposfera, caracterizados por terem ar frio em seu núcleo e a predominância de movimentos subsidentes em seu interior (Frank, 1970), ao mesmo tempo em que apresentam movimentos ascendentes e a formação de nebulosidade em sua periferia. É certo afirmar que o VCAN apresentou um padrão de circulação diferente do apresentado por KOUSKY e GAN, em 1981, por influência da CJNEB.

A CJNEB 2, por sua vez, também não corresponde ao padrão de circulação de uma corrente retilínea, onde o sistema apresenta circulação direta na entrada da corrente e indireta na saída (na entrada, o lado frio apresenta movimentos descendentes e o lado quente apresenta movimentos ascendentes, enquanto a saída apresenta movimentos ascendentes no lado frio e descendentes no lado quente). No caso apresentado, a CJNEB 2 apresenta movimentos ascendentes no setor oeste e descendentes no setor leste, tanto na entrada quanto na saída do jato.

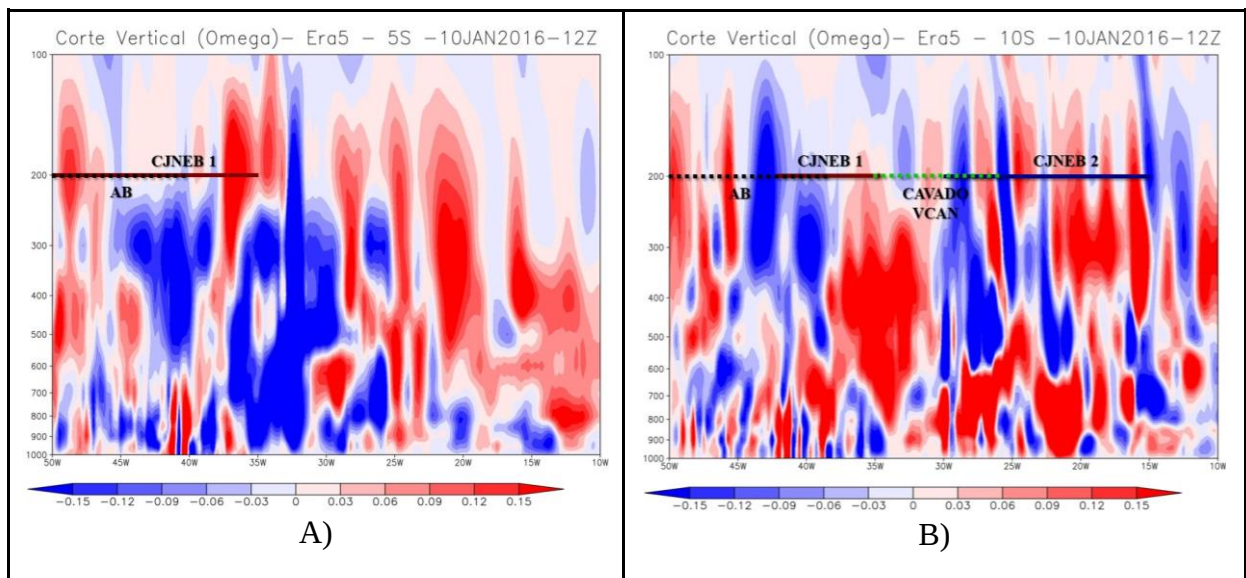
Nesse caso, é possível afirmar que a CJNEB 1 tenha conseguido influenciar na alteração dos movimentos verticais do VCAN, pois este, estava se deslocando no sentido Leste, onde segundo Kousky e Gan (1981), o sentido em que o VCAN se desloca tem maior atividade convectiva, o que geram as nuvens vistas pelos satélites.

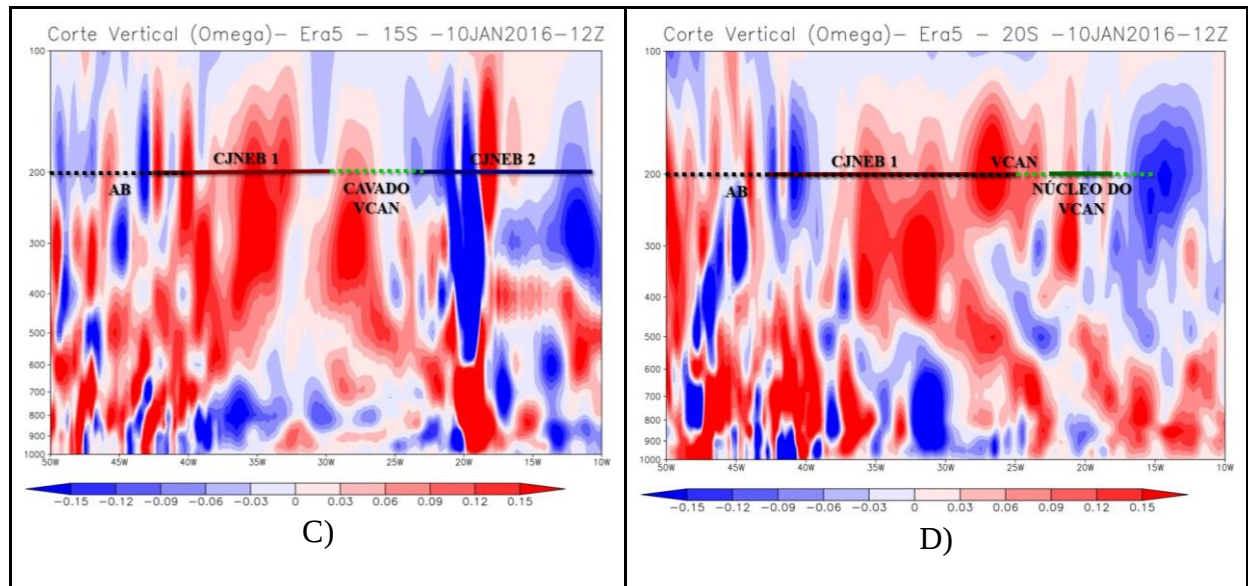
Figura 18 - Linhas de corrente e magnitude do vento em 200 hPa (linhas vermelha e roxa indicam os eixos das CJNEBS, linha preta tracejada indica os locais dos cortes verticais) (A), vorticidade e linhas de corrente em 200 hPa (B) para as 12 UTC. 10/01/2016.



Fonte: Autor, 2023

Figura 19 - Corte vertical de ω em 5°S (A), 10°S (B), 15°S (C) e 20°S (D), variando de 50 a 10° O.12 UTC. 10/01/2016.

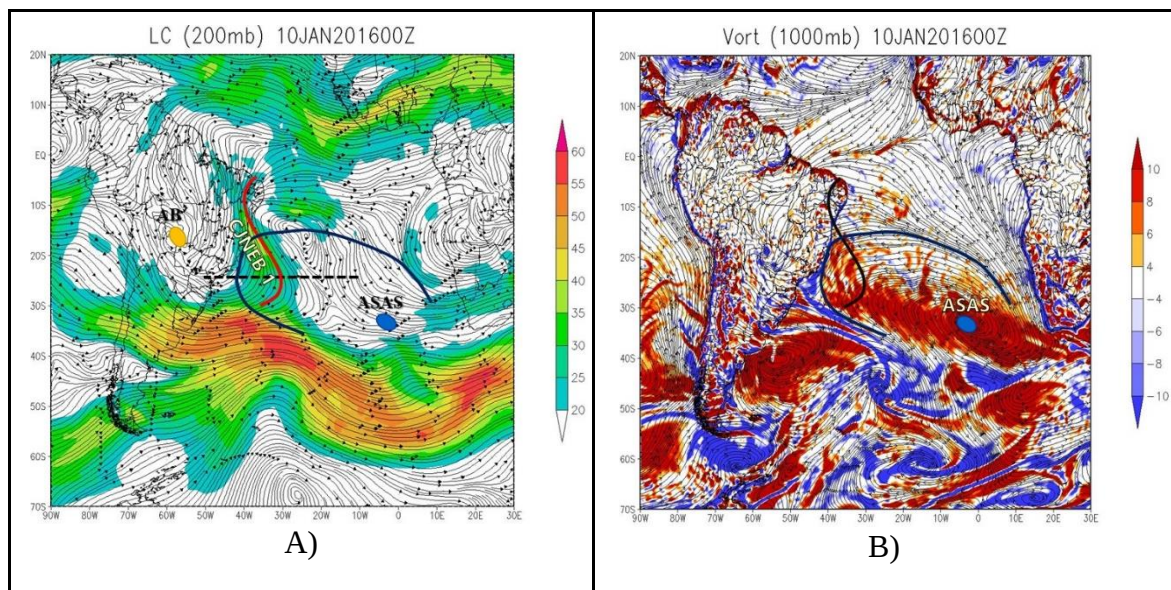




Fonte: Autor, 2023

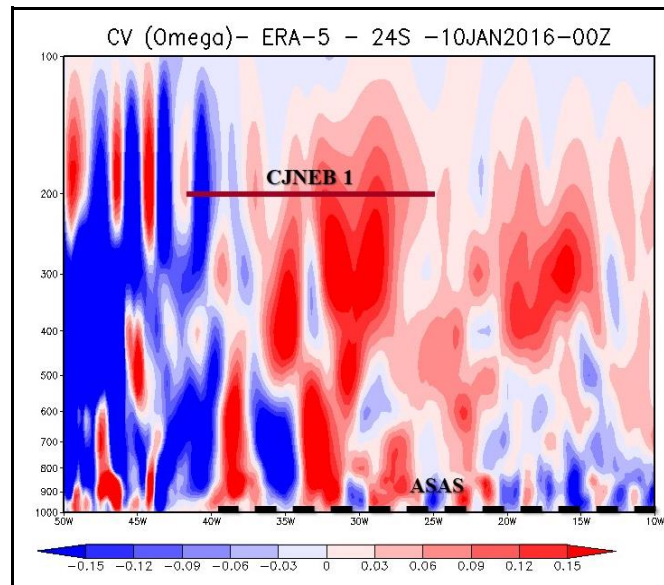
Em 24°S (figura 21) a entrada da CJNEB teve a predominância de movimentos descendentes que alcançaram 1000 hPa, região de atuação da ASAS (Figura 20). O único horário em que a ASAS teve a predominância de movimentos descendentes foi às 00 UTC, com profunda movimentação descendente que chegou a 1000 hPa, na região que estava sob influência da CJNEB.

Figura 20 - Linhas de corrente e magnitude do vento em 200 hPa (linha vermelha indica o eixo da CJNEB 1, linha tracejada indica o local do corte vertical) (A) e vorticidade com linhas de corrente em 1000 hPa (B) para as 00 UTC. 10/01/2016.



Fonte: Autor, 2023

Figura 21- Corte vertical de ômega em 24°S, variando de 50 a 10° O. 00 UTC. 10/01/2016.



Fonte: Autor, 2023

4.3.2 Análise termodinâmica

Os perfis verticais simulados (Figura 22) indicaram nevoeiro das 00 às 12 UTC. Às 0 UTC a atmosfera estava bastante úmida, a umidade foi diminuindo ao longo do dia, porém, permaneceu bastante úmida em baixos níveis (de 1000 a 800 mb).

Os horários de 12 e 18 UTC apresentaram os maiores índices de instabilidade (CAPE) (1112 e 1239 J, consecutivamente), como é possível observar na tabela 3. A ocorrência de CAPE+ nos eventos de nevoeiro foi descrita por Fedorova et al (2015), Fedorova e Levit (2016) e Fedorova et al (2023).

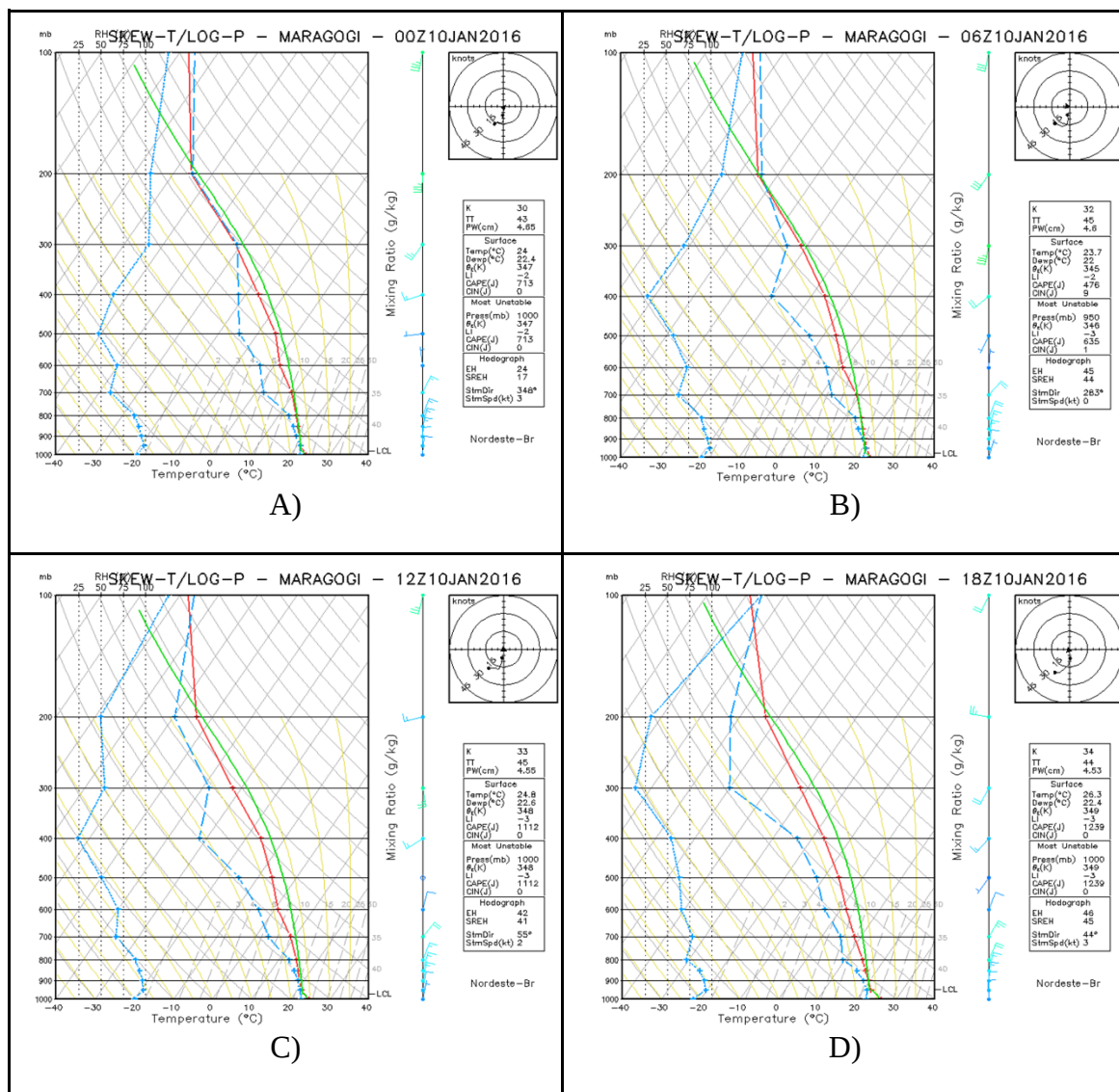
O índice $TT > 44$ indica aguaceiro com trovoadas (Carmo et al. 2019).

O índice LI variou de -2 a -3, indicando uma atmosfera com boas possibilidades de chuvas e tempestades severas.

O índice K indicou condições potencialmente favoráveis à formação de tempestades ($K > 30$), como descrito em Nascimento, 2005.

O perfil simulado mostrou possibilidade de chuva e trovoadas pelos índices, mas não houve o registro de trovoadas pelo código METAR na região estudada.

Figura 22 - Diagrama termodinâmico simulado para Maragogi às 00 (A), 06 (B), 12 (C) E 18 UTC (D). 10/01/2016.



Fonte: Autor, 2023

Tabela 3 - Índices de instabilidade dos perfis simulados para 00, 06, 12 e 18 UTC.

HORA UTC	CAPE	TT	LI	K
0	713	43	-2	30
6	635	45	-3	32
12	1112	45	-3	33
18	1239	44	-3	34

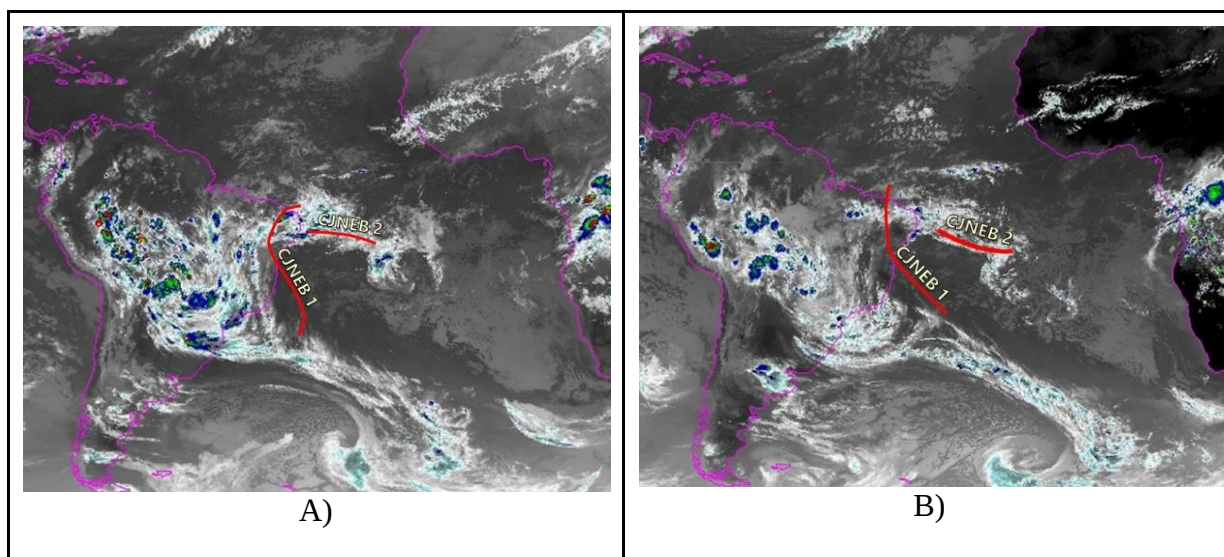
* LI= +1 até -2 indica boa chance de trovoadas e LI= -3 até -6 indica tempestades severas;

Fonte: Autor, 2023

4.3.3 Análise de imagem de satélite e precipitação.

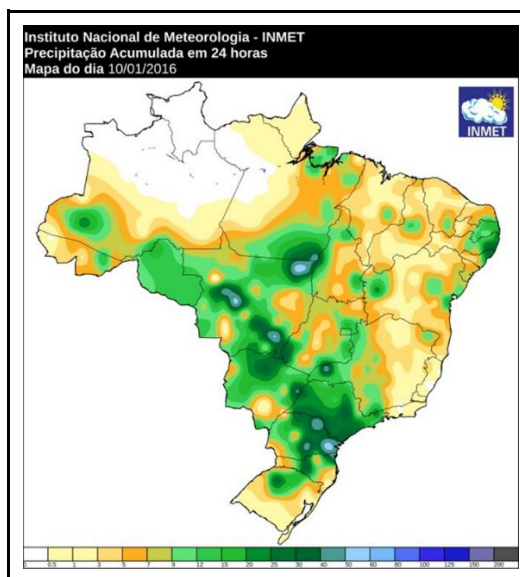
Foi observado através das imagens de satélite (figura 23 A e B), uma região de nebulosidade sobre o litoral do nordeste e a leste dessa região, sobre o Atlântico, na área de atuação do VCAN com as CJNEBs, assim como na região da AB. Foi registrado pelas estações pluviométricas do INMET uma precipitação de cerca de 30 milímetros no litoral dos estados de Alagoas, Pernambuco e Paraíba, assim como é possível verificar no mapa de precipitação acumulada em 24 horas fornecido pelo INMET (figura 24).

Figura 23 - Imagens de satélite GridSat - B1 no canal IR para 00 (A) e 12 UTC (B). 10/01/2016.



Fonte: NOAA

Figura 24 - Mapa de precipitação acumulada em 24 horas para o dia 10/01/2016.



Fonte: INMET

4.4 Análise do evento de CJNEB com VCAN e AB ocorrido no dia 23/01/2018.

O caso foi escolhido pois foi registrada a ocorrência de trovoada e chuva forte. De acordo com Silva (2022), em seu estudo sobre casos de trovoadas em Alagoas, o sistema que mais atuou foi a CJNEB, que esteve em todos os casos, associada ao VCAN. O mesmo é dito por Silva et al. (2011) em seu estudo sobre a alta frequência de CJNEB nos dias com precipitações intensas.

De acordo com o código METAR (Tabela 4), às 04:21 UTC foi feito um registro SPECI (Tabela 3), com a ocorrência de chuva fraca. Às 09:28 foi realizado um novo registro SPECI, dessa vez foi registrada chuva forte que evoluiu na observação seguinte, para trovoada com chuva e névoa úmida, tornando a acontecer às 12:00.

No METAR (Meteorological Aerodrome Report), o "RE" antes do fenômeno meteorológico indica que esse fenômeno está ocorrendo recentemente ou em curtos períodos de tempo. Portanto, no exemplo "RETSRA," o "RE" significa que a chuva estava ocorrendo recentemente ou em episódios intermitentes.

O uso de "RE" em um METAR ajuda a fornecer informações importantes sobre a tendência do tempo e pode ser valioso para os pilotos e controladores de tráfego aéreo, pois indica que o fenômeno pode ser transitório e variável, o que pode afetar as condições de voo.

Tabela 4 - Fenômenos registrados pelo código METAR no evento de chuva e trovoada ocorrido no dia 23/01/2018 na cidade de Maceió/AL.

DATA	LOCAL	HORA (UTC)	FENÔMENO
23/01/2018	SBMO	04:21	-RA BR
23/01/2018	SBMO	09:00	-RA BR
23/01/2018	SBMO	09:28	+RA
23/01/2018	SBMO	10:00	TSRA BR
23/01/2018	SBMO	11:00	-RA BR
23/01/2018	SBMO	12:00	TSRA BR
23/01/2018	SBMO	13:00	BR
23/01/2018	SBMO	15:00	-RA BR
23/01/2018	SBMO	16:00	-RA BR
23/01/2018	SBMO	17:00	BR
23/01/2018	SBMO	22:00	SHRA

* TS= trovoada, RA= chuva, SH= pancada(s) e BR = névoa úmida

(+) = forte e (-) = leve

Fonte: METAR

4.4.1 Análise sinótica

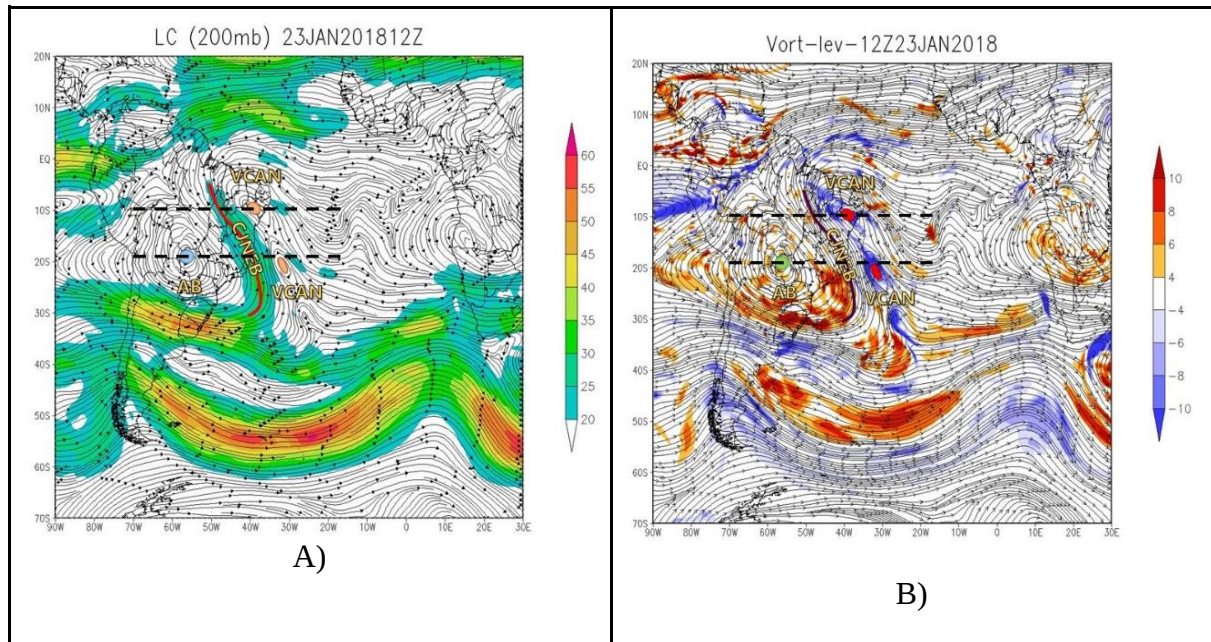
No campo de linhas de corrente e magnitude do vento (Figura 25-A), foi observada a atuação da CJNEB do tipo T com VCAN e AB sobre a região de estudo.

Foram feitas seções de ômega com a intensão de verificar a circulação transversal dos sistemas. Na seção de 10°S às 0 UTC, a crista da AB teve a predominância de movimentos ascendentes intensos e profundos que chegaram a 1000 hPa, a saída da CJNEB teve a predominância de movimentos descendentes no lado leste, enquanto o lado oeste teve fraca movimentação ascendente. O VCAN apresentou intensa movimentação descendente em toda sua periferia e movimentos ascendentes no seu núcleo, o que evidenciou uma configuração vertical discrepante em relação à circulação padrão do sistema, descrita por KOUSKY e GAN (1981). Às 06 UTC a periferia leste do VCAN começou a apresentar fracos movimentos ascendentes, até que às 12UTC (figura 26), os movimentos ascendentes do VCAN se intensificaram. As periferias leste e oeste, assim como o núcleo do VCAN apresentaram movimentação ascendente. Por conta disso, a CJNEB sofreu alteração na circulação da saída do jato e passou a ter movimentos ascendentes no lado leste e descendentes no oeste da corrente. A crista da AB apresentou uma diminuição na intensidade dos movimentos ascendentes ao longo do dia. Às 18 UTC toda a extensão da saída da CJNEB era predominantemente ascendente. Os movimentos ascendentes no núcleo do VCAN ficaram ainda mais intensos e profundos, chegando a 1000 hPa. O VCAN continuou tendo movimentação ascendente em toda sua extensão. A crista da AB teve movimentos alternados entre ascendentes e descendentes, com a predominância de movimentos descendentes, que chegaram a 1000 hPa.

Na seção feita em 19°S, a CJNEB teve movimentos ascendentes no lado leste e descendentes no lado oeste do jato. O padrão se manteve por todo o dia. O VCAN teve movimentação ascendente enfraquecida e às 18 UTC passou a ter movimentação descendente.

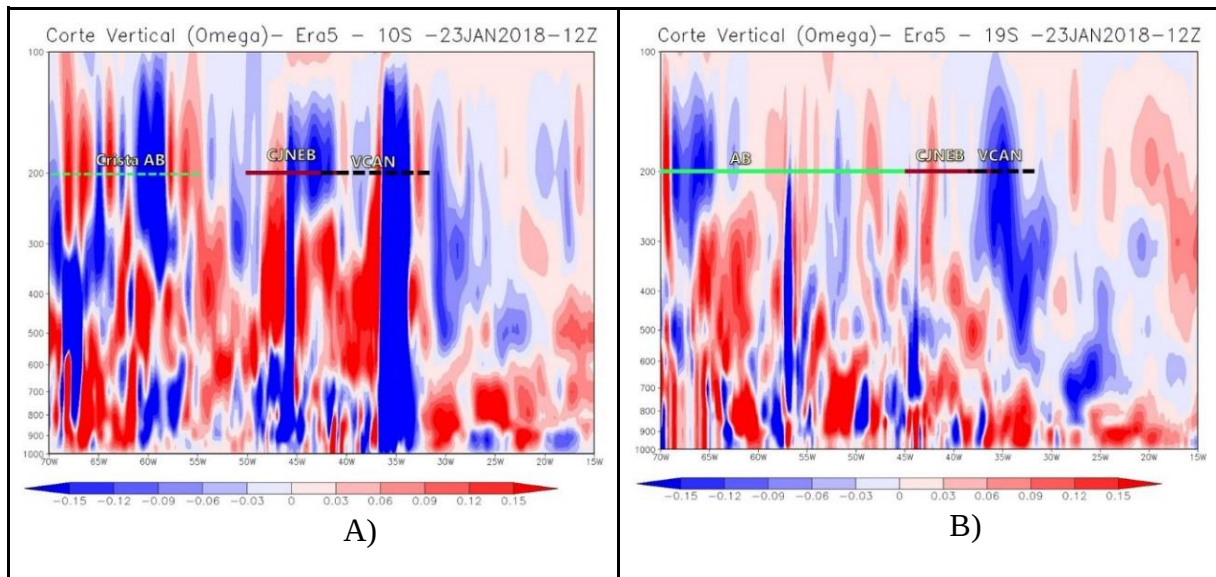
A seção feita em 19°S às 12 UTC (figura 26-B) mostra que a AB teve movimentações menos intensas e com a predominância de movimentos descendentes nesse horário. Em todos os horários, o núcleo da AB teve movimentos ascendentes.

Figura 25 - Linhas de corrente com magnitude do vento (A) e vorticidade com linhas de corrente em 200 hPa (B) para as 12 UTC. 23/01/2018.



Fonte: Autor, 2023

Figura 26 - Seção vertical de ômega para as 12 UTC em 10°S (A) e 19°S (B) variando de 70 a 15° O.



Fonte: Autor, 2023

4.4.2 Análise termodinâmica

O perfil vertical simulado para o horário das 0 UTC (Figura 27-A) mostrou uma camada bastante úmida em 950 hPa e mais acima, na camada entre 400 e 300 hPa. Às 06 e 12 UTC (Figura 27 - B e C), houve nevoeiro. A atmosfera permaneceu bastante úmida até 600 hPa às 18 UTC.

Os índices CAPE indicados pelos perfis simulados, apesar de não sugerirem o desenvolvimento de convecção profunda e forte instabilidade, indicam uma atmosfera propícia a ocorrência de instabilidade moderada, que são típicas em casos de trovoadas para a região de AL, assim como visto em estudo feito por Silva (2022).

O índice TT indicou boa chance de aguaceiro com trovoadas ($TT > 44^{\circ}\text{C}$), como visto em Carmo et al (2019).

O LI com valores maiores que -5°C e menores que -2°C , são comuns nas regiões com pancadas de chuva (Brito et al. 2011). No caso exposto, o LI variou de -1 a -2°C , indicando boa chance de trovoadas.

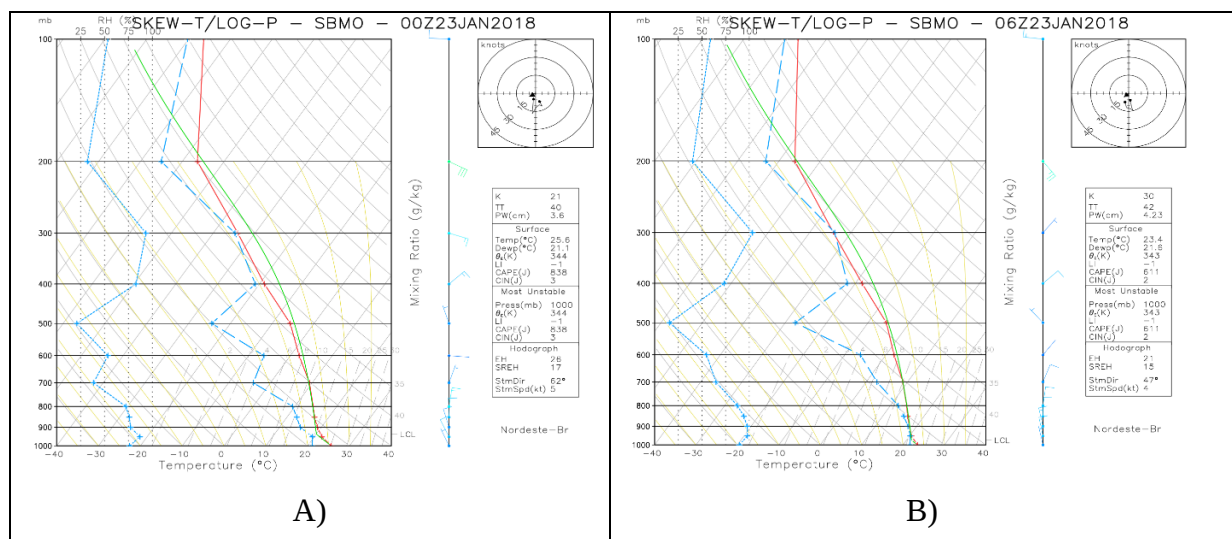
O índice K indicou potencial favorável ($K > 30^{\circ}\text{C}$) para a formação de tempestades às 12 e 18 UTC (Figuras 27 – C e D), como descrito por Nascimento (2005).

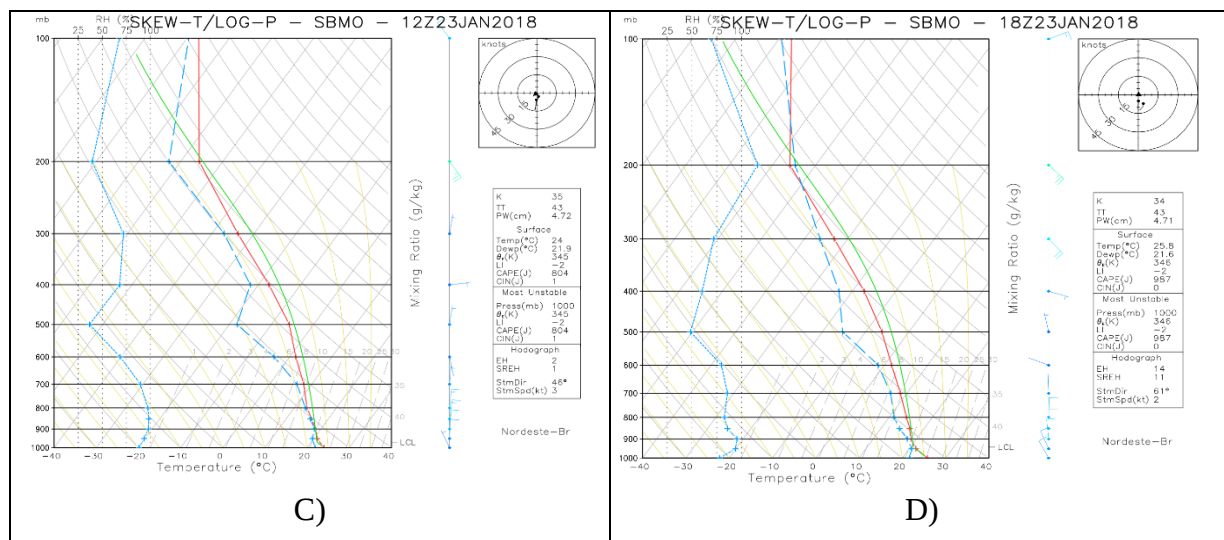
Os índices de instabilidade dos perfis simulados estão descritos na tabela 5.

Com base em estudos anteriores, os perfis simulados apresentaram resultados condizentes em relação aos índices CAPE, K e TT, pois coincidem com o que foi observado e registrado pelo METAR.

Valores termodinâmicos semelhantes em eventos de trovoadas no NEB foram discutidos em estudos como de SILVA, 2022 e Brito et al (2011).

Figura 27 - Diagrama termodinâmico para o Aeroporto de Maceió às 00 (I), 06 (II), 12 (III) E 18UTC (IV). 23/01/2018.





Fonte: Autor, 2023

Tabela 5 – Índices de instabilidade dos perfis simulados para Maceió 00, 06, 12 e 18 UTC.

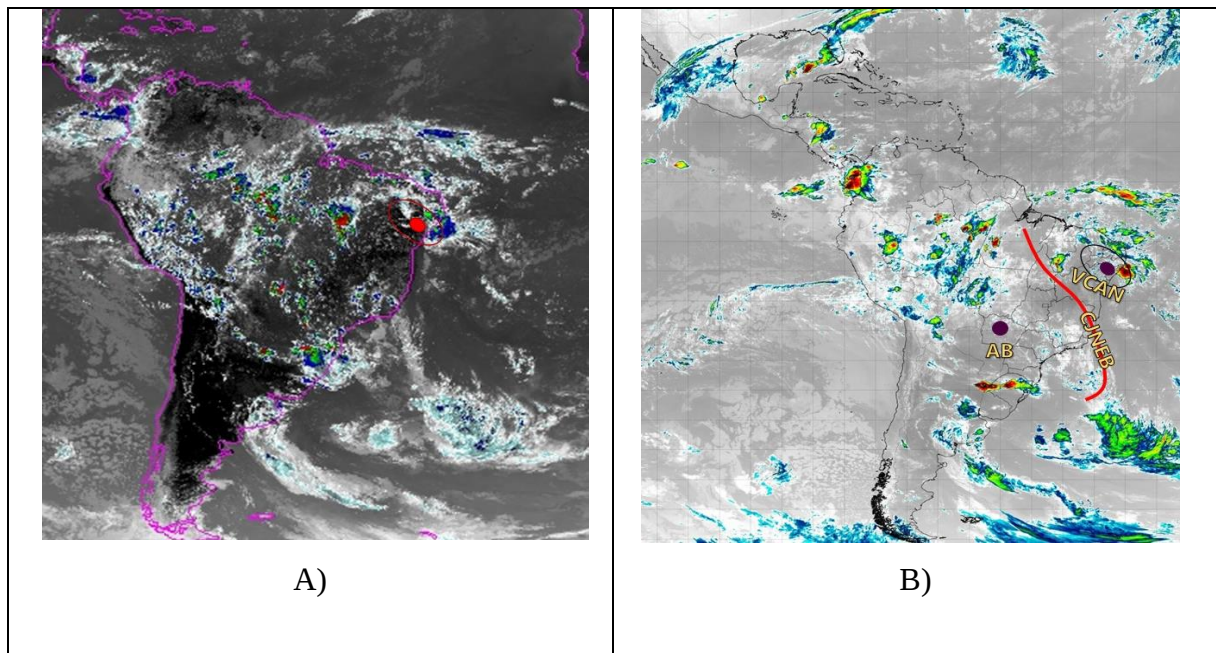
HORA (UTC)	CAPE	TT	LI	K
0	838	40	-1	21
6	611	42	-1	30
12	804	43	-2	35
18	987	43	-2	34

Fonte: Autor, 2023

4.4.3 Análise de imagem de satélite e precipitação

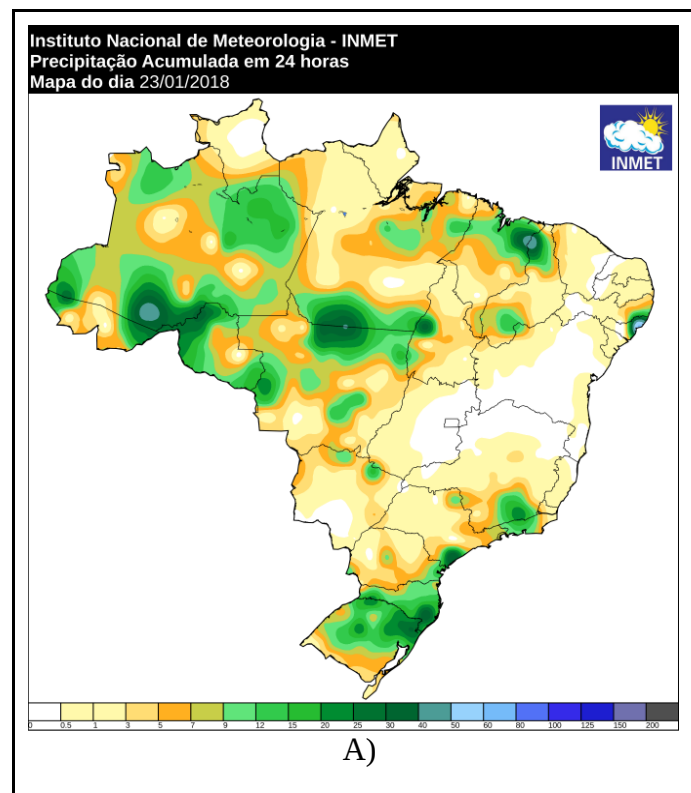
Na imagem de satélite (figura 28 – A e B) é possível identificar forte nebulosidade sobre a região do VCAN. O caso apresentou dados de precipitação intensa na região de Maceió (figura 29). Segundo dados do INMET, as maiores leituras foram feitas durante o evento (09:00 – 11:00UTC), nesse intervalo foram registrados 62 mm de precipitação, sendo 32 mm às 09:00, 9 mm às 10:00 e 21 mm às 11:00, tendo um acumulado de 91mm/24h (figura 30).

Figura 28 - Imagem do satélite GridSat - B1 no canal IR (A) e imagem do satélite GOES 16, no canal 15 para as 12 UTC (B), 10/01/2016.



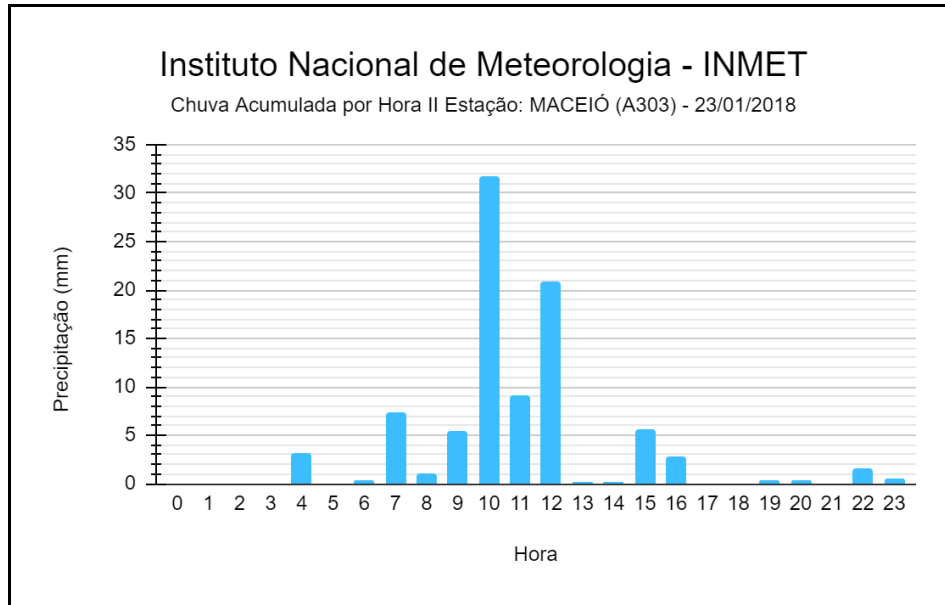
Fonte: NOAA e CPTEC

Figura 29 - Precipitação acumulada na estação de Maceió-AL (A), mapa de precipitação acumulada em 24 horas (B), 23/01/2018.



Fonte: INMET

Figura 30 - Gráfico de precipitação horária na estação de Maceió para o dia 23/01/2018.



Fonte: INMET

Acumulado de 91 mm, segundo o gráfico.

Foram verificadas ainda as leituras horárias das 12 estações pluviométrica do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). As estações localizadas na parte alta da cidade apresentaram maiores leituras, dentre as quais, as estações localizadas nos bairros cidade universitária e Benedito Bentes registraram maior volume de precipitação com leituras de 89,6 e 74,17mm.

4.5 Análise do evento de FF com CJNEB ocorrido no dia 14/11/ 2017

O evento foi escolhido pois foi observada precipitação intensa sobre parte a Bahia, na região de atuação da CJNEB do tipo zonal (Z) com a FF. Esse caso tem como finalidade, entender como a CJNEB pode se comportar quando uma FF atua na mesma região.

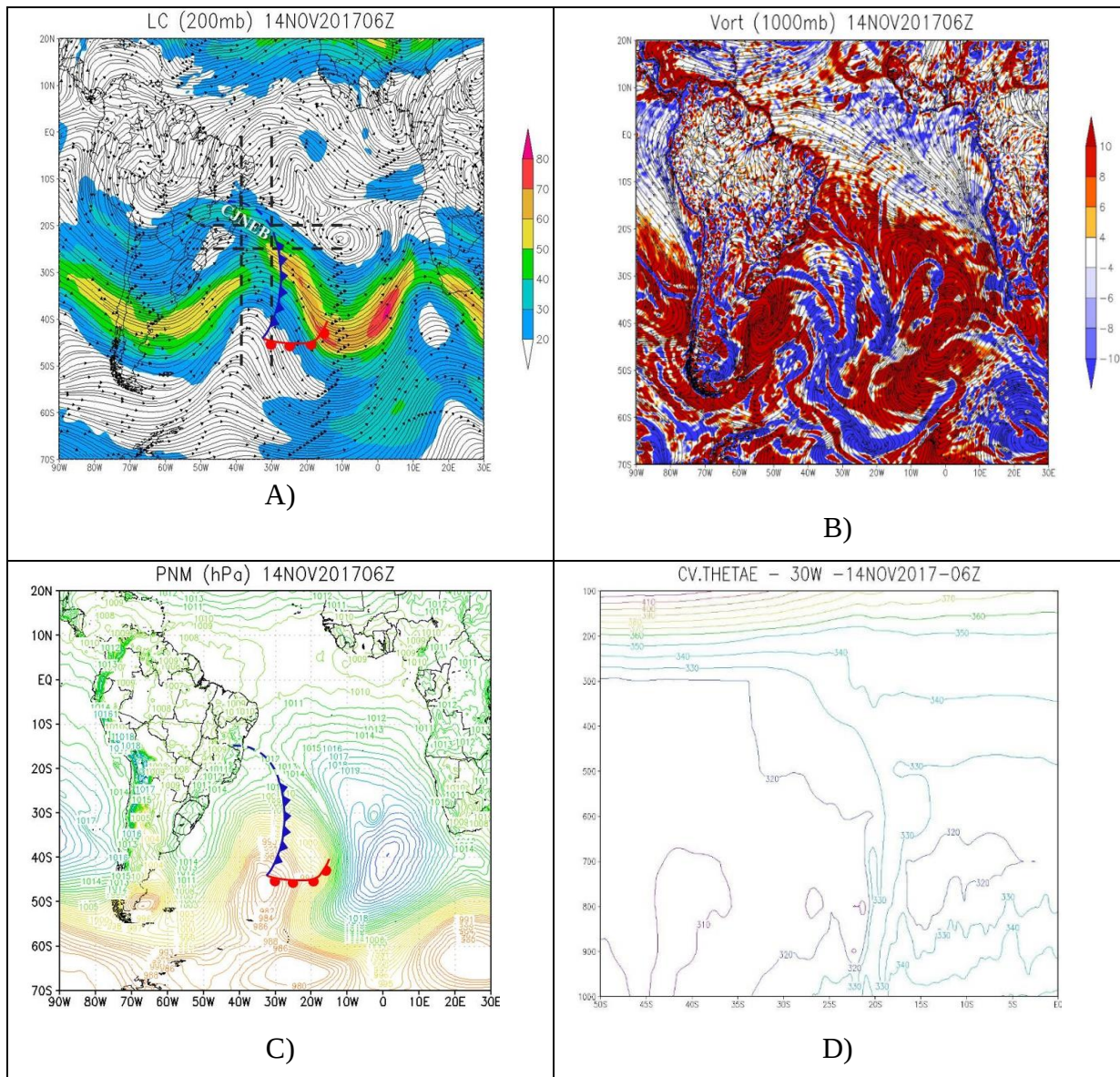
4.5.1 Análise sinótica

Através dos campos de pressão ao nível médio do mar (PNM) (figura 31-C), do corte vertical da temperatura potencial equivalente (TPE) (figura 31-D), do campo de vorticidade (figura 31-B) e das imagens de satélite (figura 34), foi possível identificar a atuação da FF. Pelo campo de linhas de corrente e magnitude do vento (figura 31-A) foi verificado que a uma CJNEB zonal (Z) estava sobre a área de influência da FF.

A extremidade frontal alcançou a região sul do estado da Bahia, onde foi observada precipitação intensa. No campo de PNM, foi observada a presença do cavado associado à frente próximo à costa da região sul do Brasil. À sudeste é observada a ASAS que atuou como bloqueio, fazendo com que a frente se deslocasse para o NEB. Nas imagens de é observada a nebulosidade associada à frente. Na seção vertical da TPE, é possível observar isolinhas bem verticais entre as latitudes de 5°S e 20°S, apresentando maiores temperaturas à norte (na vanguarda) dessa região e diminuição da TPE em direção ao sul (retaguarda), após 20°S, indicando massas de ar com diferentes propriedades.

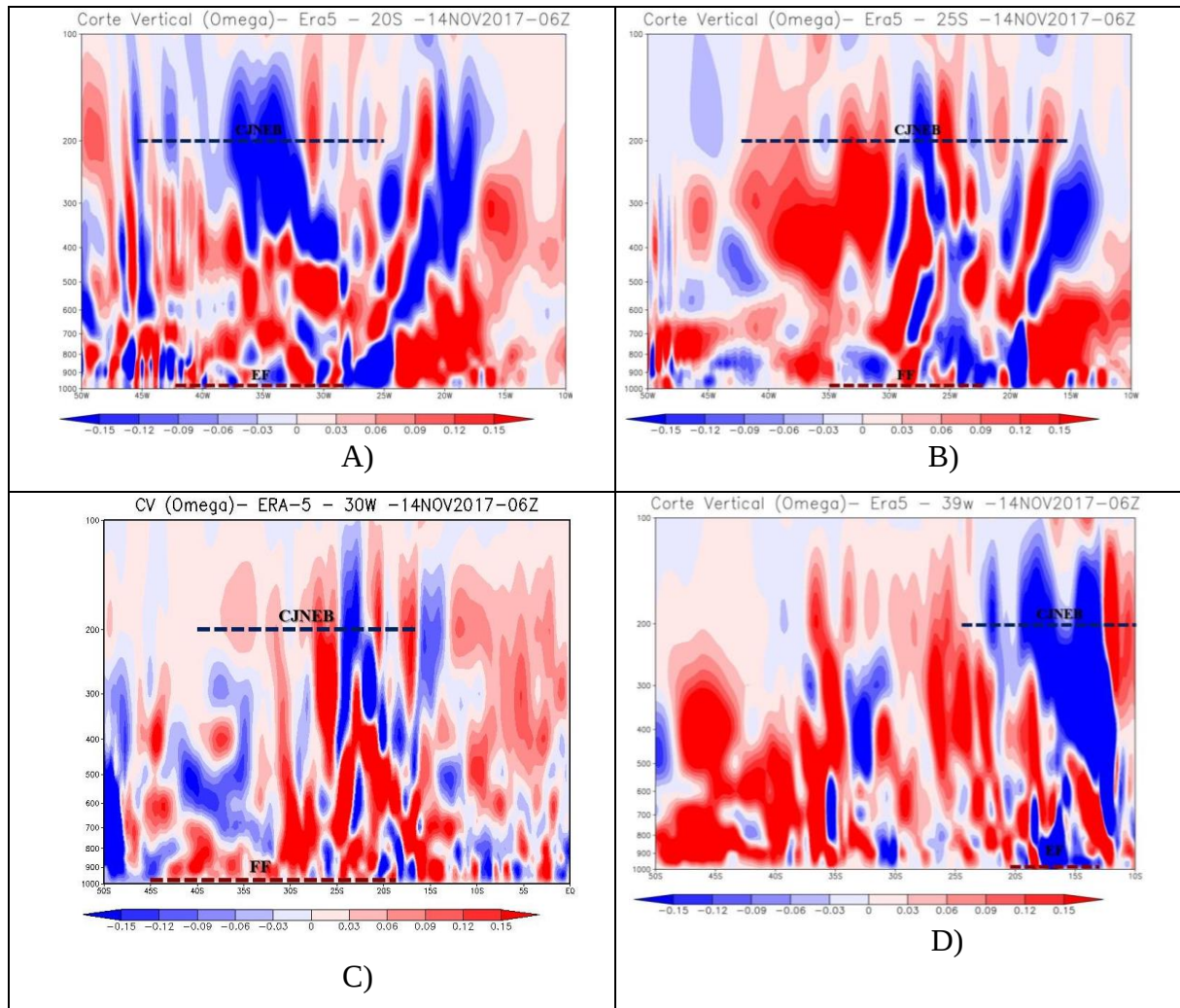
Para investigar a circulação vertical dos dois sistemas, foram feitas seções verticais de ômega nas latitudes 20 e 25°S e longitudes 30 e 39°W. Na seção feita em 30°W (figura 32-C), foi observada a predominância de movimentos descendentes na região da FF, porém a CJNEB teve movimentos ascendentes até 450 hPa, no lado norte da corrente. Em 39°W (figura 32-D), (região onde foi registrada a precipitação), foi observada movimentação descendente no lado norte da corrente e intensa movimentação ascendente em todo o lado sul e parte do lado norte da CJNEB, chegando até a região de atuação da EF, intensificando seus movimentos ascendentes. Na seção feita em 20°S (figura 32-A), foi observada intensa movimentação ascendente na região oeste da entrada da CJNEB, porém esses movimentos não chegaram a alcançar o nível da EF, que por sua vez, apesar de apresentar tanto movimentação ascendente quanto descendente, teve a predominância de movimentos ascendentes. Em 25°S (figura 32-B), feita com maior intenção de investigar a circulação da FF, foi registrada a predominância de intensa movimentação ascendente na região da frente. Esses movimentos ascendentes tornaram-se mais profundos na região de influência da saída da CJNEB.

Figura 31 - Linhas de corrente com magnitude do vento (linhas tracejadas indicam onde foram feitas as seções verticais) (A), vorticidade em 1000 hPa (B), pressão ao nível médio do mar (C) e seção de Temperatura potencial equivalente (D). 06UTC. 14/11/2017.



Fonte: Autor, 2023

Figura 32 - Seção vertical de ômega em 39°W (A), 30°W (B), 25°S (C) e 20°S (D). 06 UTC. 14/11/2017.



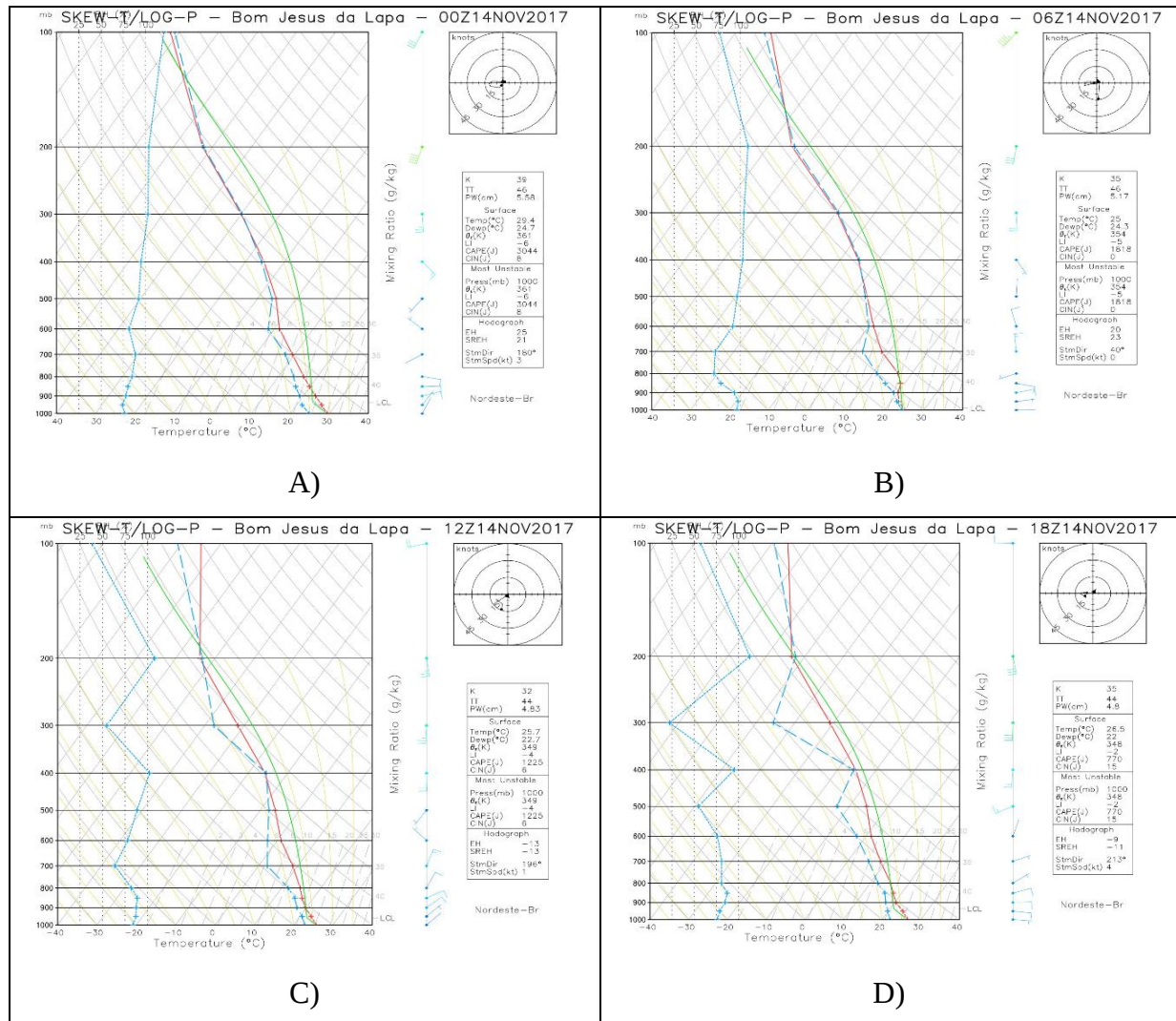
Fonte: Autor, 2023

4.5.2 Análise termodinâmica

Os perfis verticais simulados (Figura 33) indicaram bastante umidade em toda a atmosfera durante todo o dia. Indicando forte índice de instabilidade (CAPE) às 00 e 06 UTC (3044 e 1818 J, consecutivamente), reduzindo para 770 às 18 UTC.

Todos os índices (CAPE, TT, LI e K) mostraram índices favoráveis à ocorrência de tempestade severa e trovoadas. (Tabela 6)

Figura 33 - Diagrama termodinâmico simulado para Bom Jesus da Lapa.00 (A) e 06 (B), 12 (C) e 18 UTC (D). 14/11/2017.



Fonte: Autor, 2023

Tabela 6 - Índices de instabilidade dos perfis simulados para 00, 06, 12 e 18 UTC. 14/11/2017.

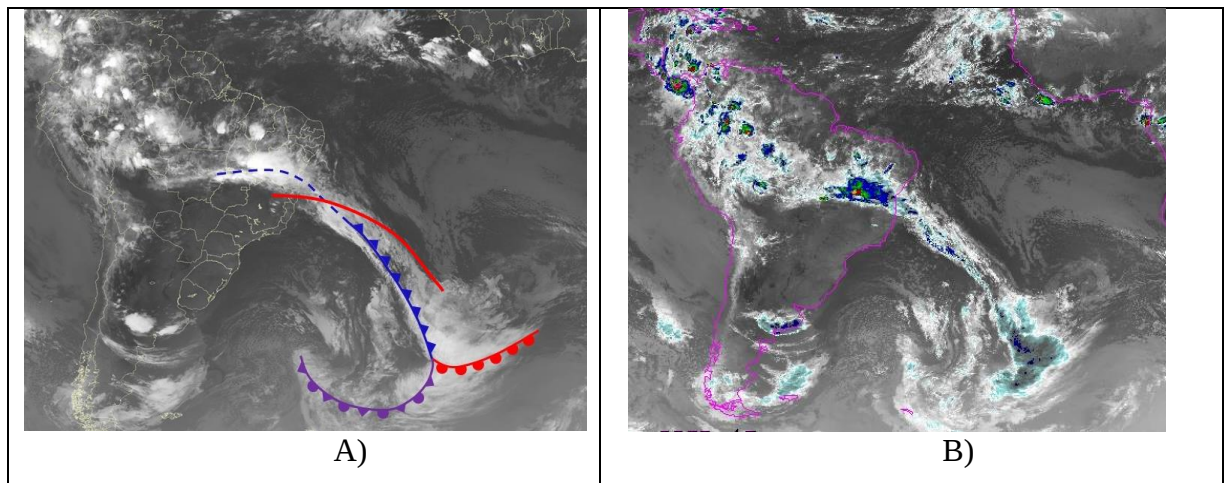
HORA (UTC)	CAPE	TT	LI	K
0	3044	46	-6	39
6	1818	46	-5	35
12	1225	44	-4	32
18	770	44	-2	35

Fonte: Autor, 2023

4.5.3 Análise de imagem de satélite e precipitação.

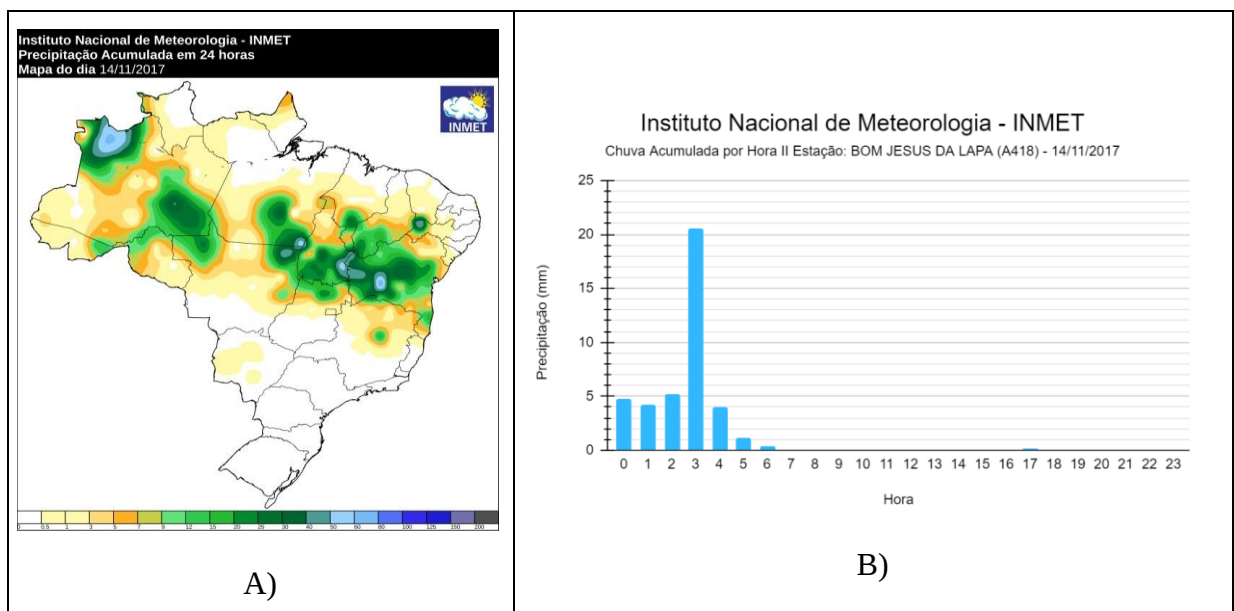
O caso apresentou dados de precipitação intensa em parte da Bahia, região de influência da CJNEB junto com a frente, como visto na (figura 35-A). Segundo dados da estação automáticas do INMET, localizada na cidade de Bom Jesus da Lapa - BA, a maior leitura foi feita, às 03:00 UTC, registrando uma precipitação de 20,6mm, como visto na (figura 35-B). O acumulado diário foi de 40,6 mm e o evento teve duração de aproximadamente seis horas (00:00 às 06:00).

Figura 34 - Imagem do satélite GOES 13 + METEOSAT 10, no canal IR para as 03 UTC (A) e imagem do satélite GridSat - B1 no canal IR, para as 06 UTC (B). 14/11/2017.



Fonte: NOAA e CPTEC

Figura 35 - Mapa de precipitação acumulada em 24 horas (A) e Precipitação horária na estação de Bom Jesus da Lapa - BA (B). 14/11/2017.



Fonte: INMET

4.6 Análise do caso de CJNEB com CAN, AB e ASAS ocorrido no dia 16/07/2017.

No dia estudado (inverno) foi identificada a influência da ASAS no NEB. No nível de 1000 hPa, o centro da circulação anticiclônica foi identificado sobre o oceano, em sua posição climatológica.

4.6.1 Análise sinótica

Através da análise do campo de linhas de corrente e magnitude (figura 36-A) em 200hPa, foi observada a atuação da CJNEB, encontrando-se deslocada para sul e apresentando curvatura anticiclônica. Através do campo de vorticidade com linhas de corrente (figura 36-B) foi possível identificar a atuação da crista da ASAS sobre o NEB. No nível de 1000 hPa, o centro da circulação anticiclônica foi identificado sobre o oceano, perto do sul da África, em sua posição climatológica.

Foram feitas seções verticais em ômega nas latitudes 19 e 25°S (figuras 36-C e D), onde foram observados movimentos descendentes no setor leste da AB até seu núcleo, enquanto o setor oeste teve movimentação ascendente.

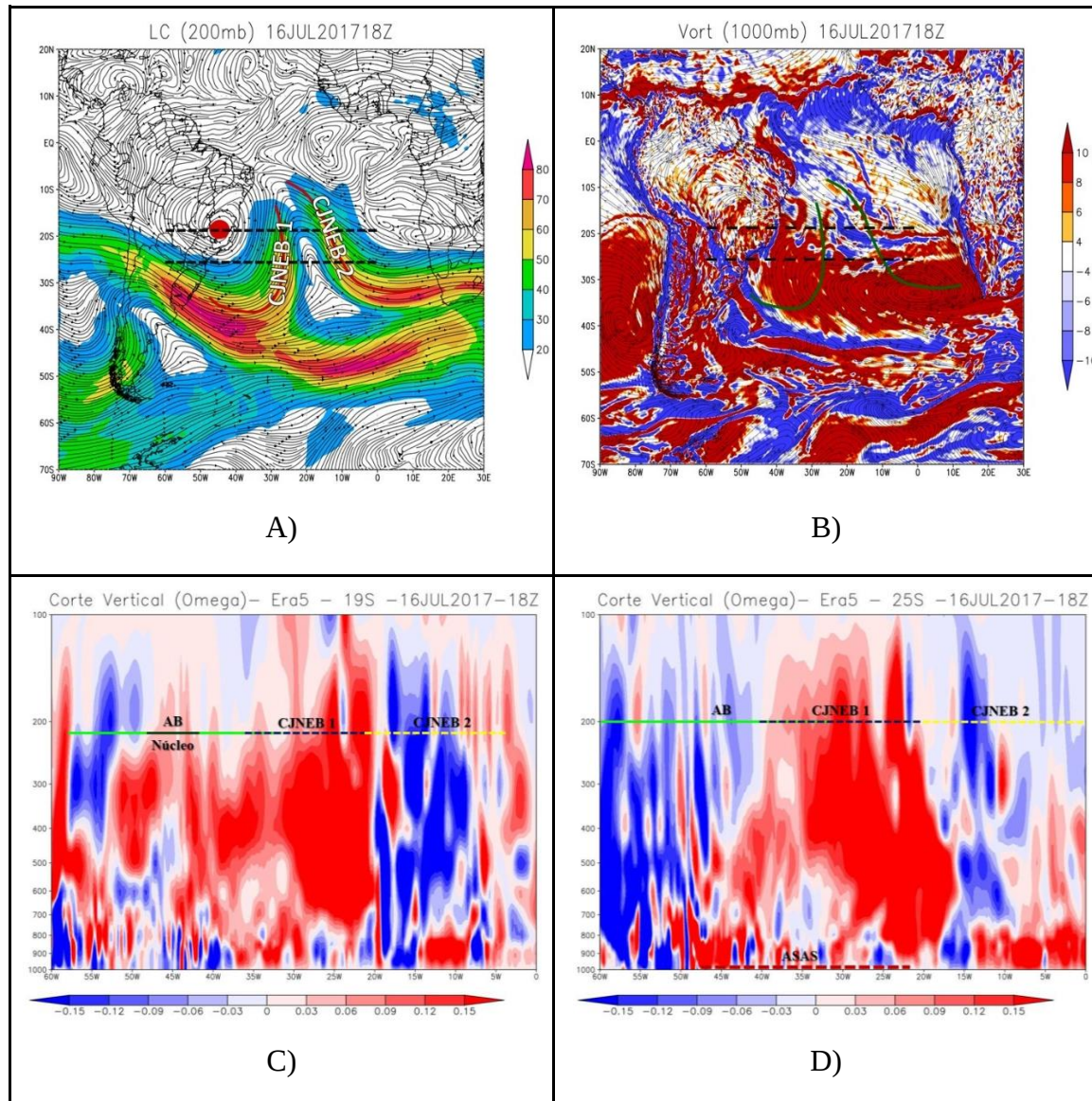
Toda a região de saída da CJNEB 1 teve movimentos descendentes profundos nos quatro horários observados, chegando a 1000 hPa, alcançando a região de atuação da ASAS que apresentou a predominância de movimentos descendentes.

A CJNEB 2 teve movimentos ascendentes profundos em toda a sua área de influência e permaneceu com essa configuração em todas as observações. As seções feitas em 19°S mostram que a AB teve a predominância de movimentos descendentes, inclusive no seu núcleo, durante todo o dia. Já as seções feitas em 25°S mostram que em todas as observações, a AB teve a predominância de movimentos ascendentes.

A observação feita sobre a circulação da AB está de acordo com o conceito de circulação transversal para CJ com curvatura ciclônica proposto por Bee e Bates (1955).

O cavado no qual as CJNEBs se formaram, apresentou movimentos ascendentes no lado leste e descendente no lado oeste e manteve-se assim durante as observações.

Figura 36 - Linhas de corrente e magnitude em 200 hPa (A), vorticidade em 1000 hPa (B) (linhas tracejadas indicam local das seções verticais), seção vertical de ω em 19° (C), e 25°S.



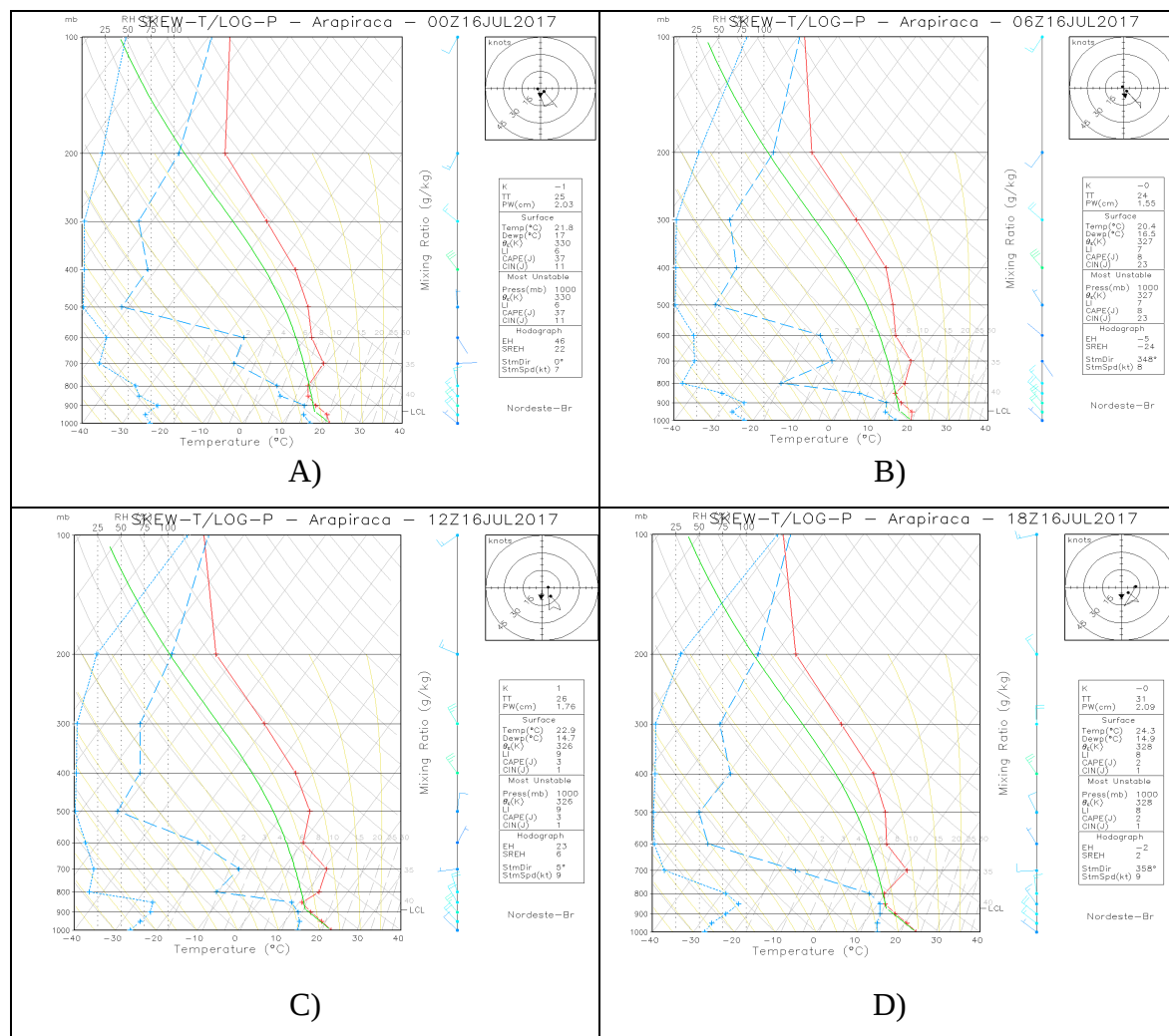
Fonte: Autor, 2023

4.6.2 Análise termodinâmica

Através dos perfis verticais simulados (figura 37) foi observada bastante umidade em 900hPa às 00 e 06 UTC. Às 12 e 18 UTC a camada úmida estava em 950hPa. O perfil das 00 UTC (figura 37-A) mostra uma atmosfera bastante seca á partir de 800 hPa. Entre os níveis 700 e 800hPa foi observada isotermia formada pela subsidência que permaneceu nos quatro horários (das 00 às 18 UTC), indicando a ocorrência de movimentos descendentes.

Os quatro horários mantiveram a configuração de inversão de subsidência e atmosfera seca. Os índices CAPE, TT, LI e K indicaram atmosfera bastante estável. (Tabela 7)

Figura 37 - Diagrama termodinâmico simulado para Arapiraca às 00 (A), 06 (B), 12 (C), e 18 UTC (D). 16/07/2017.



Fonte: Autor, 2023

Tabela 7 - Índices de instabilidade dos perfis simulados para Arapiraca às 00, 06, 12 e 18 UTC. 16/07/2017.

HORA (UTC)	CAPE	TT	LI	K
0	37	25	6	-1
6	8	24	7	0
12	3	26	9	1
16	2	31	8	0

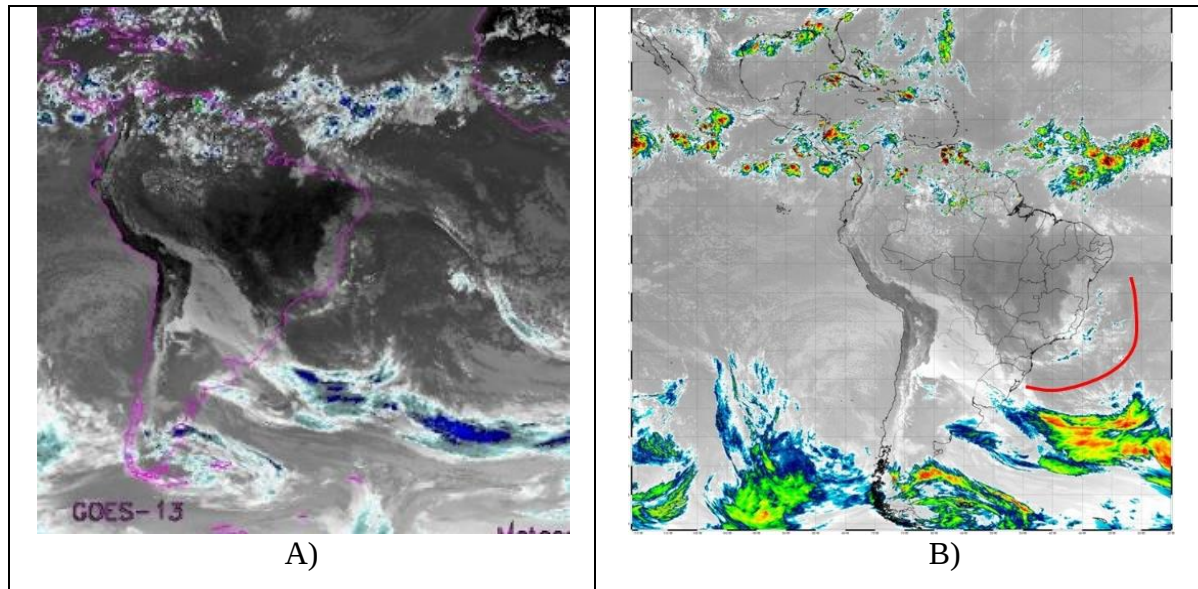
Fonte: Autor, 2023

4.6.3 Análise de imagem de satélite e mapa de precipitação.

Pelas imagens de satélite (figura 38 A e B), foi possível observar sobre a costa do NEB nebulosidade em baixos níveis, vinda de sudeste, circulação gerada pela ASAS. Em altos níveis foi possível identificar nuvens cirrus na área da CJNEB, adentrando o jato.

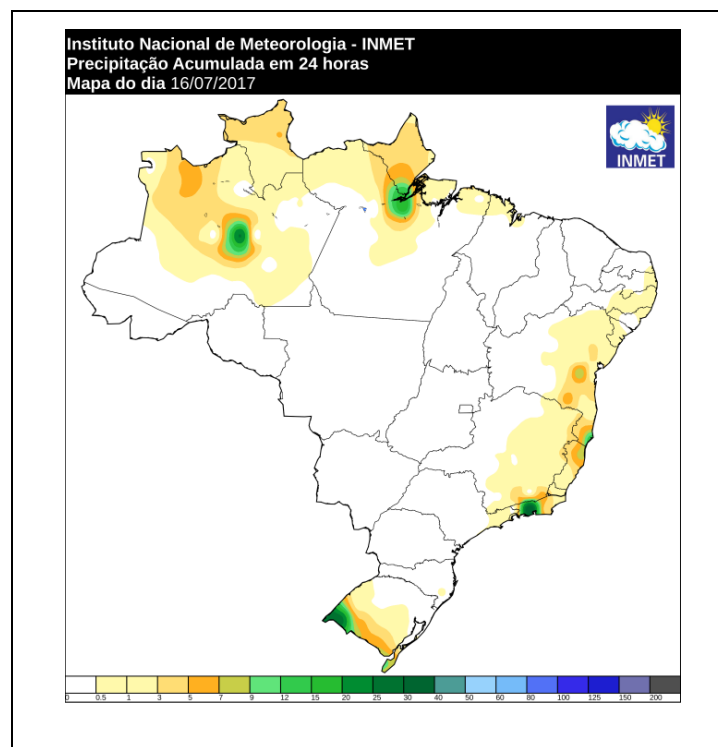
Ao analisar o mapa de precipitação acumulada em 24 horas (figura 39) foi observada precipitação fraca (1 - 9 mm) na área leste do NEB com aumento da precipitação no sul da Bahia.

Figura 38 - Imagem GridSat - B1 no canal IR (A) e imagem do satélite GOES 16, no canal 15, para as 18 UTC (linha em vermelho indica localização da CJNEB) (B). 16/07/2017.



Fonte: NOAA e CPTEC

Figura 39 - Mapa de precipitação acumulada em 24 horas para o dia 16/07/2017.



Fonte: INMET

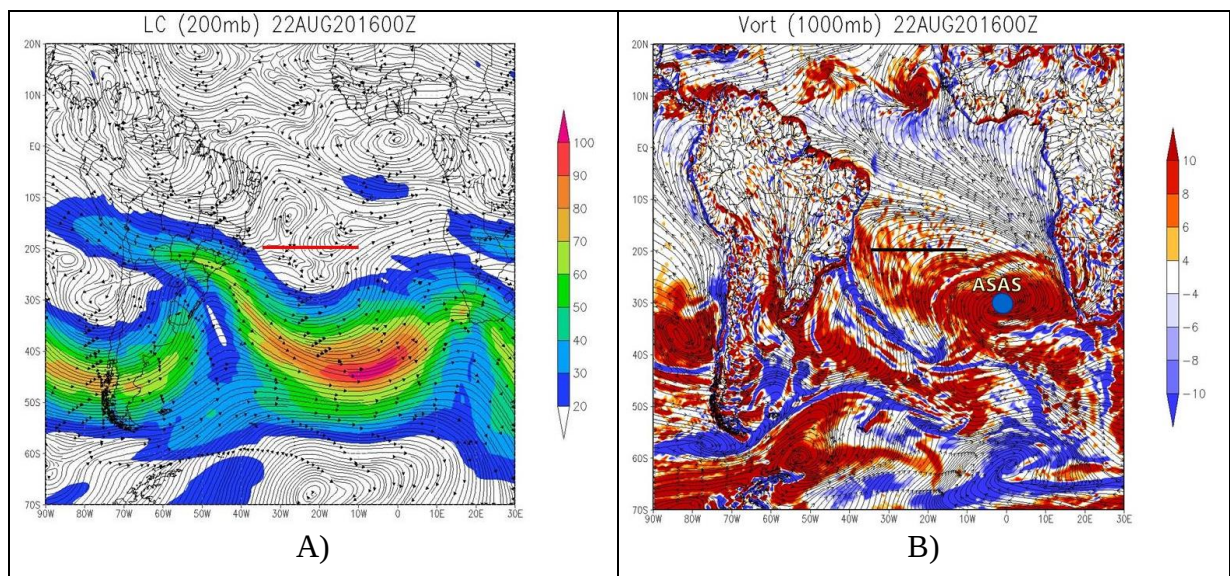
4.7 Análise do caso de ASAS sem CJNEB ocorrido no dia 22/08/2016.

No dia estudado foi identificada a influência da ASAS no NEB. No nível de 1000 hPa, o centro da circulação anticiclônica foi identificado sobre o oceano, em sua posição climatológica.

4.7.1 Análise sinótica

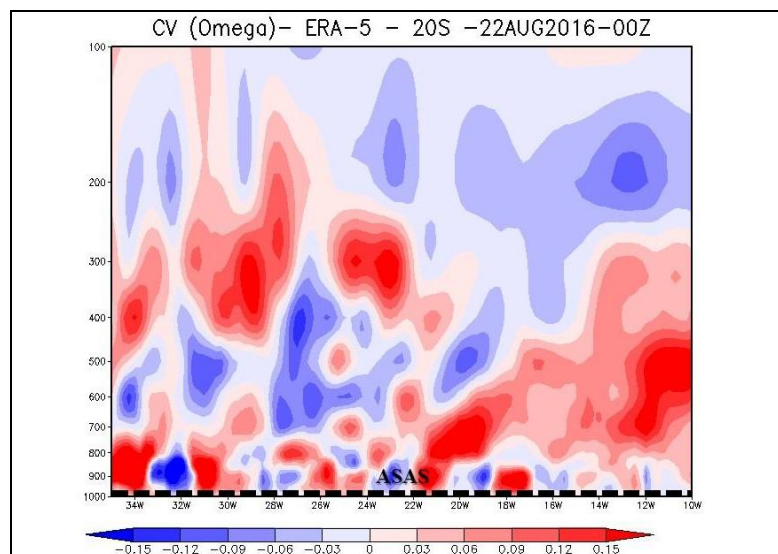
Através da análise do campo de linhas de corrente e magnitude do vento (figura 40-A) em 200hPa, foi observada a presença de um VCAN sem a atuação da CJNEB. Através do campo de linhas de corrente e vorticidade em 1000 hPa, (figura 40-B) foi possível identificar a atuação da crista da ASAS sobre o oceano Atlântico, próximo a costa do NEB. O centro da circulação anticiclônica (ASAS) foi identificado sobre o oceano, perto do sul da África, em sua posição climatológica (na latitude de 30°S e longitude 0°). Através da seção vertical de ômega (figura 41) foi possível identificar movimentos ascendentes e descendentes intercalados na região de atuação da ASAS. Não houve movimentos ascendente ou descendente profundos, diferente do que ocorreu no caso com CJNEB mostrado em detalhes.

Figura 40 - Linhas de corrente e magnitude do vento em 200 hPa (Linha vermelha indica o local do corte vertical) (A), vorticidade e linhas de corrente em 1000 hPa (Linha preta indica o local do corte vertical) (B), plotadas para 00 UTC. 22/08/2016.



Fonte: Autor, 2023

Figura 41 - Seção vertical de ômega em 20°S (Linha preta tracejada indica onde passa ASAS). 22/08/2016.

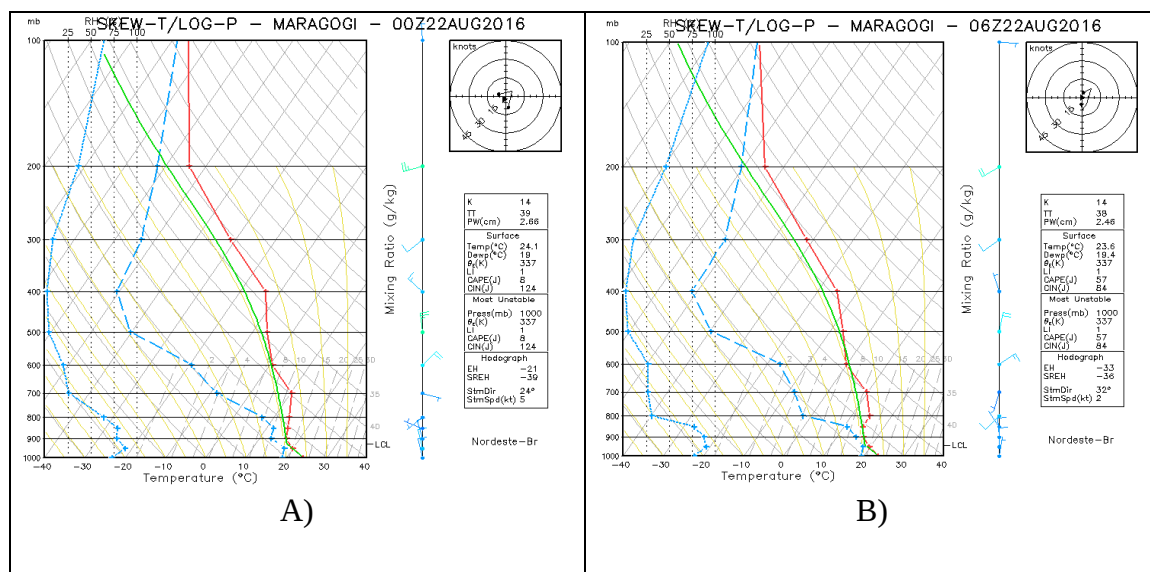


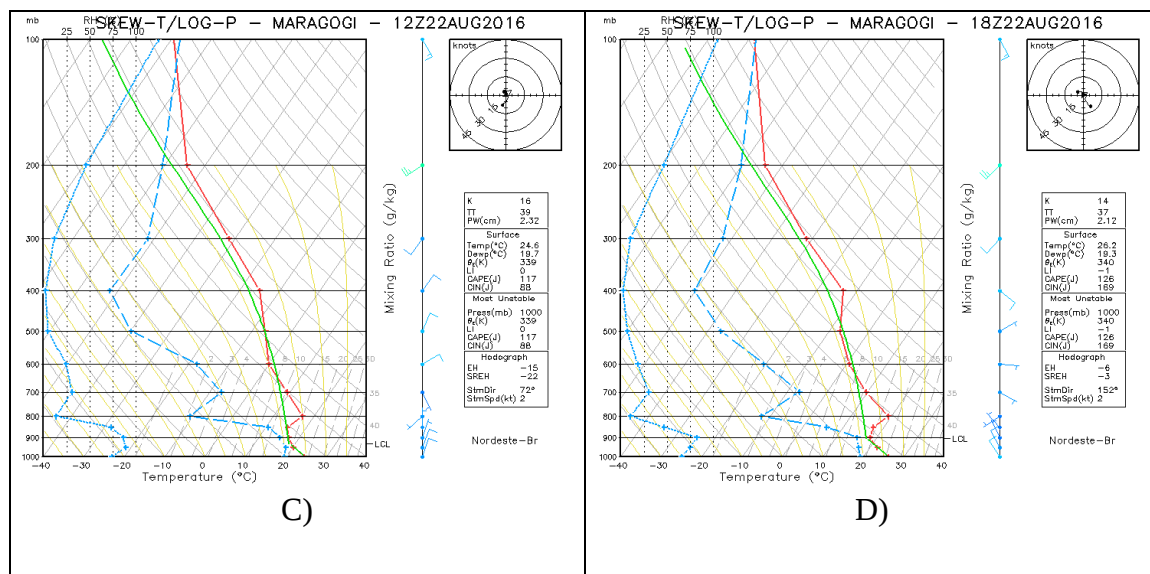
Fonte: Autor, 2023

4.7.2 Análise termodinâmica

Através dos perfis simulados (figura 42), foi observada alta umidade entre 1000 e 950hPa das 00 às 12 UTC, diminuindo para 900 hPa às 18 UTC. Entre os níveis 950 e 800hPa das 06 às 18 UTC, foi observada inversão de subsidência, indicando a ocorrência de movimentos descendentes. Todos os índices de instabilidade (Tabela 8) corroboraram com as características de tempo observadas, indicando atmosfera estável, sem chances de trovoadas ou precipitação.

Figura 42 - Diagrama termodinâmico simulado para as 00 (I) e 18 UTC (II) e mapa de precipitação acumulada em 24 horas. 22/08/2016.





Fonte: Autor, 2023

Tabela 8 - Índices de instabilidade dos perfis simulados para Maragogi nos horários das 00, 06, 12 e 18 UTC. 22/08/2016.

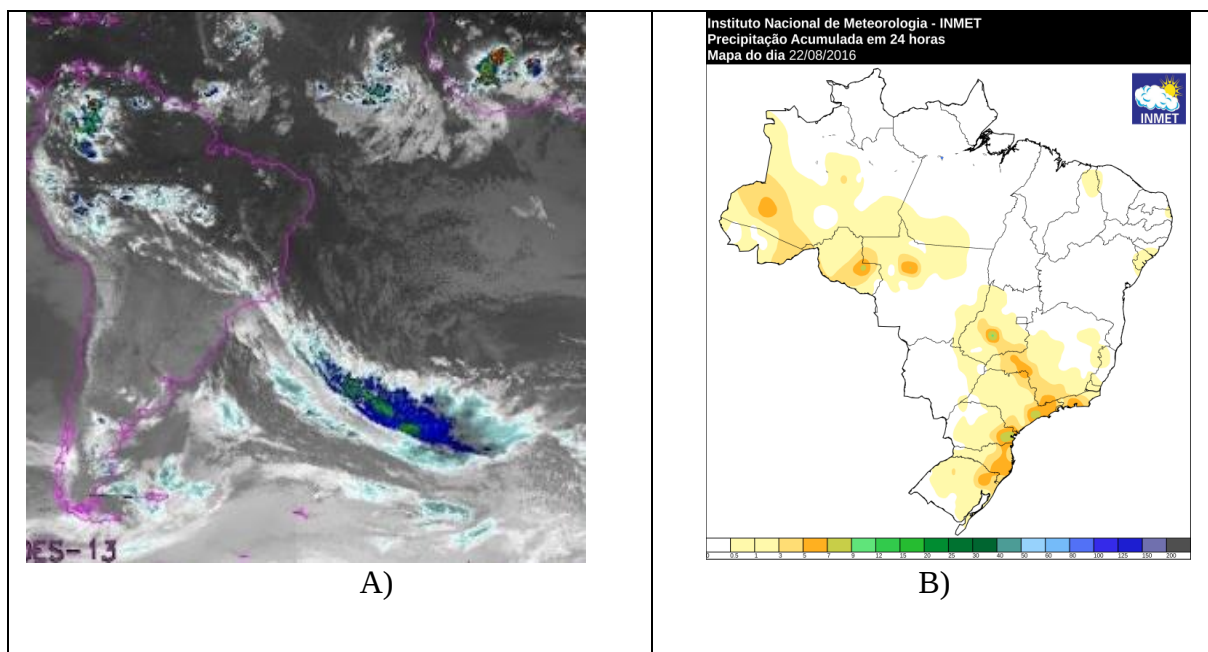
HORA (UTC)	CAPE	TT	LI	K
0	8	39	1	14
6	57	38	1	14
12	117	39	0	16
18	126	37	-1	14

Fonte: Autor, 2023

4.7.3 Análise de imagem de satélite e mapa de precipitação

Pelas imagens de satélite (figura 43-A), foi possível observar a presença de nebulosidade do tipo granulosa em médios e baixos níveis, na região de atuação da ASAS, tendo diminuído ao longo do dia. Ao analisar o mapa de precipitação acumulada em 24 horas (figura 43-B), não foi observada precipitação considerável no NEB.

Figura 43 - Imagem do satélite GridSat - B1 no canal IR, PARA AS 00 UTC (A) e mapa de precipitação acumulada em 24 horas. 22/08/2016.



Fonte: NOAA e INMET

5 CONCLUSÕES

Neste estudo, foi realizada uma análise da atuação da CJNEB e seu impacto quando associada a outros sistemas sinóticos, bem como sua relação com a ocorrência de fenômenos adversos. Durante os anos de 2016, 2017 e 2018, a presença da CJNEB foi identificada em 1087 dias, abrangendo 99% dos dias do período analisado. Os dados revelaram que a CJNEB representou um componente quase constante do clima local, estando presente em todos os dias das estações de outono e primavera, com poucas exceções no inverno e verão.

Ao longo desses três anos, foram observadas variações na velocidade da CJNEB, que atingiu um pico de 65 m/s. Em situações em que a CJNEB apresentou velocidades iguais ou superiores a 60 m/s, a direção predominante foi transversal, do hemisfério sul para o hemisfério norte. Além disso, na área de atuação da CJNEB foram identificadas ocorrências de fenômenos meteorológicos adversos, como nevoeiro, precipitação e trovoadas, todos detalhadamente documentados no estudo.

A presença de precipitação na região sob a influência da CJNEB foi documentada em 748 dias, estabelecendo uma relação clara entre a presença da CJNEB e a ocorrência de chuva, confirmando os resultados já obtidos por Pontes da Silva (2011). Adicionalmente, de acordo com os registros do código METAR, foi identificada a ocorrência de nevoeiro em 4 dos aeroportos analisados (SBJU, SBKG, SBMO e SBSL), totalizando 88 dias de registros de nevoeiro. Notavelmente, destes 88 dias, 21 eventos de nevoeiro ocorreram dentro da área de influência direta da corrente (sendo todos os 21 registrados no aeroporto de Campina Grande - SBKG).

Os sistemas sinóticos, como a AB, o VCAN e a ASAS, também foram investigados em conjunto com a CJNEB. Foi identificado que a CJNEB frequentemente atuou em conjunto com a AB e o VCAN (380 dias), sugerindo uma influência conjunta na dinâmica atmosférica da região. Por outro lado, a ASAS demonstrou uma atuação mais constante na área de estudo (em 991 dias), indicando um padrão climatológico estável em relação a esse sistema. As extremidades de Frentes Frias (FFs) atuaram em 93 dias. Notavelmente, uma destas FFs foi detalhadamente examinada, demonstrando a influência significativa da CJNEB na dinâmica atmosférica durante esses eventos.

Foram destacados cinco casos específicos para ilustrar a influência da CJNEB em diferentes cenários sinóticos. No primeiro caso (10/01/2016), observou-se a interação da CJNEB com a Alta da Bolívia (AB), o VCAN e a Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS). A CJNEB 1 induziu movimentos descendentes na periferia oeste do VCAN e movimentos

ascendentes em seu núcleo, enquanto a CJNEB 2 teve sua circulação transversal alterada pelo VCAN. A interação da CJNEB 1 com o VCAN também influenciou a movimentação descendente no cavado do setor norte do VCAN. Esses eventos resultaram em precipitação na região do litoral dos estados de Alagoas, Pernambuco e Paraíba.

No segundo caso (23/01/2018), foi destacada a relação da CJNEB com o VCAN e a AB, com o registro de trovoadas e chuva forte em Maceió, além da ocorrência de nevoeiro. Observou-se que o padrão do VCAN foi alterado, com movimentos ascendentes em seu núcleo. No terceiro caso (14/11/2017), ressaltou-se como a CJNEB intensificou os movimentos ascendentes da região onde atuava a Extremidade da Frente (EF). O quarto caso (16/07/2017) apresentou uma complexa interação da CJNEB com um cavado em altos níveis, a ASAS e a AB. Ambas as CJNEBs tiveram suas circulações afetadas, resultando em movimentos ascendentes em toda a região da CJNEB 1 e descendentes em toda a região da CJNEB 2.

Em resumo, as análises realizadas indicam que a CJNEB desempenha um papel significativo na atmosfera regional, particularmente quando associada a outros sistemas sinóticos. Nesse estudo foram identificadas correlações diretas com a ocorrência de fenômenos adversos. A presença da CJNEB e suas interações com outros sistemas ressaltam a importância de seu estudo para uma melhor compreensão da climatologia da região e da dinâmica desse sistema. Este trabalho contribui para o conhecimento sobre a influência da CJNEB na dinâmica atmosférica e abre caminho para pesquisas futuras que possam aprofundar essa compreensão e suas implicações.

Sugestão para trabalhos futuros:

Estudar quais condições meteorológicas e fatores determinam quando a CJNEB pode alterar outros sistemas ou ser alterada por eles e conseqüentemente, contribuir para a ocorrência de fenômenos adversos ou inibi-los.

REFERÊNCIAS

1. ANDRADE, K. M. Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul. 2005. 187p. Dissertação (Mestrado em meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2005.
2. ARAGÃO, J.O. Um estudo da estrutura das perturbações sinóticas do Nordeste do Brasil. Dissertação de Mestrado em Meteorologia. São José dos Campos, INPE, 1975.
3. BASTOS, CAMILLA C.; FERREIRA, NELSON J. Análise climatológica da alta subtropical do Atlântico Sul. CEP, v. 12220, n. 110, p. 973-990, 2000.
4. BEEBE, R.G.; BATES, F.C. A mechanism for assisting in the realisation of convective instability. Monthly. Weather Review, v.83, n. 11, p.1-10, Jul. 1955.
5. BLUESTEIN, H.B. Synoptic-dynamic meteorology in midlatitudes. Oxford: University Press V2 1993.
6. BRITO, B.M.; LEVIT, V.; FEDOROVA, N.; MOLION, L.C.B.; TENÓRIO, R.S.; RODRIGUES, R.N.; SILVA, B.F.P. “Análise do comportamento das trovoadas no estado de Alagoas, previsão à curto prazo.” Revista Brasileira de Meteorologia, vol. 26, n.2, p. 243-256. (2011).
7. CAMARGO DO AMARANTE, O.A.; BROWER, M.; ZACK, J.; Sá, A.L. Atlas of Brazilian Wind Potential CRESEB, 44 pp., 2001. Disponível em: http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf Acesso em: 05 set. 2023. » http://www.cresesb.cepel.br/publicacoes/download/atlas_eolico/Atlas%20do%20Potencial%20Eolico%20Brasileiro.pdf
8. CAMPOS, A. M. V. Corrente de jato próximo do NEB e fenômenos meteorológicos associados. Monografia (Graduação em Meteorologia) - Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió - AL março, 2006
9. CAMPOS, A. M. V., FEDOROVA, N. Corrente de jato do nordeste brasileiro. In XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis. XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006.
10. CAMPOS, Antonio Marcos. Modelos conceituais de formação da corrente de jato no nordeste brasileiro. Orientador: Prof. Dr^a Natalia Fedorova. 2010. 79 p. Dissertação de mestrado (Mestrado em meteorologia) - Universidade Federal de Alagoas, [S. l.], 2010.
11. CARLSON, T.N. Mid-latitude weather system. London: Harper Collins academic 1991
12. CARPENEDO, Camila Bertoletti; AMBRIZZI, Tércio. Anticiclone subtropical do Atlântico Sul associado ao modo anular sul e impactos climáticos no Brasil. Revista Brasileira de Meteorologia, v. 35, p. 605-613, 2020.
13. CATTO, J. L. et al. Relating global precipitation to atmospheric fronts. Geophysical Research Letters, doi: 10.1029/2012GL051736, 2012.

14. CAVALCANTI, I. F.; KOUSKY, Vernon E. Configuração de Anomalias Associadas a Propagação de Sistemas Sinóticos sobre a América do Sul. In: Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia, Campos do Jordao. 1996. p. 1331-1332.
15. CIVITA, R; RICO, G; SIEWERS, K. Tempo e Clima – Ciência & Natureza. Editora: Abril Livros Ltda. Rio de Janeiro – RJ, p. 150, 1995.
16. CORDEIRO, E.S., SILVA, N.M., FEDOROVA, N.; LEVIT V. “Análise termodinâmica e frequência de trovoadas entre os anos de 2008 a 2012 em Maceió, Alagoas.” Revista Brasileira de Geografia Física 6, n. 5: 1208-6, (2013).
17. CORDEIRO, E.S.; FEDOROVA, N.; LEVIT, V. “Análise sinótica e termodinâmica dos eventos com trovoadas para o estado de Alagoas no período de 15 Anos (1998-2012).” Revista Brasileira de Meteorologia 33, n. 4: 685-694, (2018). DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/0102-77863340010>.
18. COSTA, M. S. Vortice Ciclônico em Altos níveis associado à corrente de jato no Nordeste Brasileiro nos anos de 1998 - 2007 - 2010. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió - AL Novembro, 2010.
19. DAVIES, H. C.; ROSSA, A. M. P. V.; Frontogenesis and Upper tropospheric fronts. Mon. Wea. Rev., v. 126, n. 6, p. 1528-1539, 1998.
20. DEAN, G.A. The three dimensional wind structure over South America and associated rainfall over Brazil. São José dos Campos, INPE, 1971.
21. FEDOROVA N. & Levit V. “Chapter II.4 Thunderstorms Forecasting” Natalia Fedorova, Vladimir Levit. Edited by Fedorova & Levit. CAMBRIDGE SCHOLARS PUBLISHING, United Kingdom, 2023, 367-379. ISBN (13): 978-1-5275-3115-4
22. FEDOROVA, N. & LEVIT, V. “Chapter II.5 Short Term Forecasting of Weak Rain, Low Visibility, Fog and Mist in the BNE” Natalia Fedorova, Vladimir Levit, Joao Pedro Goncalves Nobre and Lucas Carvalho Vieira Cavalcante. Edited by Fedorova & Levit. CAMBRIDGE SCHOLARS PUBLISHING, United Kingdom, 2023, 379-400. ISBN (13): 978-1-5275-3115-4.
23. FEDOROVA, N. et al. Brazilian Northeast Jet Stream: association with synoptic-scale systems. METEOROLOGICAL APPLICATIONS. United Kingdom, UK, v.25, p.261–268, 2017. DOI: 10.1002/met.1693 (B)
24. FEDOROVA, N. et al. Brazilian Northeast Jet Stream: frequency, wind speed and direction. METEOROLOGICAL APPLICATIONS. United Kingdom, UK, v.25, p.254–260, 2017. DOI: 10.1002/met.1688 (A)
25. FEDOROVA, N. Meteorologia Sinótica. Volume 1. 1 Ed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária – UFPel, 1999. 260p.
26. FEDOROVA, N. Meteorologia Sinótica. Volume 2. 1 Ed. Pelotas: Editora Gráfica Universitária – UFPel, 2001. 242p.

27. FEDOROVA, N. Sinótica I: Fenômenos atmosféricos, dados sinóticos e massas de ar. Material didático: sinopses, figuras, equações. Maceió: Editora EDUFAL, 2008. V. 1. 174 P.
28. FEDOROVA, N. Sinótica II: Conceitos básicos de cinemática e de dinâmica da atmosfera e análise dos campos meteorológicos. Material didático: sinopses, figuras, equações. Maceió: Editora EDUFAL, 2008. V. 1. 180 P.
29. FEDOROVA, N. Sinótica III: Frentes, correntes de jato, ciclones e anticiclones. Material didático: sinopses, figuras, equações. Maceió: Editora EDUFAL, 2008. V. 1. 192 P.
30. FEDOROVA, N. Sinótica IV: Sistemas e processos sinóticos atuantes na América do Sul. Material didático: sinopses, figuras, equações. Maceió: Editora EDUFAL, 2008. V. 1. 192 P.
31. FEDOROVA, N., LEVIT V. Fog in the tropical region. Fog formation in the tropical region of the northeast of Brazil. LAP LAMBERT Academic Publishing: Saarbrücken, Germany. 82 p, 2016. ISBN: 978-3-659-87098-9
32. FEDOROVA, N., SILVA, B.F.P. & LEVIT, V. 2017, Análise e previsão prática das nuvens pelo diagrama termodinâmico SKEW-T/ LOG-P, Natalia Fedorova, Maceió.
33. FEDOROVA, N.; LEVIT, V. & CRUZ, C.D. 2016. On Frontal Zone Analysis in the Tropical Region of the Northeast Brazil. Pure and Applied Geophysics, 173: 1403–1421. Imirante, <http://imirante.com/sao-luis/noticias/2014/05/12/chuvas-fortes-do-fim-de-semana-deixaram-58familias-desabrigadas-em-sao-luis.shtml>, acessado em 15/09/2023.
34. FEDOROVA, N.; LEVIT, V. (Ed.). Adverse Meteorological Phenomena in Northeast Brazil. United Kingdom: Cambridge Scholars Publishing, 2023. ISBN (10): 1-5275-3115-5 e ISBN (13): 978-1-5275-3115-4.
35. FEDOROVA, N.; LEVIT, V.; DA CRUZ, C. D. On frontal zone analysis in the tropical region of the Northeast Brazil. Pure and Applied Geophysics, v. 173, p. 1403-1421, 2016.
36. FORTUNE, M. A.; KOUSKY, V. E. Two severe freezes in Brazil: Precursors and synoptic evolution. Monthly weather review, v. 111, n. 1, p. 181-196, 1983.
37. FORTUNE, M. Introdução a interpretação de imagens de satélite. Relatório nº INPE 1681 – RPE/133, São Jose dos Campos, 1980.
38. FRANK, N. L. The weather distribution with upper tropospheric cold lows in the Tropics. 1966. U. S. Weather Bureau, Southern Region. Technical memorandum, n. 28, 1966.
39. GAN, M. A. Um estudo observacional sobre as baixas frias de alta troposfera, nas latitudes subtropicais do Atlântico Sul e Leste do Brasil. 1982. 80 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1982. (INPE – 2685-TDL/126).
40. GEMIACKI, L. Atuação de Sistemas Frontais na Estação Seca do Nordeste do Brasil. 121p. 2005. MET-UFAL-MS-035). Dissertação (Mestrado em Meteorologia)- Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2005.

41. GOMES H. B. 2003. Estudo Da Corrente de Jato Próximo Ao Estado De Alagoas. Dissertação De Mestrado. Universidade Federal De Alagoas – Ufal, P. 113.
42. HASTENRATH, Stefan; KUTZBACH, John. Late Pleistocene climate and water budget of the South American Altiplano. *Quaternary Research*, v. 24, n. 3, p. 249-256, 1985.
43. HOLTON, J.R. Introdução à meteorologia dinâmica. Edição traduzida. p. 391.1979.
44. KNAPP, K. R., S. Ansari, C. L. Bain, M. A. Bourassa, M. J. Dickinson, C. Funk, C. N. Helms, C. C. Hennon, C. D. Holmes, G. J. Huffman, J. P. Kossin, H.-T. Lee, A. Loew, and G. Magnusdottir, 2011: Globally gridded satellite (GridSat) observations for climate studies. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 92, 893-907.
45. KOUSKY, V. E. Frontal influences on Northeast Brazil. *Monthly Weather Review*.v. 107, p.1140-1153, 1979.
46. KOUSKY, Vernon E.; ALONSO GAN, Manoel. Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic. *Tellus*, v. 33, n. 6, p. 538-551, 1981.
47. LEITE, Matheus Henrique de Freitas. Influência das correntes de jato globais na formação de jato no nordeste brasileiro-. Orientador: Natalia Fedorova. 2022. 61 p. Dissertação de mestrado (Mestrado em meteorologia) - Universidade Federal de Alagoas, [S. l.], 2022.
48. LEVIT, Vladimir; Cordeiro, Edwans Silva; Cavalcante, Lucas Carvalho Vieira. “Capítulo 2. Método de previsão de trovoadas no Nordeste Brasileiro.” In: *Meteorologia em tópicos*, v 3, 79-131, 2016.
49. LYRA, Matheus José Arruda; CAVALCANTE, Lucas Carvalho Vieira; LEVIT, Vladimir; FEDOROVA, Natalia. Ligação Entre Extremidade Frontal e Zona de Convergência Intertropical Sobre a Região Nordeste do Brasil. *Anuário do Instituto de Geociências - UFRJ*, [S. l.], ano 1/2019, v. 42, p. 413-424, 9 fev. 2019. DOI: http://dx.doi.org/10.11137/2019_1_413_424. Disponível em: www.anuario.igeo.ufrj.br. Acesso em: 7 set. 2023.
50. MÄCHEL, H.; KAPALA, A.; FLOHN, H. Behaviour of the centres of action above the Atlantic since 1881. Part I: Characteristics of seasonal and interannual variability. *International Journal of Climatology: A Journal of the Royal Meteorological Society*, v. 18, n. 1, p. 1-22, 1998.
51. Maddox, R.A. 1980. Mesoscale Convective Complexes. *Bulletin of the American Meteorological Society*, 61(11): 1374-1387.
52. MARENGO, J.; CORNEJO, A.; SATYAMURTY, P.; NOBRE, C.; SEA, W. Cold surges in tropical and extratropical South America: The strong event in June 1994. *Monthly Weather Review*, v. 125, n. 11, p. 2759-2786, 1997.
53. MATTOCKS, C.; BLECK, R. Jet streak dynamics and geostrophic adjustment processes during the initial stages of lee cyclogenesis. *Monthly Weather Review*, 2033-2056, 1986.

54. MATTOS, L. F. Frontogênese na América do sul e precursores de friagem no estado de São Paulo. Tese de doutorado. INPE São José dos Campos. 2003.
55. MEDINA, M. Meteorologia Básica Sinoptica. Madrid: Paraninfo, 1976.
56. MUANZA, Gomes Antonio. Padrões de circulação atmosférico associados a ligação da extremidade frontal com a ZCIT. Orientador: Natalia Fedorova. 2018. 72 p. Dissertação de mestrado (Mestrado em meteorologia) - Universidade Federal de Alagoas, [S. l.], 2018.
57. NOBRE, C. A.; MOLION, L. C. B. The climatology of droughts and drought prediction. In: PARRY, M L.; CARTER, TR; KONIJN, N. T. (Eds.). The impact of climate variations on agriculture. v. 2: Assessments in Semi-Arid Regions. Dordrecht, The Netherlands Kluwer Academic Publishers, 1988. P. 305-323.
58. OLIVEIRA, A. S. Interações entre sistemas frontais na América do Sul e a convecção na Amazônia. 1986. 134 p. Dissertação de mestrado (Mestrado em meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, [S. l.], 1986.
59. ORLANSKI, I.; ROSS, B.; POLINSKY, L.; SHAGNAW, R. Advances in the theory of atmospheric fronts. In: Atmospheric and Oceanic Modeling (ed.). Advances in Geophysics. Orlando: Academic Press, 1985, v. 28b. p. 223-252.
60. PAIXÃO, E. B.; GANDU, A. W. Caracterização do vórtice ciclônico de ar superior sobre o Nordeste do Brasil (Parte I). CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 11, Rio de Janeiro, 2000. Anais eletrônicos. p. 3422-3428.
61. PALMÉN, E. Origin and structure of high-level cyclones south of the maximum westerlies. Tellus, v.1, p. 22-31, 1949.
62. PALMÉN, E.; NEWTON, C. W. Atmospheric circulation systems. Their Structure and physical interpretation. New York, London Toronto, Sydney, San Francisco: Academic Press, p. 603, 1969.
63. PALMER, C. E. On High-level cyclones originating in the tropics. American Geophys Union, v. 32, n. 5, p. 683-695m Oct. 1951.
64. PETTERSEN, S. Weather analysis and forecasting. New York> Mc Graw-Hill, 1956. V. 1, 498p.
65. PEZZI, Luciano P.; ROSA, Marcelo B.; BATISTA, Nadja NM. A Corrente de Jato sobre a América do Sul. Boletim Climanálise. CPTEC-Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Cachoeira Paulista-SP, 1996.
66. RAMÍREZ, M. C. V.; KAYANO, M. T.; FERREIRA, N. J. Statistical analysis of upper tropospheric vortices in the vicinity of Northeast Brazil during the 1980-1989 period. Atmosfera, v. 12, p. 75-88. 1999.
67. REBOITA, M.S.; AMBRIZZI, T.; SILVA, B.A.; PINHEIRO, R.F.; ROCHA, R.P. The South Atlantic subtropical anticyclone: Present and future climate. Frontiers in Earth Sciences, v. 7, n. 8, p. 1-15, 2019.

68. REBOITA, M.S.; GAN, M.A.; ROCHA, R.P.; AMBRIZZI, T. Regimes of precipitation in South America: A bibliographical review. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 25, n. 2, p. 185-204, 2010.
69. REITER, E. R; WHITNEY, L. F. INTERACTION BETWEEN SUBTROPICAL AND POLAR-FRONT JET STREAM. *Monthly Weather Review*, [S. l.], v. 97, n. 6, p. 432 - 438, 1 jun. 1969. DOI [https://doi.org/10.1175/1520-0493\(1969\)097<0432:IBSAPJ>2.3.CO;2](https://doi.org/10.1175/1520-0493(1969)097<0432:IBSAPJ>2.3.CO;2). Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/mwre/97/6/1520-0493_1969_097_0432_ibsapj_2_3_co_2.xml. Acesso em: 10 out. 2023.
70. REPINALDO, H F. B. Vórtice Ciclônico em Altos Níveis e Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro em anos de El Niño e La Niña; Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió - AL, abril, 2010.
71. REPINALDO, Henrique Fuchs Bueno et al. Upper Tropospheric Cyclonic Vortex and Brazilian northeast jet stream over Alagoas state: Circulation patterns and rainfall. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 35, p. 745-754, 2020.
72. RIEHL, H., 1969. Jet Streams of the Atmosphere. *Medical Opinion & Review* (September), 33-50. / RIEHL, Herbert. Jet streams of the atmosphere. US Government Printing Office, 1961.
73. RIEHL, H., BADNER, J., HOYDE, J.E. Forecasting in the middle latitudes. *Meteorological Monographs*. American Meteorological Society, v.1, 1952 n. 5195280.
74. RODRIGUES, M. L. G.; FRANCO, D.; SUGAHARA, S. Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. *Revista Brasileira de Geofísica*, v. 22, p. 135-151, 2004.
75. SANTOS, A. L. M.; FEDOROVA, N.; LEVIT, V. Influência das ligações das correntes de jato entre os hemisférios na frequência dos fenômenos adversos no Nordeste Brasileiro. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 14, n. 5, p. 2727-2738, 2021.
76. SATYAMURTY, Prakki; DE MATTOS, Luiz Fernando. Climatological lower tropospheric frontogenesis in the midlatitudes due to horizontal deformation and divergence. *Monthly Weather Review*, v. 117, n. 6, p. 1355-1364, 1989.
77. SATYAMURTY, Prakki; NOBRE, Carlos A.; SILVA DIAS, Pedro L. South America. *Meteorology of the southern hemisphere*, p. 119-139, 1998.
78. SCHEUER P. R.: Sistemas frontais associados a episódios de Zonas de Convergência do Atlântico Sul. Trabalho de Conclusão de Curso submetido ao curso de graduação em meteorologia da Universidade Federal de Santa Catarina, 2017, p. 23-24.
79. SILVA COSTA, M.; LEVIT, V.; FEDOROVA, N. Padrões de circulação atmosférica no nordeste brasileiro dos eventos de vórtices ciclônico de altos níveis com correntes de jato. *Revista Brasileira de Geografia Física*, v. 6, n. 4, p. 794-804, 2013.
80. SILVA DIAS, P. L, SCHUBERT, W. H., DEMARIA, M. Large-scale response of the tropical atmosphere to transient convection. *J.Atmos.Sci.*, 40,2689-2707, 1983.

81. SILVA, B. F. P.; FEDOROVA, N.; LEVIT, V.; PERESETSKY, A.; BRITO, B. M. Sistemas sinóticos associados às precipitações intensas no Estado de Alagoas. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 26, p. 323-338, 2011.
82. SILVA, G. C. O.; FEDOROVA, N.; LEVIT, V. Estudos de Casos de Trovoadas com Descargas Elétricas em Alagoas. *Anuário do Instituto de Geociências*, v. 45, p. 1-12, 2022.
83. SIMMONDS, I. et al. Identification and Climatology of Southern Hemisphere Mobile Fronts in a Modern Reanalysis. *Journal of Climate*, v 25, n.6, p.1953-1956, 2012.
84. SUN, X.; COOK, K.H.; VIZY, E.K. The South Atlantic subtropical high: Climatology and interannual variability. *Journal of Climate*, v. 30, n. 9, p. 3279-3296, 2017.
85. TUBELIS, A., NASCIMENTO, F. J.L. do. *Meteorologia descritiva, fundamentos e aplicações brasileiras*. São Paulo: Nobel, 1980. 374p.
86. UCCELLINI, L. W.; JOHNSON, D.R. The coupling of upper and lower level tropospheric jet streaks and implications of the development of severe convective storms. *Monthly Weather Review*, p. 682-703, 1979.
87. VASQUEZ, T. 1994. *Weather Forecasting Handbook*. Weather Graphics Technologies. 98 p.
88. VAZ, I. N. Estudo sobre a origem da Corrente de Jato no Nordeste Brasileiro e suas ligações inter-hemisféricas. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto de Ciências Atmosféricas, Maceió - AL Janeiro, 2014.
89. VIANELLO, R. L.; ALVES, A. R. *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa: UFV, 1991. P. 449.
90. VIANELLO, R.L. 2000. *Meteorologia básica e aplicações*. Viçosa, UFV. 449p.
91. VIRJI, H. 1981. A Preliminary Study Of Summertime Tropospheric Circulation Patterns Over South America Estimated From Cloud Winds. *Mon. Wea. Rev.* 109, 599-610.

APÊNDICE D – Direção predominante diária da CJNEB em 2016

Direção da CJNEB																																
2016																																
Mês / Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Janeiro	T	T	T	T	M	M	M	M	M	M	T	T	M	T	T	M	M	T	M	M	M	M	Z	Z	T	M	M	Z	T	M	T	
Fevereiro	T	T	T	T	M	T	T	T	Z	Z	Z	Z	T	T	T	T	T	T	Z	Z	T	T	T	T	T	T	Z	T	-	-		
Março	T	T	Z	T	Z	M	M	T	M	M	M	M	M	M	M	T	T	Z	T	T	T	T	T	T	M	M	T	T	T	Z		
abril	T	T	T	Z	T	T	T	Z	T	T	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	T	T	T	T	T	T	Z	T	T	M	T	Z	Z	-	
maio	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	T	T	T	T	T	T	T	Z	Z	T	T	T	Z	
junho	Z	Z	Z	Z	T	T	Z	Z	Z	Z	Z	Z	T	T	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	T	T	T	Z	Z	T	T	-	
julho	T	T	T	M	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	T	T	Z	Z	Z	Z	Z	T	M	T	T	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	
agosto	T	T	T	T	T	T	T	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	T	Z	Z	Z	Z	T	Z	Z	T	T	Z	Z	T	
setembro	T	T	T	Z	Z	Z	Z	Z	M	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	T	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	-	
outubro	Z	Z	T	T	Z	Z	Z	Z	Z	T	Z	Z	Z	T	T	T	T	T	T	Z	Z	Z	T	T	T	Z	T	M	T	T	Z	
novembro	T	Z	T	T	T	Z	T	T	Z	T	T	T	M	M	M	Z	M	M	M	M	M	T	T	T	T	T	M	T	T	T	-	
dezembro	T	T	T	M	Z	Z	T	M	M	M	M	T	T	T	M	M	T	T	Z	T	T	T	T	Z	Z	T	T	T	M	T	T	

Fonte: Autor, 2023

APÊNDICE E – Direção predominante diária da CJNEB em 2017

Direção da CJNEB																																
2017																																
Mês / Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Janeiro	T	Z	Z	T	T	T	T	Z	Z	T	T	T	T	T	M	M	T	T	M	M	*	*	*	Z	*	T	T	Z	T	T	T	
Fevereiro	T	T	T	Z	T	T	T	T	T	T	T	M	T	T	T	T	T	T	T	T	T	M	M	T	T	T	*	*	-	-	-	
Março	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	Z	T	Z	T	T	T	T	T	M	T	T	T	T	
abril	T	T	M	M	M	T	T	T	T	T	Z	T	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	T	T	T	T	Z	M	Z	Z	Z	Z	-	
maio	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	T	T	Z	Z	Z	Z	Z	T	T	Z	Z	Z	T	M	T	T	T	T	T	M	M	T	Z	
junho	Z	Z	Z	Z	Z	Z	M	M	M	Z	Z	Z	Z	Z	T	T	T	T	T	T	Z	Z	Z	Z	T	T	T	T	T	T	-	
julho	Z	Z	M	T	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	T	T	T	T	M	M	M	Z	Z	Z	Z	Z	Z	T	T	Z	Z	T	T	T	
agosto	T	T	Z	Z	Z	Z	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	T	Z	Z	Z	Z	
setembro	Z	T	T	T	T	T	Z	T	M	M	T	T	T	T	Z	Z	Z	M	Z	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	Z	-	
outubro	Z	Z	T	T	T	Z	Z	Z	Z	Z	Z	T	Z	Z	Z	T	T	T	T	Z	M	M	T	T	T	T	T	Z	Z	M	M	
novembro	T	T	T	M	M	M	Z	Z	Z	T	M	T	Z	Z	T	T	T	M	M	T	T	T	T	T	T	T	T	T	M	M	-	
dezembro	T	T	M	T	T	M	T	T	M	M	T	M	M	M	M	T	T	T	M	M	M	M	M	T	T	T	T	T	M	T	T	

Fonte: Autor, 2023

APÊNDICE F – Direção predominante diária da CJNEB em 2018

Direção da CJNEB																																
2018																																
Mês / Dia	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
Janeiro	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	M	*	*	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	M	T	T	T	
Fevereiro	T	T	M	T	T	T	T	M	T	T	T	T	T	M	M	T	T	T	Z	T	T	T	T	T	Z	Z	M	M	-	-	-	
Março	T	Z	Z	Z	Z	Z	M	Z	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	T	Z	T	T	T	M	T	T	T	T	
abril	M	M	M	T	T	T	T	M	T	T	T	T	T	T	Z	Z	Z	Z	Z	T	Z	Z	Z	Z	Z	T	T	T	T	T	-	
maio	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	T	T	T	T	T	Z	T	T	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	
junho	Z	Z	Z	M	M	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	T	Z	Z	Z	Z	Z	T	T	T	T	T	Z	*	Z	Z	Z	Z	-	
julho	T	T	T	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	T	T	Z	Z	T	T	T	T	Z	Z	Z	T	Z	Z	Z	Z	Z	Z	
agosto	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	T	T	Z	Z	Z	Z	T	T	T	T	Z	Z	Z	Z	Z	T	T	
setembro	T	T	T	T	T	T	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	T	T	T	Z	Z	Z	Z	Z	Z	T	T	Z	Z	Z	Z	-	
outubro	Z	T	T	T	Z	Z	Z	Z	Z	M	M	M	M	M	M	T	T	T	Z	Z	Z	Z	Z	T	Z	Z	T	M	Z	Z	T	
novembro	T	T	T	M	M	T	M	T	T	Z	T	T	T	T	T	T	T	M	M	M	M	T	M	M	T	T	T	T	M	M	-	
dezembro	M	M	M	T	T	M	T	T	T	T	T	Z	Z	Z	T	T	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	Z	T	T	Z	T	T	T	T	

Fonte: Autor, 2023

APÊNDICE G – Maior velocidade da CJNEB registrada no dia – 2016

VEL MÁX DA CJNEB EM 2016 (m/s)												
DATA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	25	35	30	33	30	60	40	40	45	40	36	24
2	35	24	30	35	30	55	40	40	40	50	38	27
3	36	27	30	33	45	45	45	33	40	50	33	35
4	30	27	25	35	45	45	40	35	40	55	45	40
5	36	20	35	35	40	35	50	60	40	45	45	30
6	40	22	24	45	45	30	40	55	40	55	40	24
7	35	24	24	30	45	35	35	45	50	50	45	24
8	33	22	24	24	40	20	35	40	40	45	42	30
9	35	24	27	22	40	50	45	35	25	40	42	35
10	40	35	30	22	40	35	50	35	25	40	40	45
11	45	35	30	22	35	35	35	40	45	45	39	40
12	40	30	27	22	50	30	40	40	45	50	33	33
13	33	35	24	22	45	30	33	50	50	45	40	35
14	45	45	27	22	45	30	35	50	45	30	35	35
15	45	40	22	24	50	35	45	55	27	33	40	33
16	40	35	24	24	45	55	45	45	30	35	36	35
17	45	30	24	24	40	27	40	36	33	33	27	27
18	45	20	30	20	40	30	30	22	30	30	27	36
19	40	24	30	24	35	40	33	24	30	40	40	33
20	50	30	28	24	45	40	40	40	30	30	40	30
21	50	33	24	22	40	50	36	35	45	22	24	30
22	40	27	30	24	40	55	30	45	45	20	30	36
23	40	33	28	33	36	55	45	35	40	24	24	28
24	40	33	30	30	36	55	45	45	35	27	22	27
25	40	35	27	27	39	50	40	45	40	22	24	35
26	33	40	27	30	50	50	40	50	45	24	27	27
27	35	24	30	30	50	40	40	45	45	35	27	35
28	35	30	30	35	50	40	40	40	50	35	35	40
29	35	27	30	36	50	42	40	35	50	30	33	35
30	33	-	33	35	50	30	40	30	45	30	27	35
31	30	-	30	-	55	-	40	40	-	35	-	27

Fonte: Autor, 2023

APÊNDICE H – Maior velocidade da CJNEB registrada no dia – 2017

VEL MÁX DA CJNEB EM 2017 (m/s)												
DATA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	24	27	20	45	35	35	20	40	40	45	27	40
2	22	24	27	45	40	40	27	40	45	35	24	33
3	24	20	24	40	45	40	40	40	50	35	25	33
4	22	22	24	33	45	40	40	40	45	40	30	33
5	24	27	22	27	40	40	40	40	35	35	45	40
6	24	27	27	24	40	35	40	40	33	33	40	40
7	27	27	30	30	40	40	45	35	33	33	30	40
8	24	22	27	27	40	40	40	35	30	33	35	40
9	27	24	30	30	35	40	50	40	40	30	33	36
10	27	27	30	35	35	40	45	50	45	24	30	28
11	27	35	40	45	45	40	45	50	45	24	30	27
12	24	35	35	45	45	35	45	45	45	30	27	33
13	22	35	33	35	45	40	50	50	45	22	45	33
14	22	35	27	30	35	40	60	45	40	27	40	30
15	24	35	24	33	35	40	65	45	40	28	33	27
16	20	30	20	30	40	40	55	40	33	24	27	24
17	24	27	22	27	50	35	50	35	33	30	27	27
18	24	27	22	33	50	35	40	40	33	33	30	35
19	20	24	22	35	50	24	45	35	35	33	33	35
20	20	27	27	45	45	24	55	40	30	33	35	35
21	NA	30	27	40	40	40	50	35	35	33	35	40
22	NA	24	30	35	27	36	45	35	50	36	35	27
23	NA	27	30	30	45	40	50	40	33	33	35	33
24	20	27	30	24	50	35	40	40	36	33	27	35
25	NA	27	40	22	45	40	40	45	40	36	30	35
26	22	22	45	22	45	50	33	40	36	35	33	30
27	22	NA	40	24	35	50	30	27	36	35	33	27
28	20	NA	40	24	35	40	45	30	40	33	30	24
29	27	-	40	24	45	40	45	24	36	30	40	30
30	27	-	40	27	45	30	50	30	45	35	55	27
31	27	-	40	-	40	-	55	24	-	33	-	27

Fonte: Autor, 2023

APÊNDICE I – Maior velocidade da CJNEB registrada no dia – 2018

VEL MÁX DA CJNEB EM 2018 (m/s)												
DATA	JAN	FEV	MAR	ABR	MAI	JUN	JUL	AGO	SET	OUT	NOV	DEZ
1	24	35	20	35	33	40	45	50	35	33	27	55
2	27	30	22	40	27	40	45	55	24	24	22	40
3	30	27	24	36	27	35	45	45	40	30	33	35
4	30	35	22	24	35	45	40	50	40	30	30	35
5	33	40	22	24	30	50	27	45	35	24	35	33
6	30	35	22	24	35	50	30	45	35	24	35	27
7	33	35	20	24	40	50	27	40	40	27	33	27
8	33	30	22	30	45	45	30	40	35	27	35	24
9	27	30	27	27	55	40	35	40	35	35	40	33
10	27	27	33	33	55	40	40	40	33	35	35	27
11	24	30	35	40	50	45	45	40	40	35	40	24
12	24	33	35	40	45	40	40	40	45	45	33	27
13	NA	35	27	40	33	40	35	40	60	45	36	27
14	NA	35	27	35	27	45	40	42	55	40	45	33
15	20	22	35	33	22	27	33	55	55	24	40	27
16	24	20	35	35	35	27	39	50	60	33	35	30
17	30	24	33	40	40	24	30	50	55	30	40	30
18	33	24	27	40	33	27	33	40	50	35	55	27
19	27	20	27	35	33	40	36	40	35	35	50	27
20	27	22	35	36	55	40	40	40	30	45	45	27
21	30	24	35	35	50	35	40	40	35	35	35	27
22	30	24	33	33	35	35	40	40	35	40	40	30
23	30	24	30	40	45	35	50	40	35	40	60	33
24	35	24	24	45	45	30	50	40	33	55	55	33
25	40	24	24	50	45	20	45	50	30	45	45	24
26	33	20	33	45	50	NA	45	45	27	45	40	35
27	33	24	33	40	50	27	55	50	24	40	40	35
28	35	24	24	40	40	27	60	45	24	35	40	27
29	40	-	30	40	40	35	55	35	27	33	50	27
30	35	-	33	33	45	40	55	45	40	33	50	35
31	30	-	35	-	45	-	55	50	-	30	-	33

Fonte: Autor, 2023