



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



IOLLY SOUSA DE ALBUQUERQUE

**ASSOCIAÇÃO ENTRE AS CORRENTES DE JATO E ZONAS FRONTAIS NO
NORDESTE BRASILEIRO**

MACEIÓ

2022

IOLLY SOUSA DE ALBUQUERQUE

**ASSOCIAÇÃO ENTRE AS CORRENTES DE JATO E ZONAS FRONTAIS NO
NORDESTE BRASILEIRO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Meteorologia da Universidade Federal de Alagoas, como requisito parcial para obtenção do grau de Bacharel em Meteorologia.

Orientadora: Prof.^a Dra. Natalia Fedorova.

Co-orientador: Prof. Dr. Vladimir Levit.

MACEIÓ

2022

Catálogo na fonte
Universidade Federal de Alagoas
Biblioteca Central
Divisão de Tratamento Técnico
Bibliotecária: Taciana Sousa dos Santos – CRB-4 – 2062

A345a Albuquerque, Iolly Sousa de.
Associação entre as correntes de jato e zonas frontais no nordeste brasileiro / Iolly Sousa de Albuquerque. – 2022.
64 f. : il. color.

Orientadora: Natalia Fedorova.
Coorientador: Vladimir Levit.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso em Meteorologia) –
Universidade Federal de Alagoas. Instituto de Ciências Atmosféricas.
Maceió, 2022.

Bibliografia: f. 58-64.

1. Ventos - Correntes de jato. 2. Ventos - Nordeste, Brasil. 3. Sistemas frontais. I. Título.

CDU: 551.55

A CB PM IZABELLE,

Dedico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço a minha avó Maria Ivani (Naninha) por sempre me aconselhar que só podemos evoluir e chegar a algum lugar através dos estudos, se eu cheguei até aqui foi devido aos seus ensinamentos.

Aos meus pais, minha irmã Iully, minha prima Hélia e a toda família pelo incentivo.

À todos os professores do Instituto de Ciências Atmosféricas da UFAL por todo o conhecimento repassado durante a graduação, em especial ao Prof. Dr. Luiz Carlos Baldicero Molion que, através de suas palestras sobre o aquecimento global, fez com que eu me interessasse pelo curso e encarasse mais uma prova de vestibular.

Aos meus orientadores, Prof. Dra. Natalia Fedorova e Prof. Dr Vladimir Levit por toda paciência, dedicação, conselhos e incentivos na finalização deste trabalho.

Ao meu marido David Luis por seu companheirismo em todos os momentos e acreditar sempre nos meus objetivos.

Aos meus colegas de curso Marcelo Correia, Felipe Souza, Ivens Peixoto, Ismael Guidson, Matheus Leite e o trio Maria, Iara e Helen por me ajudarem nessa jornada tão árdua, pois devido a minha profissão, sem eles o caminho seria muito mais difícil.

À Polícia Militar de Alagoas, através dos meus superiores hierárquicos e colegas de trabalho, pela compreensão da minha dupla jornada.

Finalmente, a todas aquelas pessoas que direta ou indiretamente colaboraram para o êxito do meu trabalho e a conclusão desta graduação.

*Quem passou pela vida em branca nuvem
E em plácido repouso adormeceu,
Quem não sentiu do frio da desgraça,
Quem passou pela vida e não sofreu,
Foi espectro de homem, e não homem,
Só passou pela vida, não viveu.*

Francisco Otaviano

RESUMO

As Correntes de Jato do Nordeste Brasileiro (CJNEB) e as Zonas Frontais estão entre os principais sistemas que influenciam no regime pluviométrico e na formação de fenômenos adversos do Nordeste Brasileiro (NEB). Esse estudo teve como principal objetivo identificar e avaliar a ligação entre as CJNEB e as Zonas Frontais que atingiram o NEB durante o ano de 2017. Dados de reanálise do National Centers for Environmental Prediction e National Oceanic and Atmospheric Administration (NCEP/NOAA/NCAR) foram utilizados com resolução de 2,5° de latitude por 2,5° de longitude. O software Grid Analysis and Display System (GrADS) foi utilizado para visualizar os campos meteorológicos. Através dele, foram criados mapas de linhas de corrente (1000hPa, 500hPa e 200hPa), vorticidade, pressão ao nível médio do mar, advecção de temperatura potencial equivalente e espessura da camada. Imagens do satélite Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) e dos satélites METEOSAT no canal infravermelho auxiliaram a identificação da nebulosidade associada às zonas frontais. Os dados das estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN) foram utilizados para a análise de precipitação associada a CJNEB e Zonas Frontais. Seis ciclones baroclínicos com zonas frontais que se formaram e deslocaram para o NEB foram identificados durante o ano, sendo dois casos ocorridos na primavera, dois casos no outono e os outros dois casos durante o inverno. A análise detalhada mostrou que todas as zonas frontais, que atingiram o NEB, estavam associadas às correntes de jato nos altos níveis de ambos os hemisférios: Corrente de Jato Subtropical do Hemisfério Sul (HS) e Corrente de Jato Subtropical do Hemisfério Norte (HN). Os cavados estritos do Hemisfério Sul foram localizados perto do NEB no Oceano Atlântico em todos os casos. O Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) foi formado em 4 casos no HS e em dois casos no HN. Foram identificados dois padrões de ligação entre a CJNEB e as zonas frontais: no padrão frequente (cinco casos, padrão 1) em que as correntes do HN atuaram no lado leste da zona frontal e as correntes do HS atuaram no lado oeste; em um caso diferente (padrão 2) as correntes provenientes do HN atuaram em ambos os lados da zona frontal. A precipitação associada foi identificada para todas as ocorrências. A menor delas foi registrada nas cidades localizadas mais à Norte do NEB (São Luis/MA e Teresina/PI), porém houve registros próximos de 30 mm/24h em dois casos. Os valores pluviométricos superiores a 30 mm/24h foram mais frequentes na Bahia (cinco casos em Salvador e três casos em João Pessoa/PB).

Palavras-Chaves: CJNEB; Zonas Frontais; NEB; Fenômenos Adversos.

ABSTRACT

The Northeast Brazilian Jet Streams (NEBJS) and the Frontal Zones are among the main systems that influence the pluviometric regime and the adverse phenomena formation in the Brazilian Northeast (NEB). The main goal of this study was to identify and evaluate the connection between the CJNEB and the Frontal Zones that reached the NEB during 2017. Reanalysis data from the National Centers for Environmental Prediction and National Oceanic and Atmospheric Administration (NCEP/NOAA/NCAR) with a resolution of 2.5° latitude by 2.5° longitude were used. The Grid Analysis and Display System (GrADS) software was used to visualize the meteorological fields. Through it, maps of streamlines (1000hPa, 500hPa and 200hPa), vorticity, mean sea level pressure, equivalent potential temperature advection and layer thickness were created. Images from the Geostationary Operational Environmental Satellite (GOES) and METEOSAT satellites in the infrared channel helped to identify the cloudiness associated with the frontal zones. Data from automatic stations of the National Institute of Meteorology (INMET) and the National Center for Monitoring and Alerts for Natural Disasters (CEMADEN) were used for the analysis of precipitation associated with CJNEB and Frontal Zones. Six baroclinic cyclones with frontal zones that formed and moved to the NEB were identified during year, with 02 cases occurring in the spring, 02 cases in the autumn and the other 02 cases during the winter. Detailed analysis showed that all frontal zones, that reached the NEB, were associated with jet streams at the upper levels of both hemispheres (Southern Hemisphere (SH) Subtropical Jet Stream and Northern Hemisphere (NH) Subtropical Jet Stream). Strict troughs from the Southern Hemisphere were located near the NEB in the Atlantic Ocean in all cases. Upper Tropospheric Cyclonic Vortex (UTCV) was formed in SH in 4 cases and in NH in 2 cases. Two patterns of connection between the CJNEB and the frontal zones were identified: in the frequent pattern (5 cases, pattern 1) the HN currents acted on the east side of the frontal zone and the HS currents acted on the west side; in one different case (pattern 2) the currents coming from the NH acted on both sides of the frontal zone. Associated precipitation was identified for all occurrences. The least amount of precipitations were registered in the northern cities (São Luís/MA and Teresina/PI), but were records close to 30 mm/24h in 02 cases. Precipitation greater than 30 mm/24h were more frequent in Bahia (5 cases in Salvador and 3 cases in Joao Pessoa).

Key-words: Northeast Brazilian Jet Streams; Frontal Zones; Brazilian Northeast; Adverse phenomena.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Representação esquemática da circulação meridional e as correntes de jato associadas.	16
Figura 2 - Seção vertical de temperatura (linhas tracejadas) com localização da superfície frontal (duas linhas grossas) e centro do eixo da corrente de jato (C).	17
Figura 3 - Representação esquemática do eixo da corrente de jato (Jet Streak). As isotacas estão representadas pelas linhas tracejadas em m/s.	17
Figura 4 - Modelo conceitual da circulação transversal na entrada e saída da CJ para o Hemisfério Norte, indicando as regiões de convergência e divergência em altos níveis. As linhas contínuas representam as isotacas e as tracejadas correspondem as linhas de corrente.	18
Figura 5 - Modelo conceitual da circulação transversal na entrada e saída da corrente de jato com curvatura ciclônica (a) e anticiclônica (b) para o Hemisfério Norte, indicando as regiões de convergência e divergência em altos níveis. As linhas tracejadas indicam as linhas de corrente e as contínuas são isotacas.	19
Figura 6 - Seção horizontal da corrente de jato no hemisfério sul (a) e sessões verticais perpendiculares ao eixo de corrente de jato na entrada (b) e na saída (c).	20
Figura 7 - Sistema Frontal em evolução no Hemisfério Sul, centro de baixa pressão (B), frentes fria e quente, isóbaras (linhas inteiras), regiões de precipitação (área hachurada).	22
Figura 8 - Mapa da área de estudo (Área 1) e o NEB e Oceano Atlântico adjacente indicado pela cor cinza (Área 2).	26
Figura 9 - Localização da CJNEB tipo 1.	28
Figura 10 - Localização da CJNEB tipo 2.	29
Figura 11 - Localização da CJNEB tipo 3.	29
Figura 12 - Imagem de Satélite IR e Pressão ao Nível Médio do Mar para identificação de Zona Frontal e Linhas de Corrente na altura 200hPa e Magnitude do Vento acima de 20 m/s para identificação da Corrente de Jato. (A1) Presença de ciclone baroclínico em estágio jovem. (A2) Linha azul: eixo da zona frontal. (A3) Seta lilás: CJ do HN, seta tracejada cinza: CJST do HS, seta tracejada azul clara: CJP do HS. (B3) Seta tracejada azul escuro: crista advinda da AB e Presença de VCAN tipo Palmer. (D1) Ciclone baroclínico em desenvolvimento máximo. (E3) Seta tracejada vermelha: CAN e seta preta: CJNEB do tipo 1-A.	35
Figura 13 - Imagem de Satélite IR e Pressão ao Nível Médio do Mar para identificação de Zona Frontal e Linhas de Corrente na altura 200hPa e Magnitude do Vento acima de 20 m/s para	

identificação da Corrente de Jato. (A1) Presença de ciclone baroclínico em desenvolvimento máximo. (A2) Presença de três baixas pressões. (C3) Seta tracejada verde: crista do HN, seta tracejada vermelha: CAN no HS, seta tracejada azul escuro: crista do HS, seta tracejada cinza: CJST do HS, seta tracejada azul claro: CJP do HS, seta preta: CJNEB tipo 3. 37

Figura 14 - Imagem de Satélite IR e Pressão ao Nível Médio do Mar para identificação de Zona Frontal e Linhas de Corrente na altura 200hPa e Magnitude do Vento acima de 20 m/s para identificação da Corrente de Jato. (A1) Presença de dois ciclones baroclínicos em desenvolvimento máximo. (A3) CAN no HN (formação de VCAN). (B2) Presença de anticiclone profundo. (B3) Presença de VCAN no HN. (D3) Seta lilás: CJ do HN, seta tracejada cinza: CJTP no HS, seta tracejada azul claro: CJP no HS, seta tracejada vermelha: CAN no HN e HS, seta tracejada azul: crista no HS, seta preta: CJNEB tipo 2-A. 39

Figura 15 - Imagem de Satélite IR e Pressão ao Nível Médio do Mar para identificação de Zona Frontal e Linhas de Corrente na altura 200hPa e Magnitude do Vento acima de 20 m/s para identificação da Corrente de Jato. (A1) Presença de ciclone baroclínico em estágio de onda. (B1) ciclone baroclínico em estágio jovem. (B2) Presença de anticiclone profundo. (B3) Presença de Ciclone no HN e três Anticiclones no HS. (C3) Seta tracejada vermelha: presença de CAN no HS (início da formação de VCAN). (E1) Presença de ciclone baroclínico em desenvolvimento máximo. (E3) Presença da AB, seta lilás: CJ do HN, seta tracejada cinza: CJST do HS, seta tracejada azul claro: CJP do HS, seta preta: CJNEB do tipo 1-A, presença de VCAN do tipo Palmen. 41

Figura 16 - Imagem de Satélite IR e Pressão ao Nível Médio do Mar para identificação de Zona Frontal e Linhas de Corrente na altura 200hPa e Magnitude do Vento acima de 20 m/s para identificação da Corrente de Jato. (A1) Presença de ciclone baroclínico com dois centros. (A3) Seta lilás: corrente de ar do HN, presença de VCAN do tipo Palmer e AB. (D1) Zona frontal em deslocamento para o NEB. (E3) Seta tracejada vermelha: CAN no HS, seta tracejada cinza: CJST do HS, seta tracejada azul claro: CJP do HS, seta preta: CJNEB do tipo 3. 43

Figura 17 - Imagem de Satélite IR e Pressão ao Nível Médio do Mar para identificação de Zona Frontal e Linhas de Corrente na altura 200hPa e Magnitude do Vento acima de 20 m/s para identificação da Corrente de Jato. (A2) Presença de três centros de baixa pressão e suas zonas frontais associadas. (B3) Circulação anticiclônica em altos níveis e CAN: seta tracejada vermelha. (D1 e E1) Deslocamento da zona frontal para o NEB. (E3) Seta preta: CJNEB do tipo 1-A, seta tracejada cinza: CJTP no HS, seta tracejada azul clara: CJP no HS. 46

Figura 18 - Modelo conceitual das ligações entre as CJNEB com direção Nordeste e zona frontal.	48
Figura 19 - Modelo conceitual das ligações entre as CJNEB com direção Sudeste e zona frontal.	48
Figura 20 - Imagem de satélite IR e Mapas de dados de precipitação acumulada obtidos no INMET. (a) Imagem de satélite IR do dia 02 de abril de 2017 às 00h. (b) Caso 1: com precipitação acumulada do dia 28 de março ao dia 03 de abril de 2017.	50
Figura 21 - Imagem de satélite IR e Mapas de dados de precipitação acumulada obtidos no INMET. (a) Imagem de satélite IR do dia 22 de maio de 2017 às 18h. (b) Caso 2: com precipitação acumulada do dia 16 a 22 de maio de 2017.	51
Figura 22 - Imagem de satélite IR e Mapas de dados de precipitação acumulada obtidos no INMET. (a) Imagem de satélite IR do dia 05 de julho de 2017 às 00h. (b) Caso 3: com precipitação acumulada do dia 01 a 06 de julho de 2017.	52
Figura 23 - Imagem de satélite IR e Mapas de dados de precipitação acumulada obtidos no INMET. (a) Imagem de satélite IR do dia 04 de setembro de 2017 às 18h. (b) Caso 4: com precipitação acumulada do dia 31 de agosto a 04 de setembro de 2017.	53
Figura 24 - Imagem de satélite IR e Mapas de dados de precipitação acumulada obtidos no INMET. (a) Imagem de satélite IR do dia 03 de novembro de 2017 às 06h. (b) Caso 5: com precipitação acumulada do dia 31 de outubro a 04 de novembro de 2017.	54
Figura 25 - Imagem de satélite IR e Mapas de dados de precipitação acumulada obtidos no INMET. (a) Imagem de satélite IR do dia 15 de novembro de 2017 às 06h. (b) Caso 6: com precipitação acumulada do dia 10 a 16 de novembro de 2017.	55

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Variáveis utilizadas para análise de CJNEB associados às Zonas Frontais.	31
Tabela 2 - Zonas Frontais que atingiram o NEB e sua duração durante o ano de 2017.....	34
Tabela 3 - Precipitação acumulada para as capitais do NEB durante o caso 1.	49
Tabela 4 - Precipitação acumulada para as capitais do NEB durante o caso 2.	50
Tabela 5 - Precipitação acumulada para as capitais do NEB durante o caso 3.	51
Tabela 6 - Precipitação acumulada para as capitais do NEB durante o caso 4.	52
Tabela 7 - Precipitação acumulada para as capitais do NEB durante o caso 5.	53
Tabela 8 - Precipitação acumulada para as capitais do NEB durante o caso 6.	54
Tabela 9 - Precipitação acumulada por caso.	55

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO	14
2. OBJETIVOS	15
2.1. Geral	15
2.2. Específicos.....	15
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
3.1. CORRENTES DE JATO	16
3.1.1. Corrente de Jato Subtropical (CJST).....	17
3.1.2. Corrente de Jato Polar (CJP)	18
3.1.3. Movimentos Verticais na Corrente de Jato	18
3.2. CORRENTE DE JATO NO NORDESTE BRASILEIRO (CJNEB)	20
3.3. SISTEMAS FRONTAIS.....	22
3.4. INFLUÊNCIA DE SISTEMAS FRONTAIS NO NORDESTE BRASILEIRO	24
4. MATERIAIS E MÉTODOS	26
4.1. ÁREA DE ESTUDO	26
4.2. DADOS UTILIZADOS.....	26
4.2.1 Dados de Reanálise.....	26
4.2.2 Imagens de Satélite.....	27
4.2.3 Dados de Precipitação	27
4.3. FERRAMENTAS UTILIZADAS	27
4.4 METODOLOGIA.....	27
4.4.1 Identificação das CJNEB.....	27
4.4.2 Tipos das CJNEB e sistemas sinóticos associados	28
4.4.3 Identificação das Zonas Frontais	30
4.4.4 Análise da Estrutura Espacial	30
5. RESULTADOS	34
5.1. IDENTIFICAÇÃO DAS ZONAS FRONTAIS.....	34
5.2. IDENTIFICAÇÃO DAS CORRENTES DE JATO NO NEB E SUA LIGAÇÃO COM AS ZONAS FRONTAIS.....	34
5.3. OS TIPOS DE LIGAÇÕES DAS CORRENTES DE JATO NO NEB COM AS ZONAS FRONTAIS	47
5.3.1 CJNEB com direção Nordeste.....	48
5.3.2 CJNEB com direção Sudeste.....	48

5.4. FENÔMENOS ASSOCIADOS	49
5.4.1. Precipitação	49
6. CONCLUSÕES.....	56
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	58

1. INTRODUÇÃO

A região do Nordeste brasileiro (NEB) é influenciada por diversos sistemas meteorológicos que afetam as condições de tempo. A Zona de Convergência Intertropical (UVO e NOBRE, 1989) e os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (KOUSKY e GAN, 1981) consistem em sistemas da pré-estação chuvosa da região. Além destes, as Ondas de leste (YAMAZAKI e RAO, 1977), Vórtices Ciclônicos de Médios Níveis (SANTOS, 2012), Correntes de Jato do Nordeste Brasileiro (GOMES, 2003; SILVA et al, 2011) e sistemas originários em latitudes medias, como as Frentes Frias (KOUSKY, 1979; FEDOROVA et al., 2016).

A CJNEB é um sistema meteorológico atuante na região que foi estudado pela primeira vez por Gomes (2003) e ao longo dos anos vem sendo estudado também por outros pesquisadores. Estes sistemas, que se localizam próximo a 200 hPa na tropopausa tropical entre as latitudes de 20°S e o Equador, causam perturbações nos campos meteorológicos de médios a altos níveis da atmosfera. A passagem da CJNEB é de muita importância na determinação das condições de tempo local. Recentemente, um estudo feito por Fedorova et al., (2018) realizou uma caracterização geral dessas correntes, através de frequências, localização e velocidade do vento.

As Frentes Frias são um dos principais sistemas que ocorrem sobre a América do Sul. Estes sistemas de origem subtropical podem penetrar latitudes tropicais com intensidade considerável (LEMOS e DE CALBETE, 1996). Sobre o NEB, as frentes não apresentam grande contraste de temperatura, porém, ficam ativas devido ao grande contraste de umidade (VEBER, 2011). As frentes, de uma forma geral, são pouco estudadas sobre a região. Estudos recentes como o de Sinhori (2015) identificou as modificações na estrutura vertical das frentes que atingem o NEB. Posteriormente, Fedorova et al., (2016) estabeleceram novos aspectos para a identificação de zonas frontais na região, visando aprimorar a previsão na prática operacional.

O principal objetivo desse estudo foi identificar e avaliar a relação entre as zonas frontais associadas à CJNEB durante o ano de 2017 na região Nordeste do Brasil, com a finalidade de oferecer maiores subsídios para a previsão de tempo em curto prazo. Sendo também avaliados a duração dessas zonas frontais que atingiram o território nordestino e a sua influência sobre outros sistemas atuantes na região, além de estabelecer padrões de formação entre as frentes e a CJNEB.

2. OBJETIVOS

2.1. Geral

Identificar e avaliar a relação entre as Correntes de Jato e os sistemas frontais no Nordeste do Brasil.

2.2. Específicos

- Verificar o período de vida das zonas frontais que adentraram o NEB;
- Avaliar a influência desses sistemas sobre outros que atuam na região;
- Estabelecer padrões de conexão entre a CJNEB e as zonas frontais;
- Quantificar a precipitação gerada pelos casos analisados.

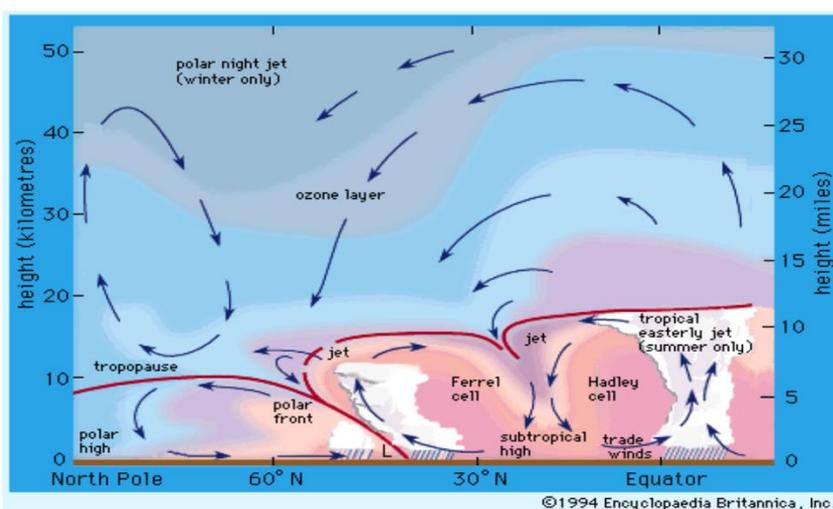
3. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

3.1. CORRENTES DE JATO

A corrente de jato (CJ) é um escoamento do ar na alta troposfera ou estratosfera, que apresenta velocidades maiores que 30 m/s, ocorre próximo a tropopausa, entre 9 a 13 km de altura, limitando-se a poucos milhares de metros de profundidade vertical e a dezenas de quilômetros de extensão horizontal (FEDOROVA, 1999). Sua formação ocorre devido a grandes gradientes meridionais de temperatura na tropopausa. Nestas regiões, a componente zonal do vento de oeste atinge seus valores máximos, estas correntes acompanham intensas penetrações de ar frio e quente com zonas frontais e, conseqüentemente, são associadas com intensas mudanças de tempo. Dessa forma, as correntes de jato têm papel muito importante para todos os tipos de previsões meteorológicas (FEDOROVA e LYRA, 2017).

Existem dois tipos de Corrente de Jato (Polar e Subtropical), ambas localizadas na descontinuidade da tropopausa, onde há mistura do ar troposférico e estratosférico (AHRENS, 2000). A mais próxima dos pólos é conhecida como Corrente de Jato Polar (CJP), formada entre a célula Polar e a célula de Ferrel, aquela mais próxima da região subtropical denomina-se Corrente de Jato Subtropical (CJS), formada entre as células de Ferrel e Hadley, conforme é mostrado na Figura 1.

Figura 1 - Representação esquemática da circulação meridional e as correntes de jato associadas.

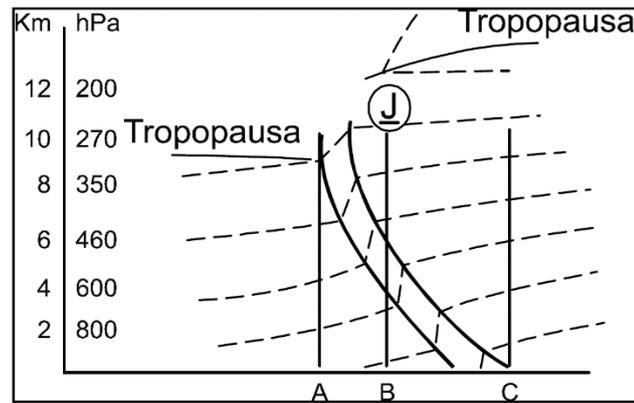


Fonte: Enciclopédia britânica, 1994.

A posição da Corrente de Jato com referência à posição da tropopausa e da zona baroclínica intensa é mostrada no esquema da seção vertical da atmosfera na Figura 2. Observa-se a zona de forte baroclínica (mudança do vento geostrófico com altura) na troposfera entre os

pontos A e C, zona frontal e localização do cento do eixo da corrente de jato (C), situada sobre a vertical (B) (PALMÉN e NEWTON, 1969).

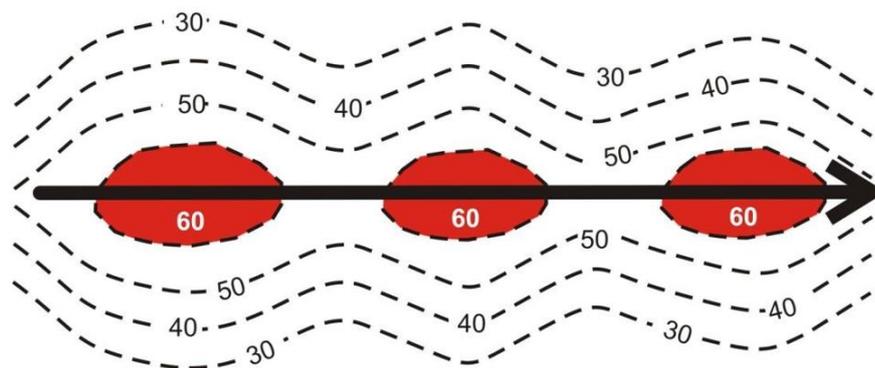
Figura 2 - Seção vertical de temperatura (linhas tracejadas) com localização da superfície frontal (duas linhas grossas) e cento do eixo da corrente de jato (C).



Fonte: Palmén e Newton, 1969.

Os Núcleos de Ventos Máximos (NVM), conhecidos na literatura como “Jet Streaks” (Figura 3) trata-se de núcleos ao longo do eixo do jato e podem atingir ou superar velocidades de 65 m/s, deslocando-se ao longo do eixo, no mesmo sentido do vento (MEDINA, 1976). Os NVM têm recebido significativa atenção de estudos científicos devido a sua importância como precursores de ciclogênese e tempos severos (CARLSON, 1991; BLUESTEIN, 1993).

Figura 3 - Representação esquemática do eixo da corrente de jato (Jet Streak). As isotacas estão representadas pelas linhas tracejadas em m/s.



Fonte: Medina, 1976.

3.1.1. Corrente de Jato Subtropical (CJST)

A Corrente de Jato Subtropical está associada à circulação de Hadley, um dos principais mecanismos para sua manutenção (PALMÉN e NEWTON, 1969). Geralmente ela encontra-se acima da porção descendente dessa célula de circulação, entre as latitudes de 20° e 35° nos

níveis de 200 a 300 hPa. Segundo Hastenrath (1990), a CJST desenvolve-se com maior frequência durante a estação do inverno, onde a circulação média meridional é mais intensa.

De acordo com Palmém e Newton (1969), a CJST é semipermanente e sua posição média desloca-se em direção ao Equador no período de inverno e em direção aos polos no verão, assim como toda a circulação atmosférica, devido ao movimento aparente do Sol.

3.1.2. Corrente de Jato Polar (CJP)

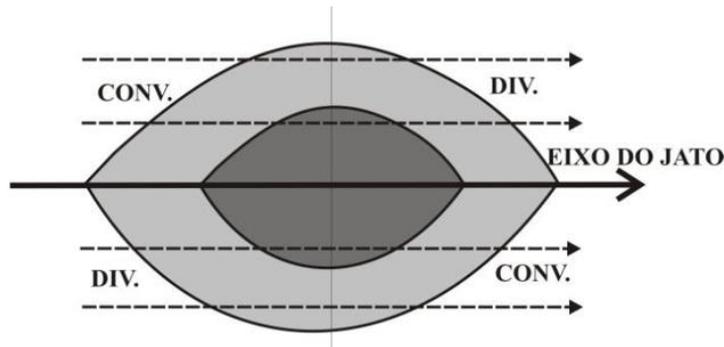
A Corrente de Jato Polar forma-se na fronteira entre a circulação Polar e a Célula de Ferrel. Encontra-se geralmente entre as latitudes de 35° a 70° e entre 200 e 300 hPa. Diferentemente da CJST, a CJP não é semipermanente, ela está associada ao forte gradiente horizontal de temperatura, onde chega a coincidir com as estreitas zonas frontais em altos níveis da atmosfera (PEZZI et al., 1996).

A variação sazonal da sua posição é a mesma da CJST, ou seja, sua posição é mais próxima ao Equador durante inverno do que no verão, mas em termos de estrutura espacial, a CJST apresenta uma estrutura horizontal maior do que a CJP. Isto ocorre devido as diferenças de latitudes destas correntes e pelos seus mecanismos fundamentais de formação. Porém em extensão vertical a CJP é maior que a CJST. A ocorrência de um núcleo de jato intenso acima da zona frontal em superfície é uma consequência do balanço do vento térmico (PEZZI et al., 1996).

3.1.3. Movimentos Verticais na Corrente de Jato

O primeiro modelo de circulação transversal nas vizinhanças da corrente de jato na alta troposfera foi desenvolvido por Riehl et al. (1952), conforme ilustrado na Figura 4. Posteriormente, Beebe e Bates (1955) introduziram informações adicionais ao modelo, como os efeitos de curvatura. Uma revisão sobre essa circulação vertical da corrente de jato foi feita por Reiter (1969), onde foi estabelecido o interesse em sistemas de tempo que se desenvolvem nas vizinhanças do jato na alta troposfera. Outros modelos conceituais mostrando a existência de circulações transversais em torno da corrente de jato foram apresentados por Uccellini e Johnson (1979), Mattocks e Bleck (1986).

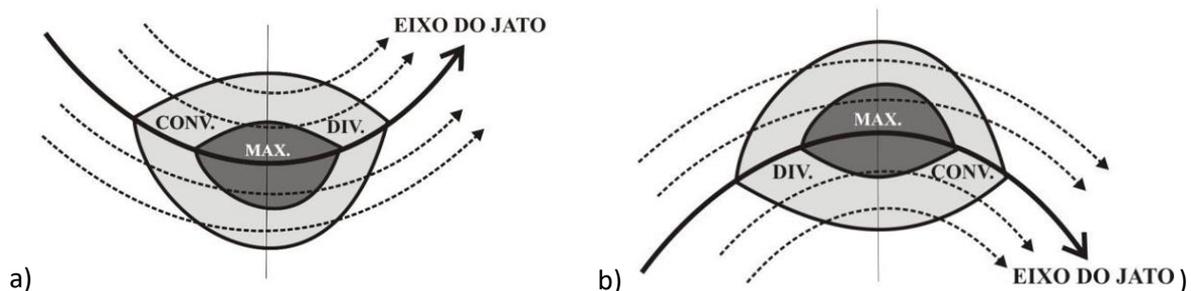
Figura 4 - Modelo conceitual da circulação transversal na entrada e saída da CJ para o Hemisfério Norte, indicando as regiões de convergência e divergência em altos níveis. As linhas contínuas representam as isotacas e as tracejadas correspondem as linhas de corrente.



Fonte: Adaptado de Beebe e Bates, 1955.

Beebe e Bates (1955) indicaram que uma corrente de jato com curvatura ciclônica teria divergência e convergência mais pronunciadas no lado ciclônico (Figura 5a). Enquanto o oposto ocorre para os jatos com curvatura anticiclônica (Figura 5b). O efeito de curvatura também foi estudado por Moore e Vanknowe (1992), onde através de modelo simples de duas camadas de equações primitivas foram descobertas que a corrente de jato com ambas as curvaturas ciclônica e anticiclônica é acompanhada por um padrão de duas células de movimento vertical, o qual é significativamente maior que o encontrado no padrão de quatro células na corrente de jato retilínea. E ainda observaram que a curvatura anticiclônica gera divergência a leste do eixo da crista e convergência à oeste (HS).

Figura 5 - Modelo conceitual da circulação transversal na entrada e saída da corrente de jato com curvatura ciclônica (a) e anticiclônica (b) para o Hemisfério Norte, indicando as regiões de convergência e divergência em altos níveis. As linhas tracejadas indicam as linhas de corrente e as contínuas são isotacas.



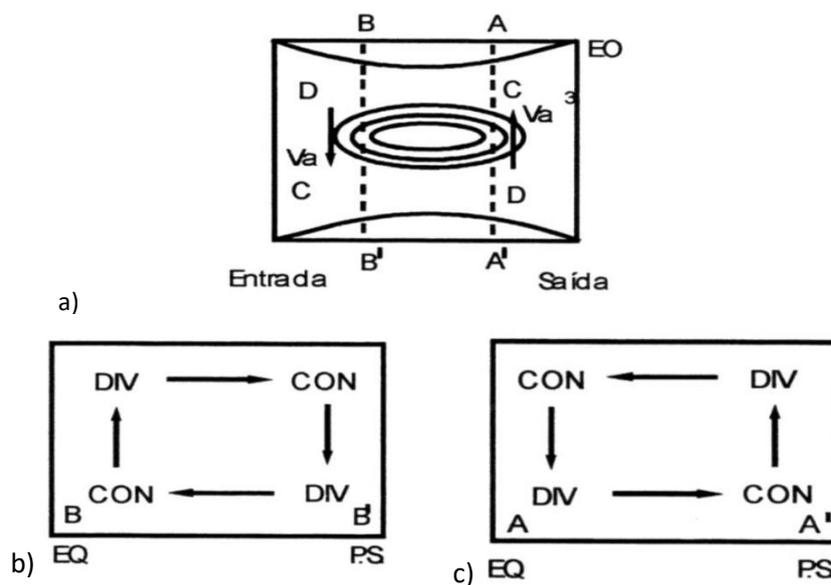
Fonte: Adaptado de Beebe e Bates, 1955.

Estudos para o Hemisfério Norte realizados por Clapp e Winston (1951) sugeriram que na região de confluência e aceleração da corrente de jato ocorrem mudanças de energia cinética provenientes do fornecimento de energia potencial e interna. Mahlman (1973), ao analisar o

balanço de energia cinética na corrente de jato polar revelou que a circulação transversal direta é forte o suficiente para manter a CJ contra a dissipação, mas não o bastante para transportar uma grande quantidade de energia lateral. Segundo Sechrist e Whitaker (1979), o movimento nas regiões de entrada e saída das CJ tem alguma componente ageostrófica devido às mudanças de velocidade nas suas entradas e saídas.

Na entrada da corrente de jato ocorre uma aceleração da parcela de ar implicando numa componente ageostrófica do vento negativa, sendo direcionada para menores alturas geopotenciais em direção ao polo (Figura 6a). Na saída da corrente de jato ocorre o oposto, uma parcela desacelera e a componente ageostrófica positiva se direciona para o equador. Por isso, na corrente de jato do hemisfério sul, os movimentos ascendentes são observados no lado norte da entrada do jato (circulação direta) e no lado sul da saída da mesma (circulação indireta) (Figura 6b, c). Os movimentos descendentes ocorrem nas regiões opostas: são observados no lado sul da entrada do jato (circulação direta) e no lado norte da saída (circulação indireta; FEDOROVA e LYRA, 2017).

Figura 6 - Seção horizontal da corrente de jato no hemisfério sul (a) e sessões verticais perpendiculares ao eixo de corrente de jato na entrada (b) e na saída (c).



Fonte: Adaptado de Guedes, 1985.

3.2. CORRENTE DE JATO NO NORDESTE BRASILEIRO (CJNEB)

Estudos realizados por Virji (1981); Ramirez (1997) mostraram a existência de correntes de ventos fortes em altos níveis no Nordeste Brasileiro (NEB) entre Alta da Bolívia (AB) e o

Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) ou Cavado em Altos Níveis (CAN). Foi mostrado por Virji (1981) que estas correntes podem alcançar velocidades superiores a 20 m/s.

Gomes (2003) analisou as fortes correntes de ar próximo ao nordeste brasileiro, onde em alguns casos atingiram a velocidade de 50 m/s no período de inverno. Em alguns casos durante o verão, o autor observou a ligação das correntes de jato dos hemisférios Sul e Norte, que contribuía para a formação dos VCANs.

A CJNEB localiza-se geralmente próximo à 200 hPa na tropopausa tropical entre as latitudes de 20°S e a linha do Equador, com maior ocorrência e desenvolvimento durante os meses de inverno e primavera (GOMES, 2003; CAMPOS, 2006).

Segundo Fedorova et al. (2005), as células de circulação, criadas pela CJNEB e pelos ventos alísios foram responsáveis pela formação de movimentos ascendentes que contribuíram para formação de Complexos Convectivos de Mesoescala (CCM) a leste do estado de Alagoas. Posteriormente, Milhahn (2013), analisou a relação entre a CJNEB e os CCM, onde foi observado que a localização dos CCM em relação a CJNEB em altos níveis teve distribuição variada entre entrada, saída, esquerda, direita e centro. A entrada esquerda da Corrente de Jato foi a área em que foi mais frequente a formação dos sistemas de mesoescala.

Repinaldo (2010) realizou um estudo climatológico sobre a CJNEB e agrupou os eventos em três tipos de padrões: Meridional, Zonal e Transversal. Costa (2010) utilizando o mesmo critério para análise da CJNEB e constatou uma frequência maior para o padrão meridional com 47%.

Fedorova et al. (2017) estudaram a frequência, velocidade dos ventos e direção, entre 1994 e 2009, onde foi observado que a CJNEB acontece praticamente todos os dias do ano. Leite (2020) buscou analisar a influência inter-hemisférica das correntes de jato sobre o Nordeste, onde durante o período de estudo de 1 ano foram identificados e classificados 7 casos de ligação entre CJNEB e CJST de ambos os hemisférios e sua relação com a precipitação nas capitais do NEB. Repinaldo et al. (2020) determinaram os padrões de circulação em eventos de VCAN com CJNEB para anos de La Niña e El Niño sobre o Estado de Alagoas.

Um estudo recente de Santos (2021) analisou a influência das ligações das correntes de jato entre os hemisférios, onde os processos zonal e meridional dessas correntes foram determinantes para a formação de fenômenos meteorológicos adversos no NEB.

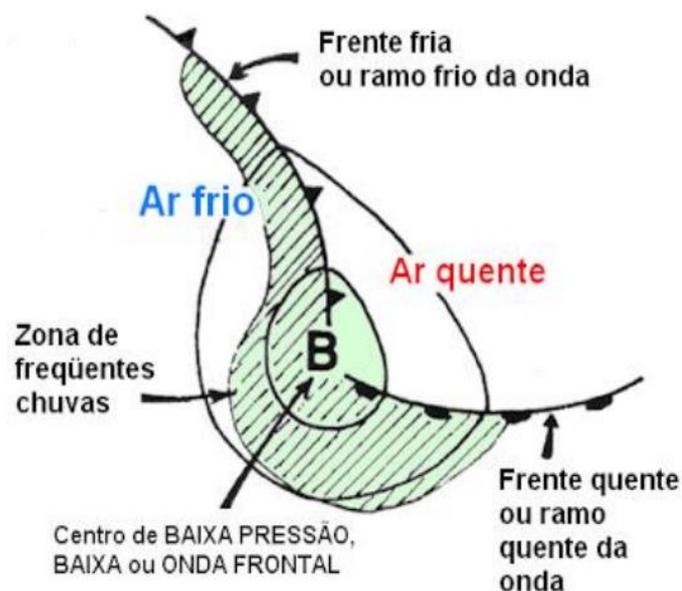
3.3. SISTEMAS FRONTAIS

Os sistemas frontais podem ser definidos por regiões com alta assimetria na forma, com fortes ventos e fortes gradientes de temperatura. São sistemas altamente baroclínicos e apresentam perturbações na velocidade dos ventos com a altura (HOLTON, 1979). Segundo o autor supracitado, os sistemas frontais são constituídos de uma frente fria, uma frente quente e um centro de baixa pressão em superfície denominado ciclone ou vórtice frontal, como mostra a Figura 7.

Esses sistemas de escala sinótica são um dos mais importantes sobre a América do Sul. Tais sistemas são ativos durante todo o ano, podendo penetrar latitudes, e sendo partes fundamentais para os regimes de precipitação e temperatura em quase todo o continente (LEMOS e CALBETE, 1996; QUADRO et al., 1996).

De acordo com Fedorova e Carvalho (2000), os principais métodos para a determinação das frentes utilizam informações obtidas pelos dados de satélite e de diferentes campos, como pressão, linhas de corrente, temperatura, espessura, laplaciano da pressão, umidade e outros. Na literatura, diversos critérios utilizados por diferentes autores podem ser encontrados: Parmenter (1976) baseou-se somente nas imagens de satélite para a determinação das frentes. Kousky (1979) determinou a passagem de um sistema frontal através da mudança na direção do vento para sul e uma variação na média diária da temperatura do bulbo úmido de 2 graus. Da Cruz et al. (2008) identificaram uma frente através de imagens de satélites e dos campos horizontais de temperatura potencial equivalente e advecção de temperatura potencial equivalente, indicando o posicionamento dos sistemas frontais.

Figura 7 - Sistema Frontal em evolução no Hemisfério Sul, centro de baixa pressão (B), frentes fria e quente, isóbaras (linhas inteiras), regiões de precipitação (área hachurada).



Fonte: Varejão-Silva, 2001.

Os primeiros estudos que estimaram as regiões frontogênicas ao redor do globo foram feitos por Satyamurty e Mattos (1989). Esses autores verificaram que na América do Sul a área com maior potencial frontogênico ocorre no sul da Argentina, durante o verão e desloca-se para o norte durante o inverno, ocupando o nordeste da Argentina e sua vizinhança. Simmonds et al. (2012) determinaram uma climatologia de frentes frias no Hemisfério Sul entre 1989 e 2009 usando um método objetivo para a identificação de tais sistemas. Os autores observaram que nos meses de verão as maiores frequências das frentes frias estão entre as latitudes de 40°S e 60°S. Dentro dessa faixa há uma maior ocorrência nas regiões oceânicas a leste da Patagônia, sudeste da África do Sul e sudoeste da Austrália. No inverno, esse cinturão de sistemas frontais frios sofre um pequeno deslocamento para norte e apresenta uma série de assimetrias zonais nas regiões oceânicas citadas.

A análise dos impactos desses sistemas para o Brasil vem sendo avaliada ao longo dos anos. Lemos e Calbete (1996), mostraram que os sistemas frontais atuam durante todo o ano no Brasil, com frequências maiores nas latitudes mais altas durante o período de inverno. Justí e Silva Dias (2002) organizaram uma climatologia de sistemas frontais (1981-1999) através de dados do *National Center for Environmental Prediction* (NCEP), adicionando informações ao estudo de Lemos e Calbete (1996). Este estudo demonstrou que nas regiões Sul e Sudeste do Brasil os ventos em baixos níveis têm direção nordeste devido à influência da alta subtropical do Atlântico Sul, onde estes ventos são tipicamente de noroeste em situações pré-frontais,

havendo giros de sudoeste e sudeste à medida em que as frentes se deslocam. O estudo de Andrade e Cavalcanti (2004) mostrou que a menor frequência desses sistemas ocorre no verão. Rodrigues et al. (2004) elaboraram uma climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina. Um estudo mais recente realizado por Ferreira et al., (2009) indicou que as frentes frias ocorrem em maior número assim como durante todo o ano entre 25°S e 30°S e são mais frequentes durante os meses de maio e outubro, esporadicamente em 20°S durante os meses de dezembro a fevereiro.

3.4. INFLUÊNCIA DE SISTEMAS FRONTAIS NO NORDESTE BRASILEIRO

Kousky (1979) mostrou que os sistemas frontais penetram o setor sul do NEB ao longo de todo o ano, tendo um papel importante no máximo de precipitação em dezembro-janeiro, principalmente no estado da Bahia; são associados com o aumento da precipitação ao longo da costa, desde a Bahia até o Rio Grande do Norte, durante os meses de inverno, chegando a afetar a precipitação até o norte do Ceará; baixas pressões à superfície, em baixas latitudes favorecem o movimento da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) em direção ao sul. Kousky e Ferreira (1981) ao analisarem imagens de satélite, observaram o aumento da atividade convectiva associado a sistemas de latitudes médias que penetram em latitudes baixas sobre o Brasil, e concluíram que os distúrbios associados com flutuações de pressão, geralmente, se propagam na direção leste e nordeste.

Após essas primeiras análises, diversos estudos foram feitos para avaliar os efeitos dos sistemas frontais no NEB:

Os sistemas frontais que organizam extensas faixas de nebulosidade convectiva, com intensa precipitação, possuem uma penetração meridional no continente. Normalmente estão associados a cavados de ar superior (200 hPa) e em baixos níveis, com inclinação horizontal para noroeste, os quais produzem forte advecção de ar frio para o interior do continente e subsidência atrás da frente em toda a coluna atmosférica, resultando em uma região de céu claro. A faixa de nebulosidade convectiva observada está associada à divergência nos altos níveis e a movimentos verticais ascendentes em 500 hPa. O deslocamento do sistema frontal para latitudes mais baixas é acompanhado pela formação do movimento ascendente no cavado, com orientação preferencial na direção noroeste-sudeste (OLIVEIRA, 1986).

Silva (2002) analisou um evento de precipitação extrema na costa leste do NEB. O estudo mostrou que as penetrações dos sistemas frontais em latitudes equatoriais, tanto do HN (entre novembro e abril) quanto do HS (entre maio e agosto), são os principais mecanismos causadores das Perturbações Ondulatórias nos Alísios (POAs).

Veber (2011) analisou a influência dos sistemas frontais sobre o NEB para um período de 10 anos (2000-2009), onde foram identificados dois padrões de atividade convectiva decorrentes das frentes ao longo do ano.

Sinhori (2015) analisou as modificações na estrutura vertical das frentes frias que adentraram o estado de Alagoas entre os anos de 2000 e 2012.

Fedorova et al. (2016) aplicaram uma nova metodologia para a identificação de zonas frontais, através do uso de uma distribuição horizontal da temperatura potencial equivalente e a sua advecção.

Muanza (2018) observou padrões de circulação entre as extremidades frontais e a ZCIT. Onde, para um período de análise entre 2008 a 2017 foram identificados 27 casos de frentes frias que penetraram o NEB, onde 5 destes casos tiveram ligação com a nebulosidade da ZCIT.

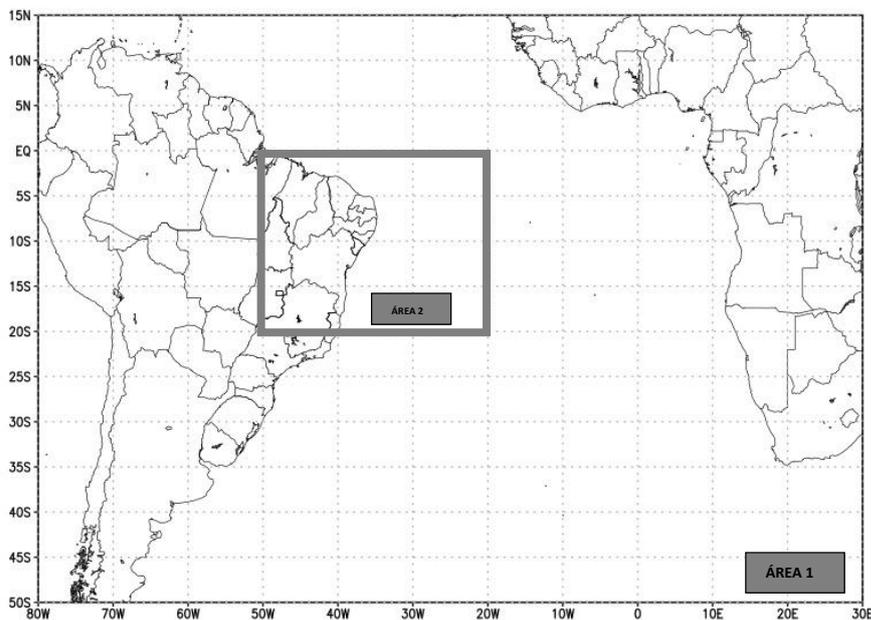
4. MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo será abordado a metodologia do estudo das correntes de jato no Nordeste Brasileiro associadas às zonas frontais. Para a explicação dessa associação serão analisadas as frequências e padrões de correntes de jato e das frentes que ocorrem na área de estudo. Também será descrito o software utilizado para construção dos campos sinóticos.

4.1. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo das correntes de jato e zonas frontais foi definido entre as latitudes 15° N - 50°S e longitude 80°W - 30°E (Figura 1). CJNEB foi identificado entre as latitudes 0° a 20°S e longitude 20° W a 50°W (Fedorova et al, 2018a e 2018b), haja vista que a CJNEB ocorre com mais frequência nessa região. A análise foi feita no período de 01 de janeiro a 31 de dezembro de 2017.

Figura 8 - Mapa da área de estudo (Área 1) e o NEB e Oceano Atlântico adjacente indicado pela cor cinza (Área 2).



Fonte: Autor, 2021.

4.2. DADOS UTILIZADOS

4.2.1 Dados de Reanálise

Para a análise das CJNEB e Zonas Frontais foi utilizado dados de reanálise do Serviço Norte Americano de Administração dos Oceanos e da Atmosfera NCEP/NOAA/NCAR, com

resolução de 2,5° x 2,5°, divididos nos níveis de pressão entre padrões entre 1000hPa e 200 hPa, sendo utilizado dados diários com os quatro horários sinóticos (00, 06, 12 e 18 UTC). Os dados estão disponíveis no site: <https://www.esrl.noaa.gov/psd/>.

4.2.2 Imagens de Satélite

As imagens de satélite foram utilizadas para identificar a nebulosidade associada à zona frontal. Foi utilizado o satélite geostacionário GOES e METEOSAT no canal Infravermelho (IR). Essas informações estão contidas no banco de dados do portal da Divisão de Satélites e Sistemas Ambientais (DAS) no ano de 2017 disponibilizados pelo CPTEC/INPE no endereço: (<http://satelite.cptec.inpe.br>).

4.2.3 Dados de Precipitação

Para a análise de precipitação associada a CJNEB e Zonas Frontais, foram utilizados dados de estações automáticas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). Os seguintes dados estão disponíveis no site <https://tempo.inmet.gov.br/PrecAcumulada#> e <http://www2.cemaden.gov.br/mapainterativo/#>. Através desses dados foram construídas tabelas para expor as precipitações acumuladas nas capitais do NEB durante todo o período de atuação das zonas frontais.

4.3. FERRAMENTAS UTILIZADAS

Para a criação dos campos sinóticos foi usado o software GrADS (Grid Analysis and Display System), o qual é uma ferramenta usada para facilitar o acesso, a manipulação e a visualização de dados de ciências da terra (CORREIA, 2018). Através dele foram criados mapas de linhas de corrente (1000hPa, 500hPa e 200hPa), vorticidade, pressão ao nível médio do mar, advecção de temperatura potencial equivalente, espessura da camada e precipitação com o objetivo de elaborar casos de associações entre CJNEB e Zonas Frontais ocorridos na área estudada.

4.4 METODOLOGIA

4.4.1 Identificação das CJNEB

Segundo Fedorova (2001), as Correntes de Jato nas regiões extratropicais são definidas como ventos na alta troposfera de intensidade superiores a 30 m/s.

Alguns estudos mostram a existência de correntes de ventos fortes em altos níveis no NEB entre Alta da Bolívia (AB) e o Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) ou Cavado em

Altos Níveis (CAN) (Virji, 1981; Ramires 1996), onde foi mostrado que essas correntes podem alcançar velocidades superiores a 20 m/s, ou seja, menos intensa que os demais tipos.

As CJNEB foram definidas em Fedorova et al (2018) como uma corrente de jato entre 20° - 50° W e 0° e 20° S com uma velocidade máxima do vento em seu núcleo acima de 20 m/s.

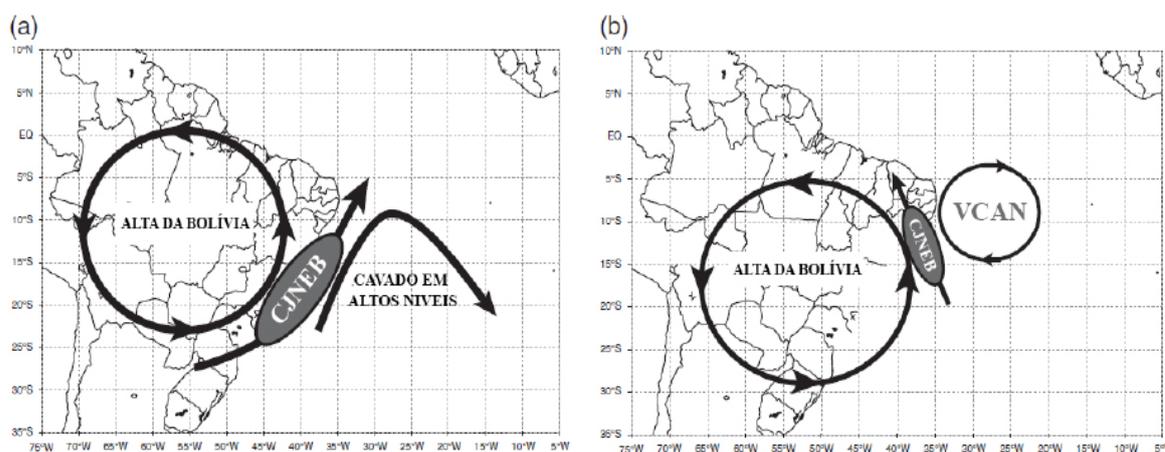
Para identificar as CJNEB foram executados mapas de linha de corrente e magnitude do vento em 200 hPa derivados dos dados de reanálise NCEP/NOAA/NCAR através das componentes zonal (u) e meridional (v).

4.4.2 Tipos das CJNEB e sistemas sinóticos associados

Os eventos identificados foram divididos em três tipos com base na direção da corrente de jato e sistemas de escala sinótica associados em altos níveis (Fedorova et al, 2018).

Tipo 1 – A CJNEB possui corrente de ar oriundas do sul e possui dois subtipos: entre a AB e um CAN (figura 9a) e entre a AB e um VCAN (figura 9b), ambos sobre o Oceano Atlântico. Eles são semelhantes em seu estágio de desenvolvimento, pois o primeiro estágio de formação de um VCAN é o Cavado em Altos Níveis.

Figura 9 - Localização da CJNEB tipo 1.

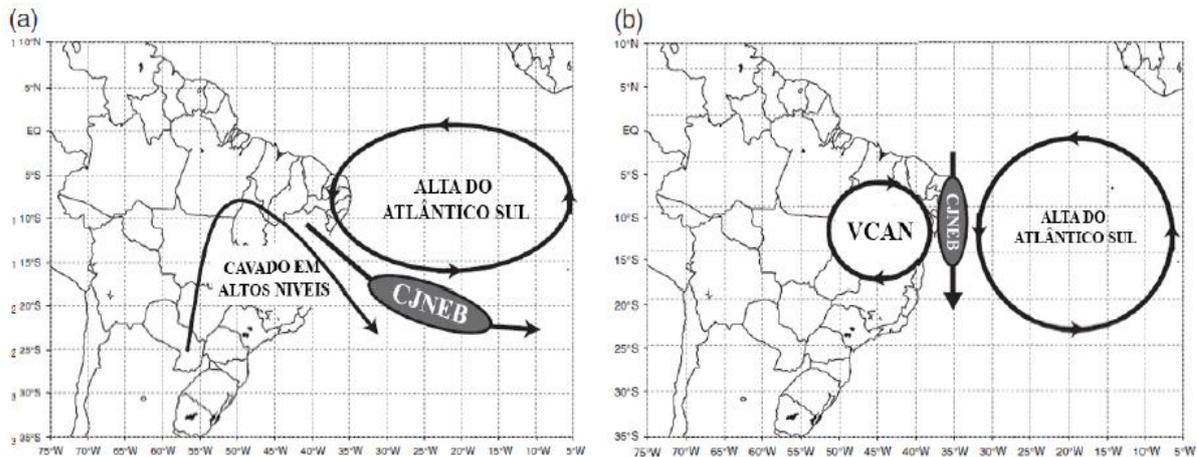


Fonte: Adaptado de Fedorova et al., 2018.

Tipo 2 – Os fluxos de jato dessa configuração têm direções originadas de Norte e também possui dois subtipos: entre um CAN e a Alta do Atlântico Sul (figura 10a) e entre um VCAN e a Alta do Atlântico Sul (figura 10b). A posição da CJNEB pode variar de acordo com a localização dos sistemas sinóticos. Se estiverem alinhados na mesma latitude o fluxo de jato surge de norte.

Porém, se a Alta do Atlântico Sul estiver mais ao norte do que o CAN o fluxo de jato surge de noroeste.

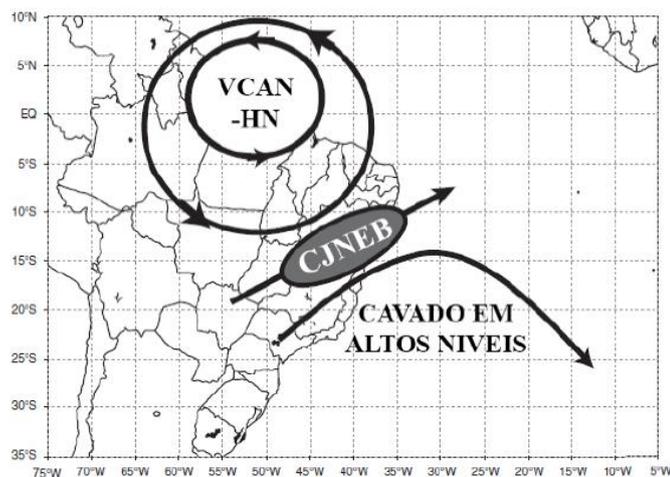
Figura 10 - Localização da CJNEB tipo 2.



Fonte: Adaptado de Fedorova et al., 2018.

Tipo 3 – A CJNEB está localizada entre um VCAN no HN e um CAN no HS. Porém, a posição da corrente pode variar de acordo com a localização dos sistemas. Se o VCAN do HN estiver no continente e o CAN sobre o Oceano Atlântico, a corrente será sudoeste. Se o VCAN do HN estiver sobre o oceano e o CAN sobre o continente, a corrente será de oeste (figura 11).

Figura 11 - Localização da CJNEB tipo 3.



Fonte: Adaptado de Fedorova et al., 2018.

4.4.3 Identificação das Zonas Frontais

Para identificar as zonas frontais é preciso analisar simultaneamente vários campos de elementos meteorológicos em conjunto com as imagens de satélite.

Nas regiões extratropicais são utilizadas as seguintes características, descritas a seguir com base em diversas informações (Petterssen (1956), Bluestein (1993), Djuric (1994), Fedorova (1999), Fedorova e Carvalho (2000)):

Nos mapas de pressão ao nível médio da superfície e vorticidade ciclônica em 1000 hPa é identificado o cavado do ciclone baroclínico, pois cada frente está associada com um cavado. Nas linhas de corrente é percebido uma zona de confluência ao longo do cavado bórico. No geopotencial relativo ou espessura da camada é possível verificar uma região com gradiente evidente. Na advecção de temperatura, a zona frontal está entre a advecção fria e a advecção quente. Já nas imagens de satélite, as zonas frontais ficam visíveis devido a nebulosidade e dependendo do tipo de nuvem é identificado o tipo de frente.

Já nas regiões tropicais é utilizado o seguinte método de identificação das zonas frontais, que foi estabelecido para o NEB (Fedorova et al, 2016):

I - Identificar a existência do ciclone baroclínico no oceano Atlântico (10-40°S e 10-40°W) pelos campos de pressão no nível de 1000 hPa e zona com elevados gradientes de espessura na camada 1000-700 hPa dentro desta circulação ciclônica;

II - confirmar a existência de: 1) nebulosidade na forma de um vórtice ciclônico nas imagens de satélite no canal infravermelho na região do ciclone baroclínico; 2) banda de nebulosidade direcionada na direção do NEB e 3) confluência das linhas de corrente no nível de 850 hPa na região desta banda de nuvens (geralmente, a confluência é observada somente na região do oceano);

III - identificar a posição da zona frontal pelos gradientes elevados de θ_e dentro da banda de nebulosidade e na zona entre os valores positivos (na vanguarda, ou seja, ao norte da banda de nebulosidade) e negativos (na retaguarda, isto é, ao sul da banda de nuvens) de $\text{adv } \theta_e$.

4.4.4 Análise da Estrutura Espacial

Através dos dados de 2017 foram elaborados os campos meteorológicos (com os quatro horários sinóticos - 00, 06, 12 e 18 UTC) no software GrADS - Grids Analysis And Display System a partir das seguintes variáveis (Tabela 1):

Tabela 1 - Variáveis utilizadas para análise de CJNEB associados às Zonas Frontais.

VARIÁVEL	NÍVEL (hPa)		
	SUPERFÍCIE	500	200
PRESSÃO AO NÍVEL MÉDIO DO MAR (PNM)	X		
TEMPERATURA (T)	X		
VENTO ZONAL (u)	X	X	X
VENTO MERIDIONAL (v)	X	X	X

VARIÁVEL	NÍVEL (hPa)	
	(500 – 1000)	(200 – 500)
ESPESSURA DA CAMADA ($\delta\Phi$)	X	X

Fonte: Autor, 2021.

Linhas de Corrente (LC): é aquela na qual o vetor velocidade do vento lhe é tangente em cada ponto. As linhas de corrente caracterizam o deslocamento das diversas parcelas de ar em um mesmo período de tempo (Fedorova, 1999).

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

onde:

u = componente do vento zonal (m/s)

v = componente do vento meridional (m/s)

Temperatura Potencial equivalente (θ_e): é a temperatura que uma amostra de ar teria se fosse trazida adiabaticamente seca para o nível de 1000 hPa, depois de todo o vapor d'água ter sido condensado e o calor latente ter sido usado para o aquecimento do ar na pressão de 1000 hPa (Natalia, 2008). Segundo Bolton (1980):

$$\theta_e = T_K \left(\frac{1000}{p} \right)^{0,2854(1-0,28*10^{-8}r)} * \exp \left[\frac{3,376}{T_{iel}} - 0,00254r(1 + 0,81 * 10^{-3}r) \right] \quad (II)$$

onde:

θ_e = temperatura potencial equivalente (K);

T_K = temperatura Absoluta(K);

r = razão de mistura (g/kg);

T_{lel} = temperatura absoluta no nível de condensação por levantamento (°K), calculada pela expressão:

$$T_{lel} = \frac{1}{\frac{1}{T_d - 56} + \frac{\ln(T_k - T_d)}{800}} + 56 \quad (\text{III})$$

Advecção de Temperatura Potencial Equivalente ($A\theta_e$):

$$A\theta_e = -V_g * \nabla_H \theta_e = -\left(u \frac{\partial \theta_e}{\partial x} + v \frac{\partial \theta_e}{\partial y}\right) \quad (\text{IV})$$

onde:

$A\theta_e$ = Advecção de temperatura potencial equivalente (K/s);

T_d = temperatura do ponto de orvalho;

u = componente do vento zonal (m/s);

v = componente do vento meridional (m/s).

Vorticidade relativa (ζ):

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

onde:

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

u = componente do vento zonal (m/s)

v = componente do vento meridional (m/s)

Espessura da Camada ($\delta\Phi$):

$$\delta\Phi = \Phi_1 - \Phi_0 - r * \ln\left(\frac{p_0}{p_1}\right) T \quad (\text{VI})$$

onde:

$\delta\Phi$ = espessura da camada (mgp)

Φ_1 = geopotencial no nível 1 (mgp)

Φ_0 = geopotencial no nível 0 (m_{gp})

r = constante dos gases para o ar seco (J/kg*k)

p_0 = pressão no nível 0 (Pa)

p_1 = pressão no nível 1(Pa)

5. RESULTADOS

5.1. IDENTIFICAÇÃO DAS ZONAS FRONTAIS

No ano de 2017, foram identificados 6 ciclones baroclínicos com zonas frontais que se formaram fora do NEB e se deslocou até o NEB (área de estudo). A análise desses ciclones com zonas frontais foram feitas desde a sua formação (início) até a sua dissipação (final), como também a sua duração conforme a Tabela 2:

Tabela 2 - Zonas Frontais que atingiram o NEB e sua duração durante o ano de 2017.

	INÍCIO	FIM	DURAÇÃO
1	28/03/2017	03/04/2017	7 DIAS
2	16/05/2017	22/05/2017	7 DIAS
3	01/07/2017	06/07/2017	6 DIAS
4	31/08/2017	04/09/2017	5 DIAS
5	31/10/2017	04/11/2017	5 DIAS
6	10/11/2017	16/11/2017	7 DIAS

Fonte: Autor, 2021.

5.2. IDENTIFICAÇÃO DAS CORRENTES DE JATO NO NEB E SUA LIGAÇÃO COM AS ZONAS FRONTAIS

Caso 1 (28/03/2017 à 03/04/2017)

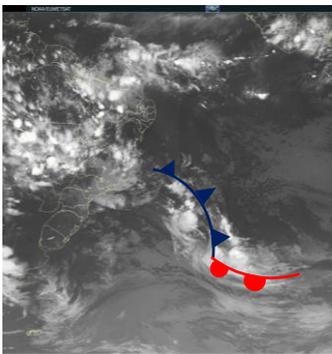
Neste caso, é possível observar na imagem de satélite um ciclone baroclínico em estágio jovem na latitude 20-30° Sul, no oceano Atlântico (Figura 12 A1). No decorrer dos dias, este ciclone se desenvolve até atingir seu desenvolvimento máximo criando uma zona frontal que atinge o NEB (Figura 12 D1). Já em altos níveis, nota-se a presença de uma crista ligada a AB (Alta da Bolívia), fator esse, importante para a formação do VCAN em latitudes tropicais. O CAN se desenvolve no Oceano Atlântico nas proximidades da costa da América do Sul formando um VCAN do tipo Palmer (Figura 12 B3) até o seu ciclo final (dissipação) no dia 01/04/2017. No dia 02/04/2017 às 00 UTC, quando a zona frontal atingiu NEB, nota-se a presença de um CAN estrito (Figura 12 E3). A CJNEB, neste caso, possui correntes de ar oriundas do sul e está localizada entre a AB e o VCAN caracterizando o TIPO 1-A. A zona frontal foi localizada no lado quente do eixo da CJNEB e foi associada à vanguarda da CAN.

Figura 12 - Imagem de Satélite IR e Pressão ao Nível Médio do Mar para identificação de Zona Frontal e Linhas de Corrente na altura 200hPa e Magnitude do Vento acima de 20 m/s para identificação da Corrente de Jato. (A1) Presença de ciclone baroclínico em estágio jovem. (A2) Linha azul: eixo da zona frontal. (A3) Seta lilás: CJ do HN, seta tracejada cinza: CJST do HS, seta tracejada azul clara: CJP do HS. (B3) Seta tracejada azul escuro: crista advinda da AB e Presença de VCAN tipo Palmer. (D1) Ciclone baroclínico em desenvolvimento máximo. (E3) Seta tracejada vermelha: CAN e seta preta: CJNEB do tipo 1-A.

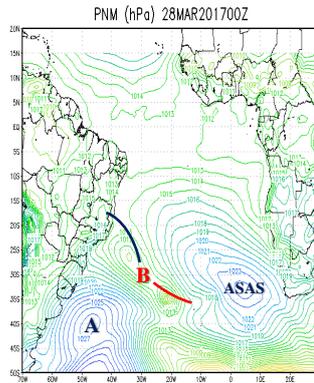
Imagem de Satélite IR
(GOES+METEOSAT)

Pressão ao Nível Médio do Mar

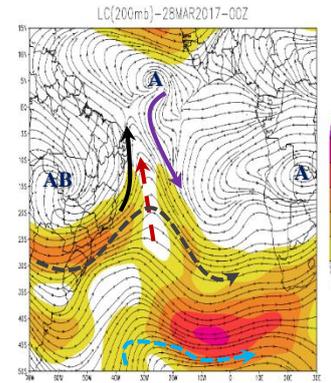
Linhas de Corrente (200mb)



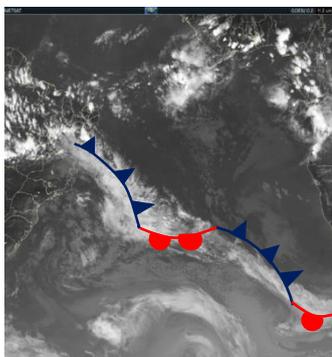
(A1)



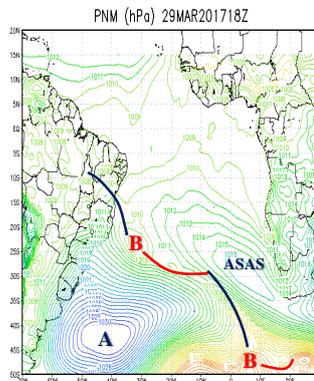
(A2)



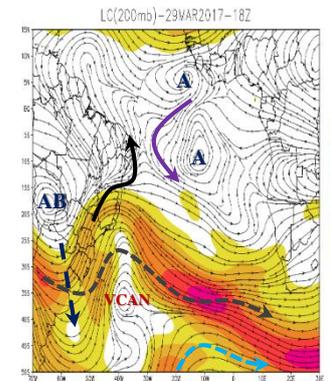
(A3)



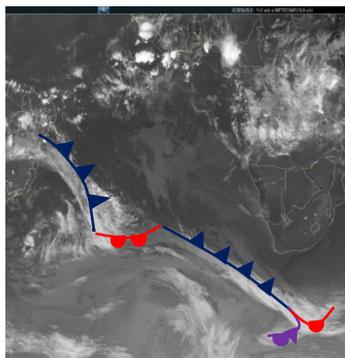
(B1)



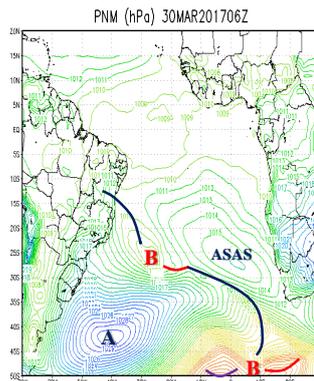
(B2)



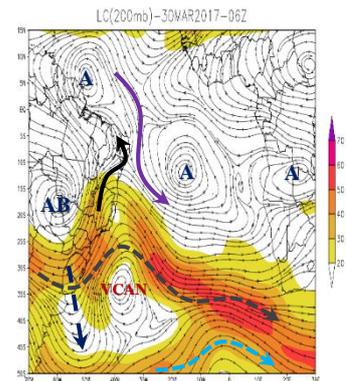
(B3)



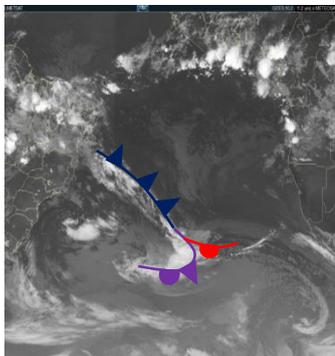
(C1)



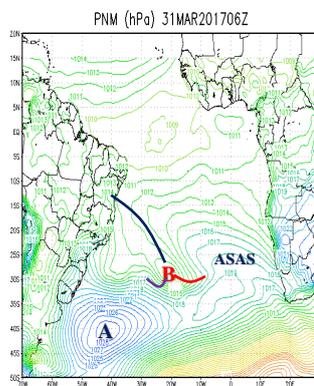
(C2)



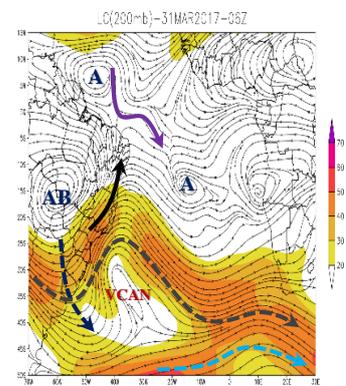
(C3)



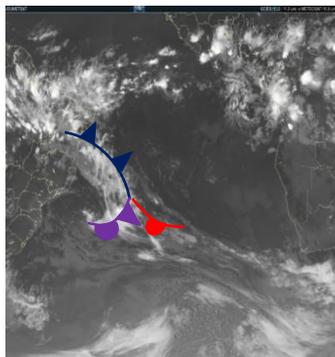
(D1)



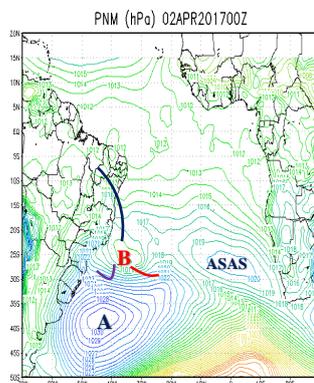
(D2)



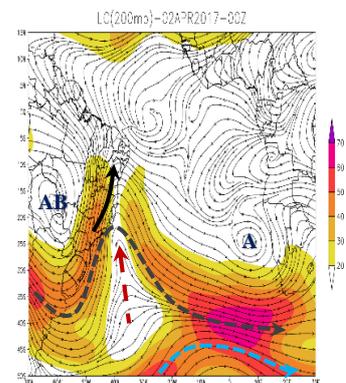
(D3)



(E1)



(E2)



(E3)

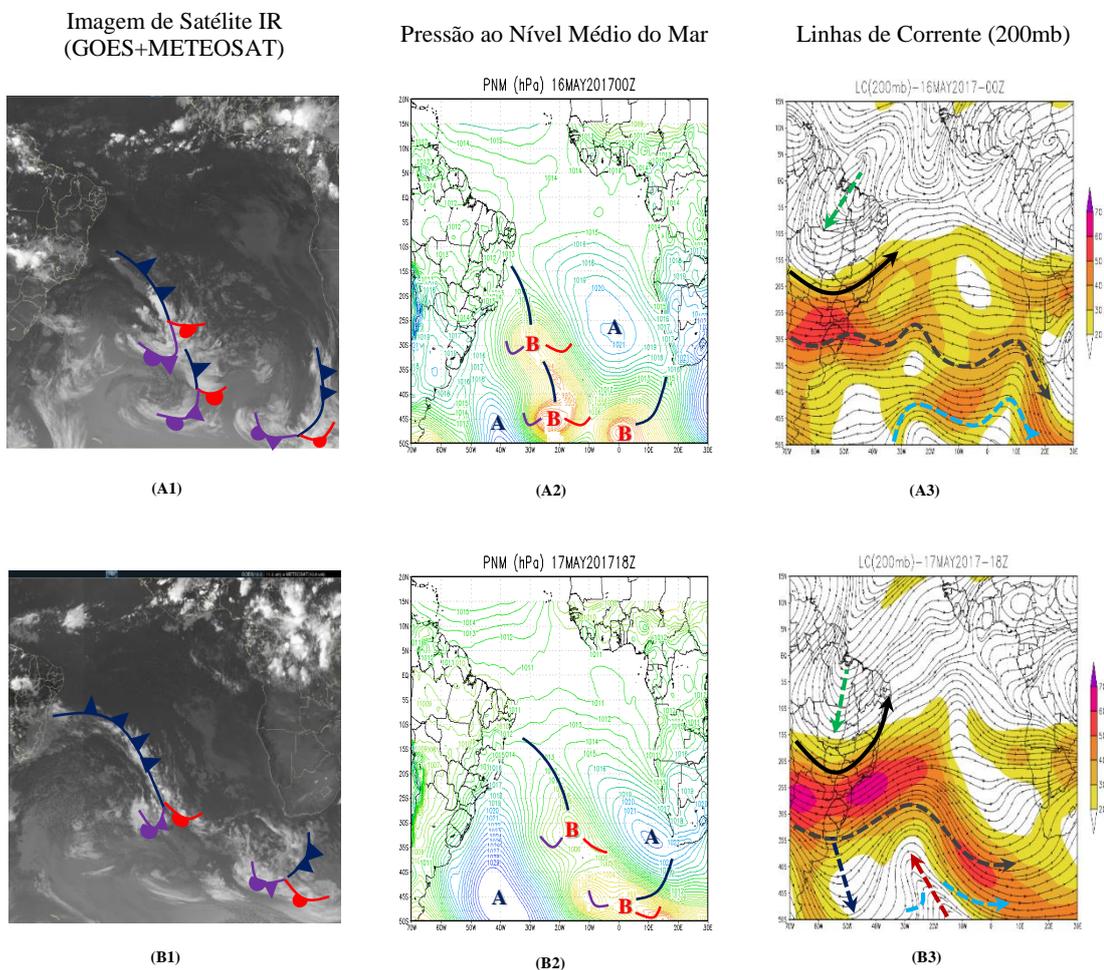
Fonte: Autor, 2021.

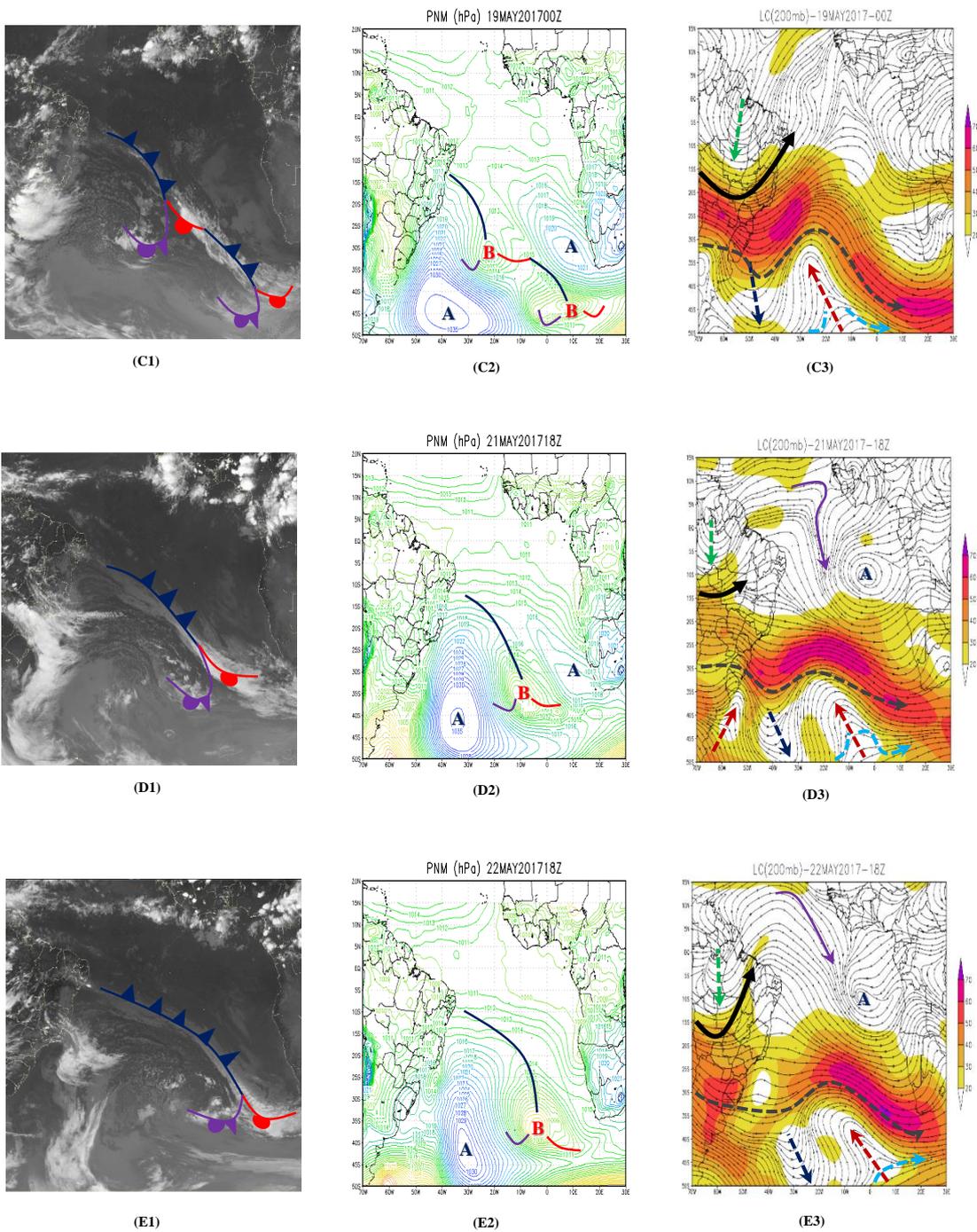
Caso 2 (16/05/2017 à 22/05/2017)

Neste caso, é possível observar na imagem de satélite dois ciclones baroclínicos em desenvolvimento máximo inicialmente entre as latitudes 45 e 50° Sul. Ao longo do eixo do cavado são formados dois centros de baixa pressão com ondas frontais, sendo o outro na latitude 30° Sul. Esta onda frontal gera a frente que, posteriormente, atinge o NEB (Figura 13 A1). Em altos níveis, nota-se um cavado no HS sobre Oceano Atlântico e uma crista nas correntes de ar

vindas do HN sobre oeste do NEB. Devido a essas correntes distintas é formada a CJNEB do TIPO 3 com direção bem meridional. A zona frontal foi associada com a vanguarda do CAN do HS, abaixo da CJNEB e sua extremidade frontal foi em relação à influência da crista formada pelas correntes vindas do HN.

Figura 13 - Imagem de Satélite IR e Pressão ao Nível Médio do Mar para identificação de Zona Frontal e Linhas de Corrente na altura 200hPa e Magnitude do Vento acima de 20 m/s para identificação da Corrente de Jato. (A1) Presença de ciclone baroclínico em desenvolvimento máximo. (A2) Presença de três baixas pressões. (C3) Seta tracejada verde: crista do HN, seta tracejada vermelha: CAN no HS, seta tracejada azul escuro: crista do HS, seta tracejada cinza: CJST do HS, seta tracejada azul claro: CJP do HS, seta preta: CJNEB tipo 3.





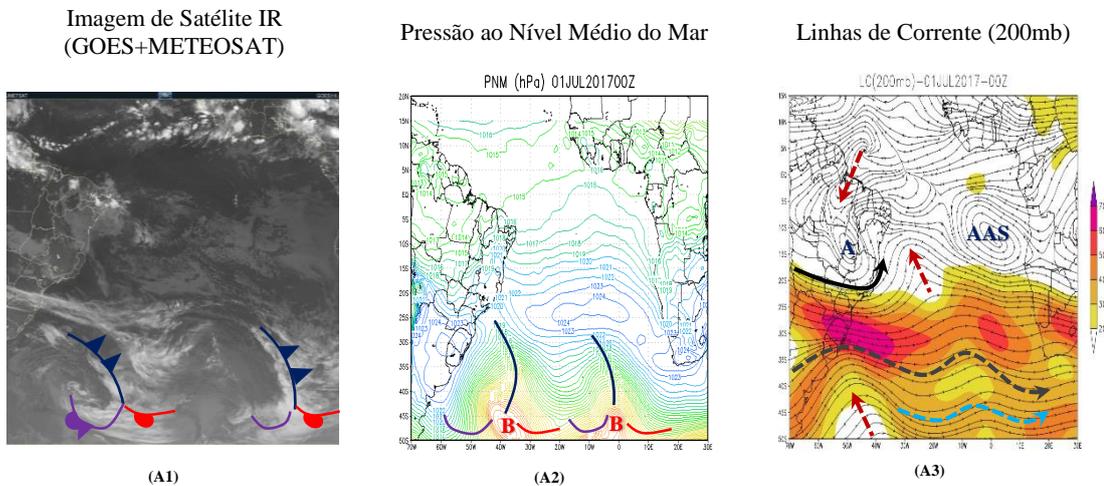
Fonte: Autor, 2021.

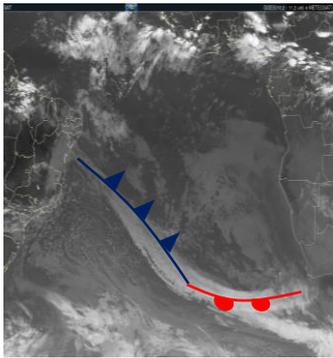
Caso 3: (01/07/2017 à 06/07/2017)

Neste caso, é possível observar na imagem de satélite e PNM dois ciclones baroclínicos em desenvolvimento máximo na latitude 45° Sul abaixo da corrente zonal (Figura 14 A1). No dia 01/07/2017 observa-se também a formação de um VCAN no HN (Figura 14 A3). A partir do dia 03/07/2017, a corrente de ar do HN entra no HS e se junta com CJST do HS e CJP do

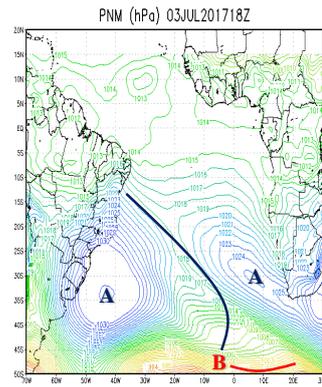
HS. No mesmo dia, um ciclone baroclínico se dissipa e o outro ciclone localizado ao oeste gera frente que atinge o NEB (Figura 14 B1). A zona frontal foi associada com o ramo da CJNEB vindo do HN (Figura 14 C3), como também foi localizada entre os dois anticiclones do Atlântico (Figura 14 C2). Apesar da existência dos cavados criados pelas correntes do HN e HS e também a formação de um VCAN no HN, a trajetória da CJNEB está associada ao cavado à oeste e a alta do atlântico sul (AAS) à leste por isso se caracteriza como TIPO 2-A. Somente na última figura (E3) a CJNEB assume característica do TIPO 3. Por fim, visto o enfraquecimento da corrente do HN e, sequencialmente a dissipação dos sistemas sinóticos os Jatos do HS retornam para o escoamento mais zonal.

Figura 14 - Imagem de Satélite IR e Pressão ao Nível Médio do Mar para identificação de Zona Frontal e Linhas de Corrente na altura 200hPa e Magnitude do Vento acima de 20 m/s para identificação da Corrente de Jato. (A1) Presença de dois ciclones baroclínicos em desenvolvimento máximo. (A3) CAN no HN (formação de VCAN). (B2) Presença de anticiclone profundo. (B3) Presença de VCAN no HN. (D3) Seta lilás: CJ do HN, seta tracejada cinza: CJTP no HS, seta tracejada azul claro: CJP no HS, seta tracejada vermelha: CAN no HN e HS, seta tracejada azul: crista no HS, seta preta: CJNEB tipo 2-A.

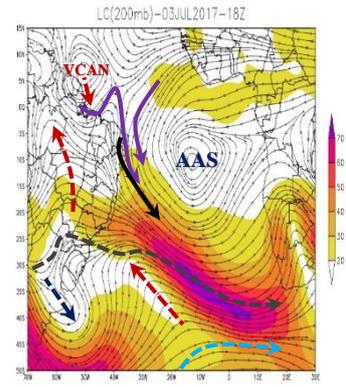




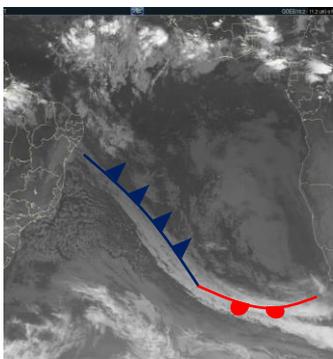
(B1)



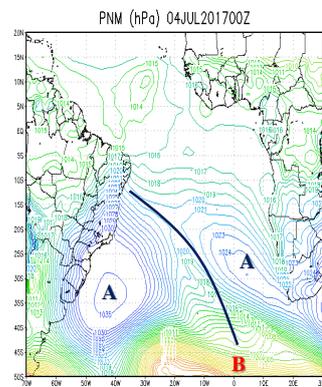
(B2)



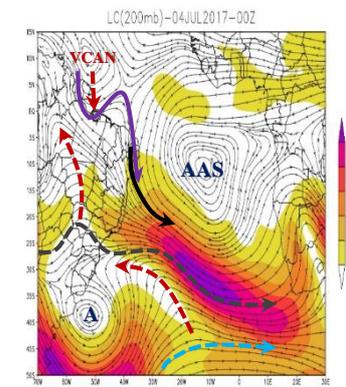
(B3)



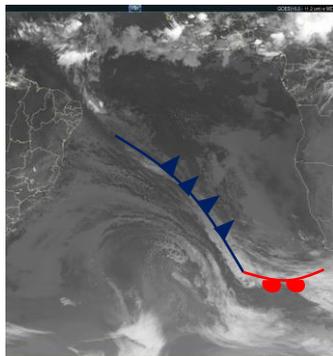
(C1)



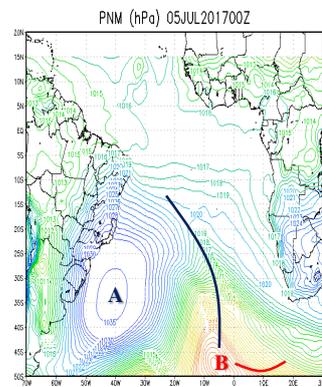
(C2)



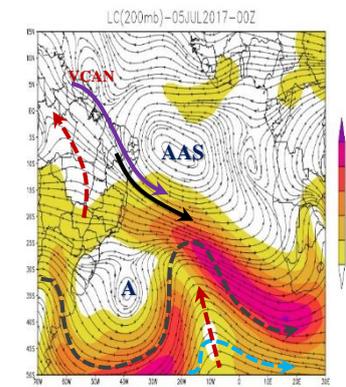
(C3)



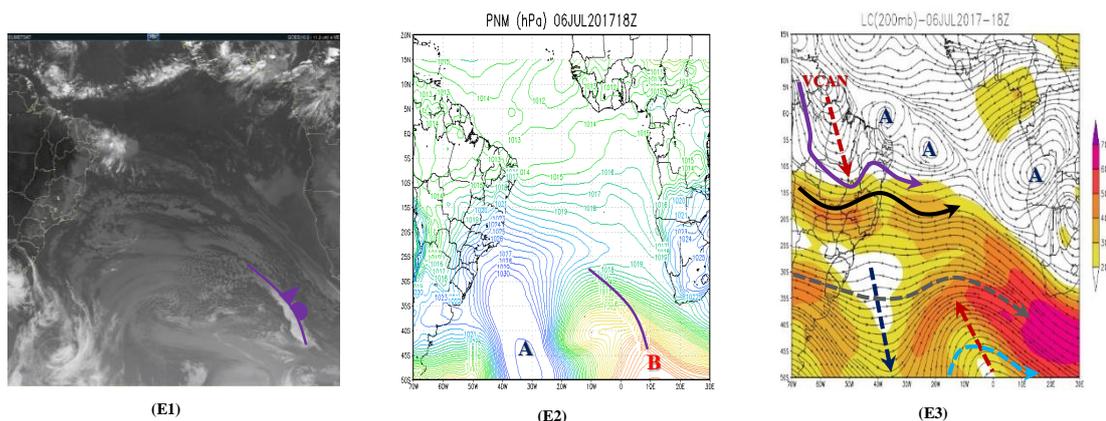
(D1)



(D2)



(D3)



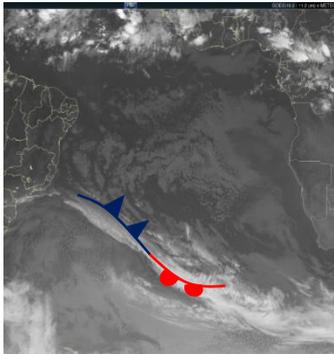
Fonte: Autor, 2021.

Caso 4: (31/08/2017 à 04/09/2017)

Neste caso é possível identificar um ciclone baroclínico em estágio de onda na latitude 40° Sul (Figura A1). No dia 02/09/2017 este ciclone se desenvolve para o estágio jovem e gera frente que atinge o NEB (Figura B1). No dia 04/09/2017 este ciclone está em estágio de desenvolvimento máximo (Figura E1). O descolamento da zona frontal para o NEB foi acompanhado com a formação e intensificação da corrente de ar advinda do HN. A zona frontal no NEB foi associada a CJNEB formada pelo acoplamento da corrente de ar do HN com CJST do HS. Este acoplamento intensificou o CAN e a zona frontal. No mapa de PNM nota-se um anticiclone pós frontal muito profundo em toda a troposfera com eixo quase vertical e sequencialmente quase estacionário durante todo processo na latitude de 30°S (Figura A2). Além disso, em altos níveis observa-se uma crista originada pela AB que ajudou na intensificação do cavado no Atlântico. Através deste cavado foi formado um VCAN do tipo Palmen e abaixo da vanguarda deste cavado está localizada a zona frontal no NEB. Devido às correntes no HS (com a presença de cavado e crista da AB) e correntes no HN, a CJNEB é caracterizada pelo TIPO 1-A.

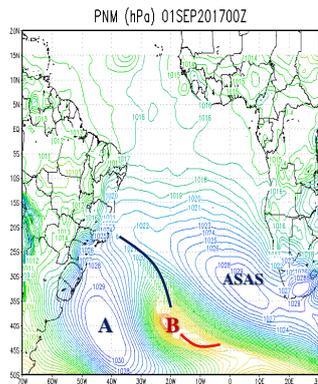
Figura 15 - Imagem de Satélite IR e Pressão ao Nível Médio do Mar para identificação de Zona Frontal e Linhas de Corrente na altura 200hPa e Magnitude do Vento acima de 20 m/s para identificação da Corrente de Jato. (A1) Presença de ciclone baroclínico em estágio de onda. (B1) ciclone baroclínico em estágio jovem. (B2) Presença de anticiclone profundo. (B3) Presença de Ciclone no HN e três Anticiclones no HS. (C3) Seta tracejada vermelha: presença de CAN no HS (início da formação de VCAN). (E1) Presença de ciclone baroclínico em desenvolvimento máximo. (E3) Presença da AB, seta lilás: CJ do HN, seta tracejada cinza: CJST do HS, seta tracejada azul claro: CJP do HS, seta preta: CJNEB do tipo 1-A, presença de VCAN do tipo Palmen.

Imagem de Satélite IR
(GOES+METEOSAT)



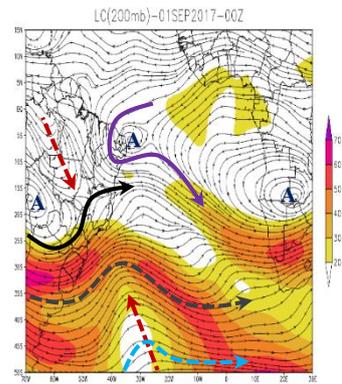
(A1)

Pressão ao Nível Médio do Mar

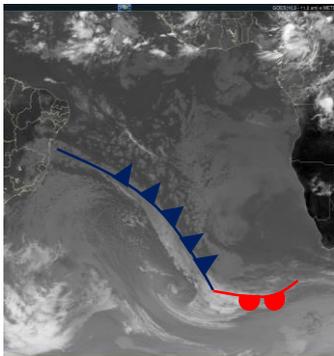


(A2)

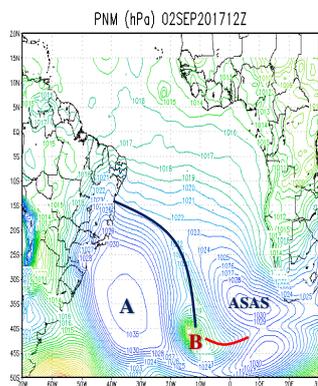
Linhas de Corrente (200mb)



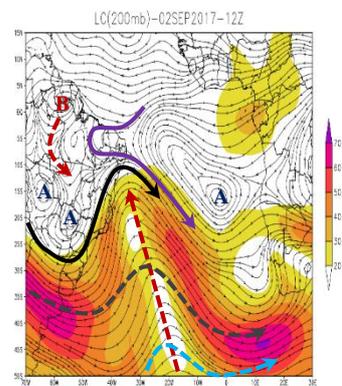
(A3)



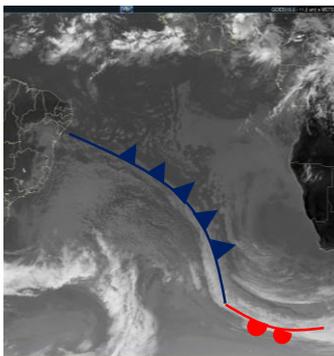
(B1)



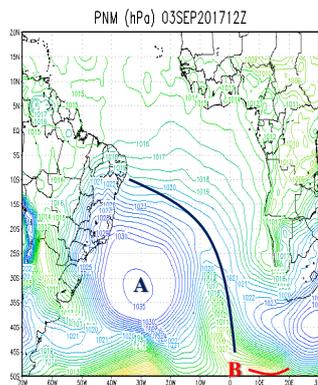
(B2)



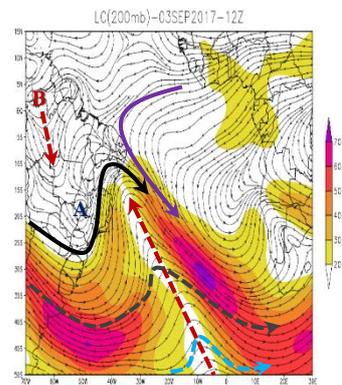
(B3)



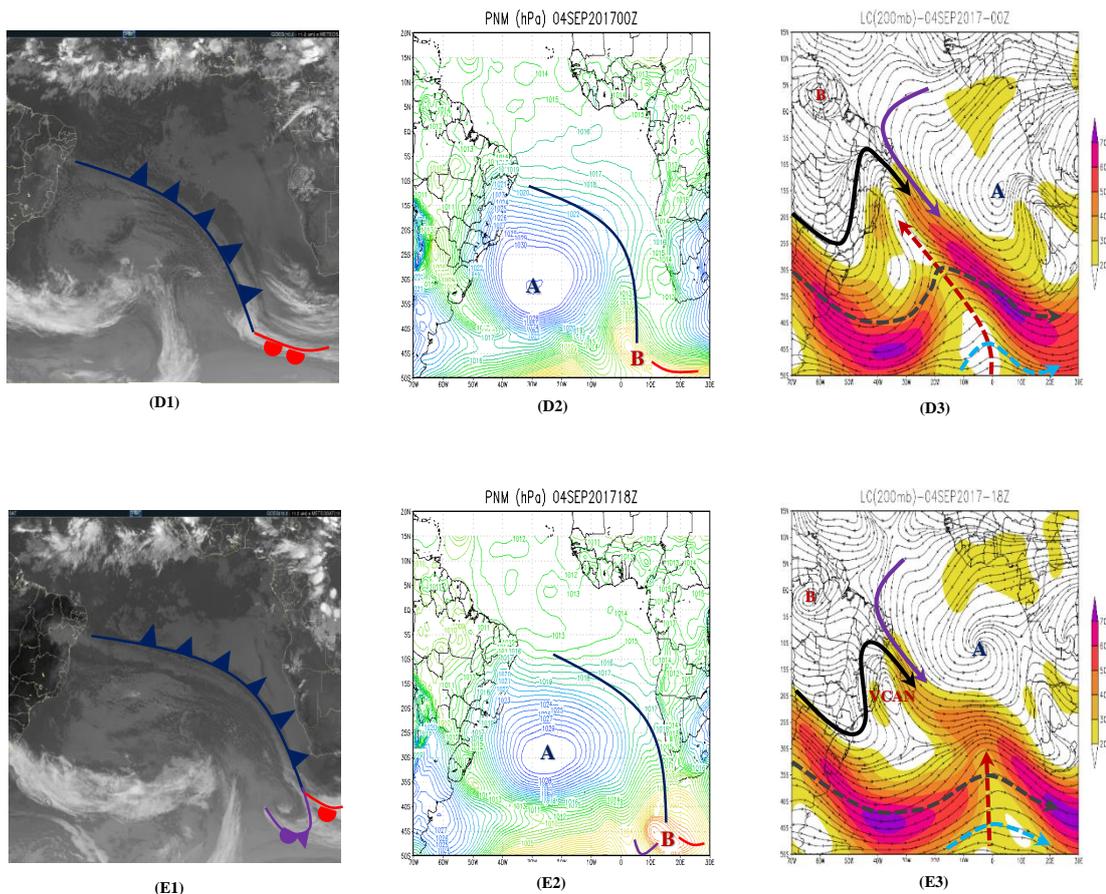
(C1)



(C2)



(C3)



Fonte: Autor, 2021.

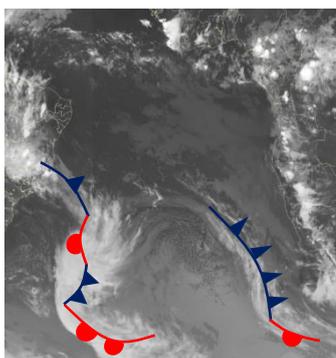
Caso 5: (31/10/2017 à 04/11/2017)

Neste caso é possível observar um ciclone baroclínico em estado jovem com dois centros nas latitudes 30 e 45° S e com zona frontal em direção ao NEB (Figura A1). No dia 01 de novembro de 2017, o ciclone se encontra em desenvolvimento máximo e a frente atinge o sul da Bahia (Figura B1). No dia 02 de novembro de 2017, o ciclone está em estágio de oclusão e a frente continua em direção do NEB. Já em altos níveis, nota-se a presença de uma crista ligada a AB (Alta da Bolívia), fator esse, importante para a formação do VCAN em latitudes tropicais. Este VCAN permaneceu no Estado do Pará durante 6 dias influenciando na trajetória dos Jatos de Altos Níveis (Figura A3). O centro deste VCAN foi localizado próximo do Equador que criou a circulação anticiclônica no HN e circulação ciclônica do HS (Figura D3). A corrente do HN foi criada no lado leste deste VCAN e sobre o NEB a corrente de ar atravessou a linha do Equador - do HS para HN - no lado oeste do VCAN. Devido a crista do VCAN está interligada com a AB, a CJNEB foi deslocada caracterizando-a TIPO 3.

Figura 16 - Imagem de Satélite IR e Pressão ao Nível Médio do Mar para identificação de Zona Frontal e Linhas de Corrente na altura 200hPa e Magnitude do Vento acima de 20 m/s para

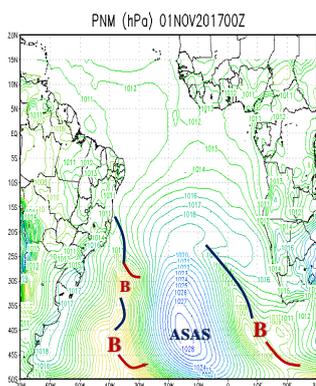
identificação da Corrente de Jato. (A1) Presença de ciclone baroclínico com dois centros. (A3) Seta lilás: corrente de ar do HN, presença de VCAN do tipo Palmer e AB. (D1) Zona frontal em deslocamento para o NEB. (E3) Seta tracejada vermelha: CAN no HS, seta tracejada cinza: CJST do HS, seta tracejada azul claro: CJP do HS, seta preta: CJNEB do tipo 3.

Imagem de Satélite IR
(GOES+METEOSAT)



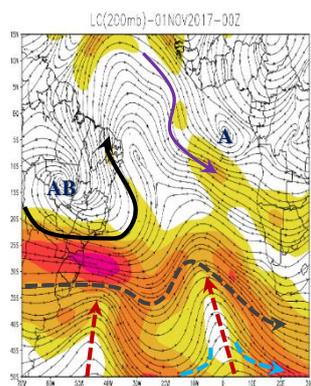
(A1)

Pressão ao Nível Médio do Mar

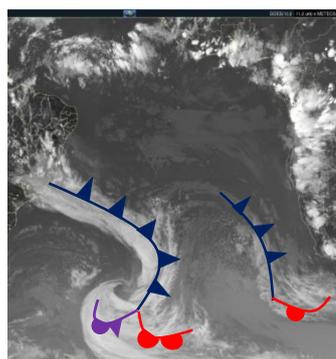


(A2)

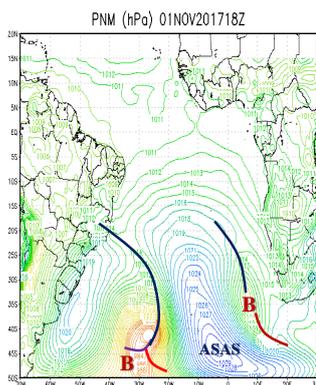
Linhas de Corrente (200mb)



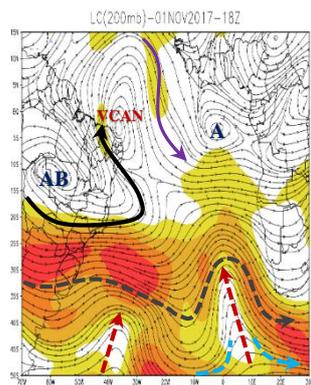
(A3)



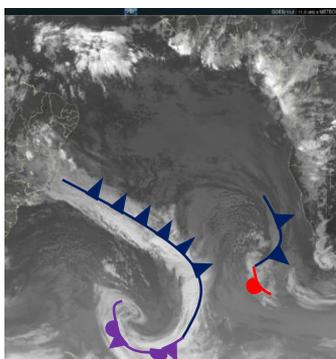
(B1)



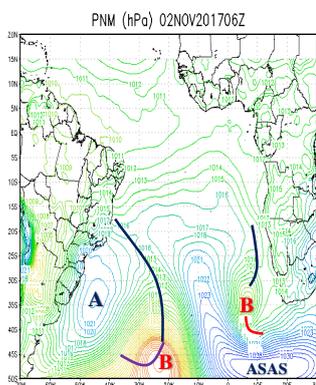
(B2)



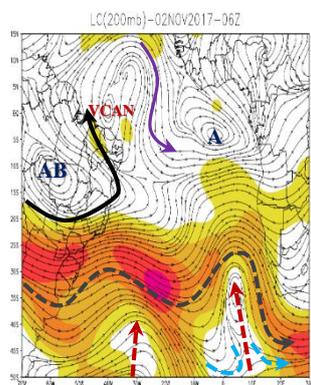
(B3)



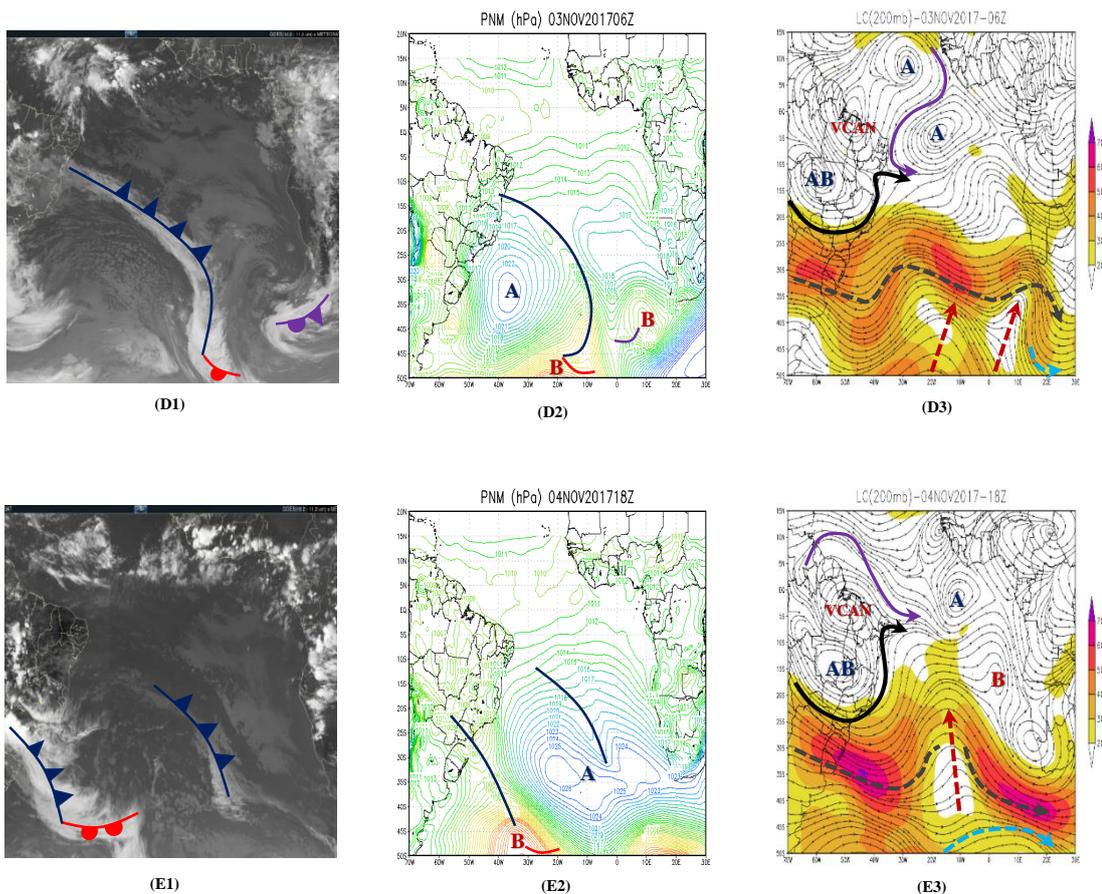
(C1)



(C2)



(C3)



Fonte: Autor, 2021.

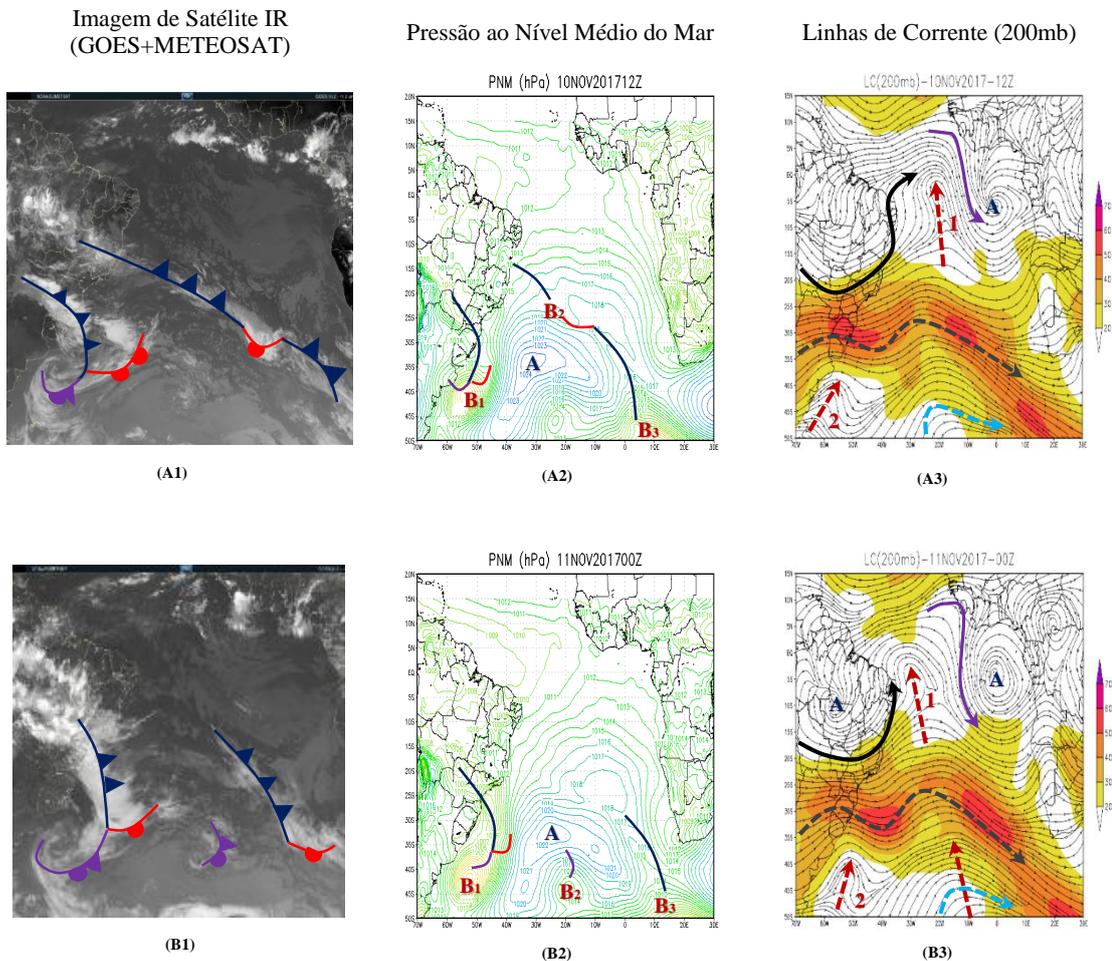
Caso 6: (10/11/2017 à 16/11/2017)

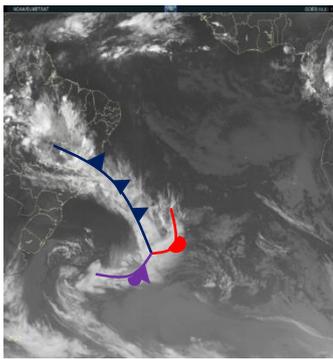
Neste caso é possível observar três centros de baixa pressão (Figura A2). O primeiro deles (B1) é um ciclone baroclínico em estágio de desenvolvimento máximo localizado na latitude 40° Sul que gerou frente no sul do Brasil e cresceu até em altos níveis. O terceiro ciclone (B3) está na latitude 50° Sul e criou, em baixos níveis, um cavado na direção do sul do NEB. No cavado deste ciclone foi formado mais um núcleo de baixa pressão (B2) na latitude 25° Sul. Com o passar dos dias, devido ao deslocamento do primeiro ciclone, a zona frontal gerada também é deslocada até atingir o NEB (Figura E1).

Já em altos níveis nota-se uma circulação anticiclônica no centro-norte do Brasil e dois cavados (1 e 2), os quais foram originados dos ciclones (B1 e B2) que atingiu até altos níveis (Figura A3). O cavado (1) criou uma corrente de ar do HS para HN sobre o NEB e na vanguarda do cavado (lado leste do cavado) a corrente de HN. Todos esses sistemas influenciam na

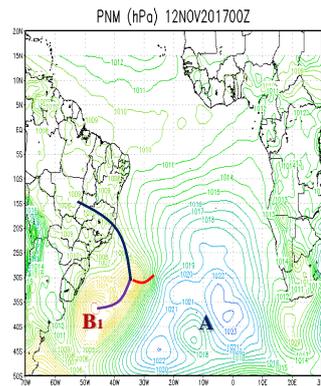
trajetória dos jatos em altos níveis fazendo com que esses jatos se desloquem para o NEB o que configura o CJNEB do TIPO 1-A.

Figura 17 - Imagem de Satélite IR e Pressão ao Nível Médio do Mar para identificação de Zona Frontal e Linhas de Corrente na altura 200hPa e Magnitude do Vento acima de 20 m/s para identificação da Corrente de Jato. (A2) Presença de três centros de baixa pressão e suas zonas frontais associadas. (B3) Circulação anticiclônica em altos níveis e CAN: seta tracejada vermelha. (D1 e E1) Deslocamento da zona frontal para o NEB. (E3) Seta preta: CJNEB do tipo 1-A, seta tracejada cinza: CJTP no HS, seta tracejada azul clara: CJP no HS.

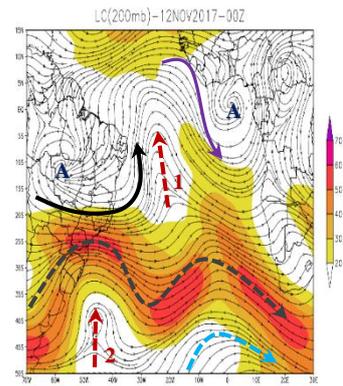




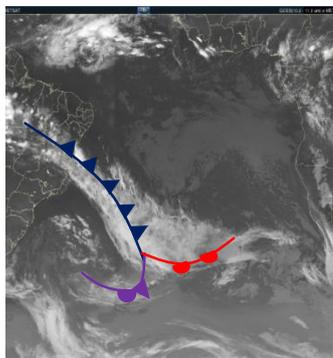
(C1)



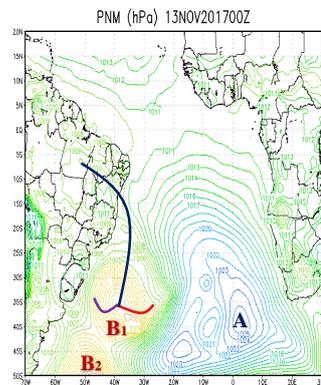
(C2)



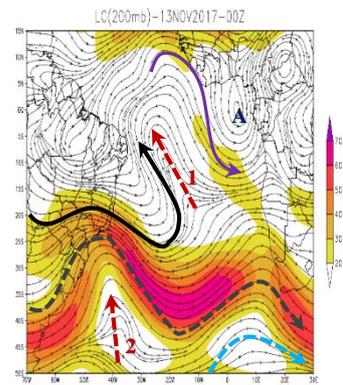
(C3)



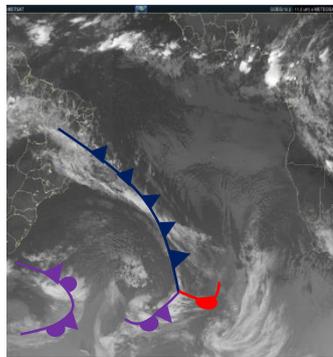
(D1)



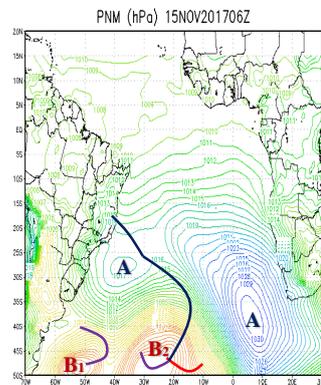
(D2)



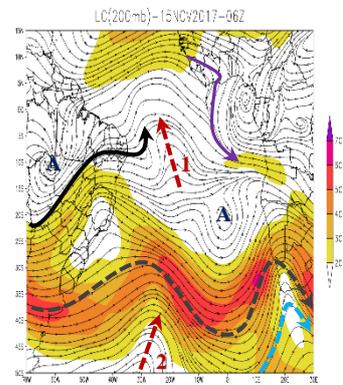
(D3)



(E1)



(E2)



(E3)

Fonte: Autor, 2021.

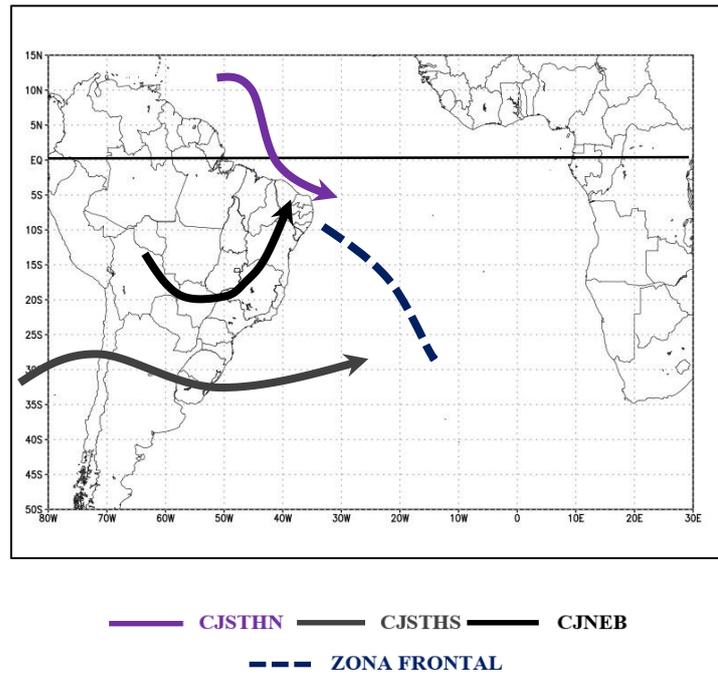
5.3. OS TIPOS DE LIGAÇÕES DAS CORRENTES DE JATO NO NEB COM AS ZONAS FRONTAIS

Após a análise dos 6 casos foi possível observar dois padrões de ligações das CJNEB com as Zonas Frontais. Estes padrões foram classificados de acordo com a direção da CJNEB e a sua interação com os sistemas atmosféricos.

5.3.1 CJNEB com direção Nordeste

Este tipo foi observado nos casos 1, 2, 4, 5 e 6, ou seja com mais frequência. A presença da CJST do HN e a CJST do HS determinam a posição da CJNEB na direção nordeste associada a zona frontal.

Figura 18 - Modelo conceitual das ligações entre as CJNEB com direção Nordeste e zona frontal.

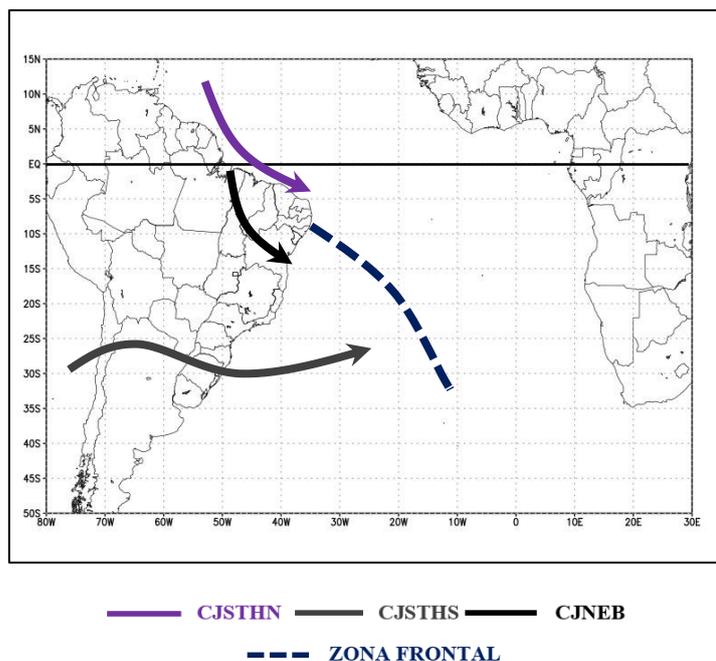


Fonte: Autor, 2021.

5.3.2 CJNEB com direção Sudeste

Este tipo foi observado somente no caso 3. A presença da CJST do HN e a CJST do HS determinou a direção da CJNEB na direção sudeste associada a zona frontal.

Figura 19 - Modelo conceitual das ligações entre as CJNEB com direção Sudeste e zona frontal.



Fonte: Autor, 2021.

5.4. FENÔMENOS ASSOCIADOS

5.4.1. Precipitação

Para a análise de fenômenos associados à CJNEB e Zonas Frontais foi possível observar dois comportamentos distintos de atividade convectiva. O primeiro grupo são os casos 1, 2 e 3 onde a maioria dos Estados do NEB tiveram um acumulado, durante o período da zona frontal, semelhante, com precipitação distribuída. Essa característica se destaca pois, os dois primeiros casos pertencem ao período de quadra chuvosa e o terceiro caso acontece durante o inverno.

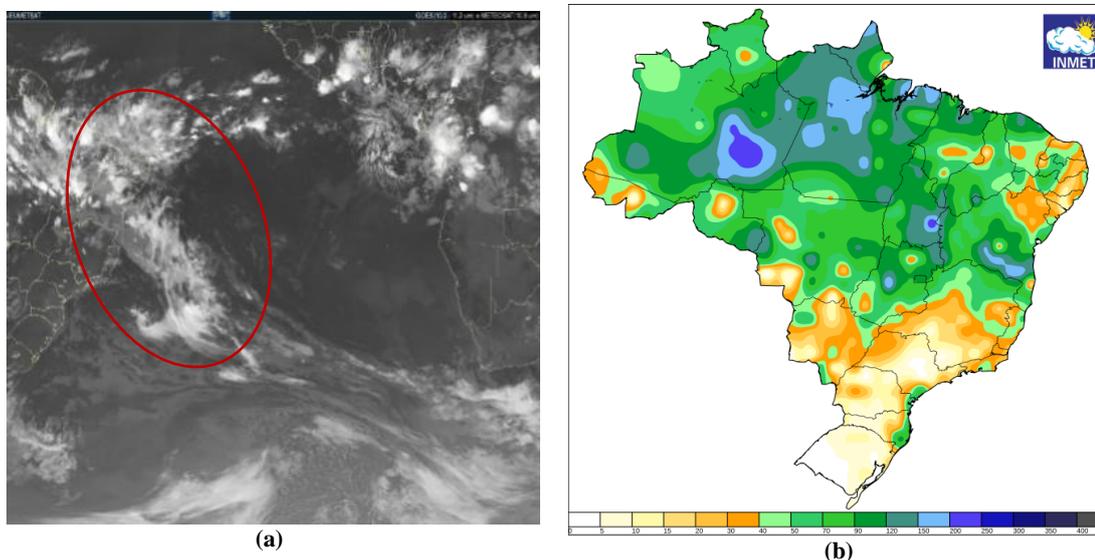
Para o Caso 1 (28/03/2017 a 03/04/2017) houve precipitação distribuída entre todos os Estados do NEB sendo maiores nas cidades de Salvador e Recife chegando a um acumulado de 88,0 mm (Salvador) e 66,8 mm (Recife) conforme tabela abaixo:

Tabela 3 - Precipitação acumulada para as capitais do NEB durante o caso 1.

DATA	SALVADOR BA	ARACAJU SE	MACEIÓ AL	RECIFE PE	JOÃO PESSOA PB	NATAL RN	SÃO LUIS MA	TERESINA PI
28/03	0	0	0	0	0	0,2	1,2	0
29/03	0	0	0	0	0	1,57	0,4	0
30/03	54,8	0	1,2	3,6	4,8	7,44	3,6	0,2
31/03	0,2	0	1,4	1,6	2,0	3,37	1,6	23,0
01/04	0,4	0	0,8	0	11,0	6,3	18,4	16,8
02/04	10,4	18,6	13,4	60,8	43,8	2,75	30,8	7,0
03/04	22,2	41,4	21,0	0,8	0,8	0,59	5,6	2,4
TOTAL	88,0	60,0	37,8	66,8	62,4	22,22	61,6	49,4

Fonte: Autor, 2021.

Figura 20 - Imagem de satélite IR e Mapas de dados de precipitação acumulada obtidos no INMET. (a) Imagem de satélite IR do dia 02 de abril de 2017 às 00h. (b) Caso 1: com precipitação acumulada do dia 28 de março ao dia 03 de abril de 2017.



Fonte: CPTEC/INPE e INMET, 2017.

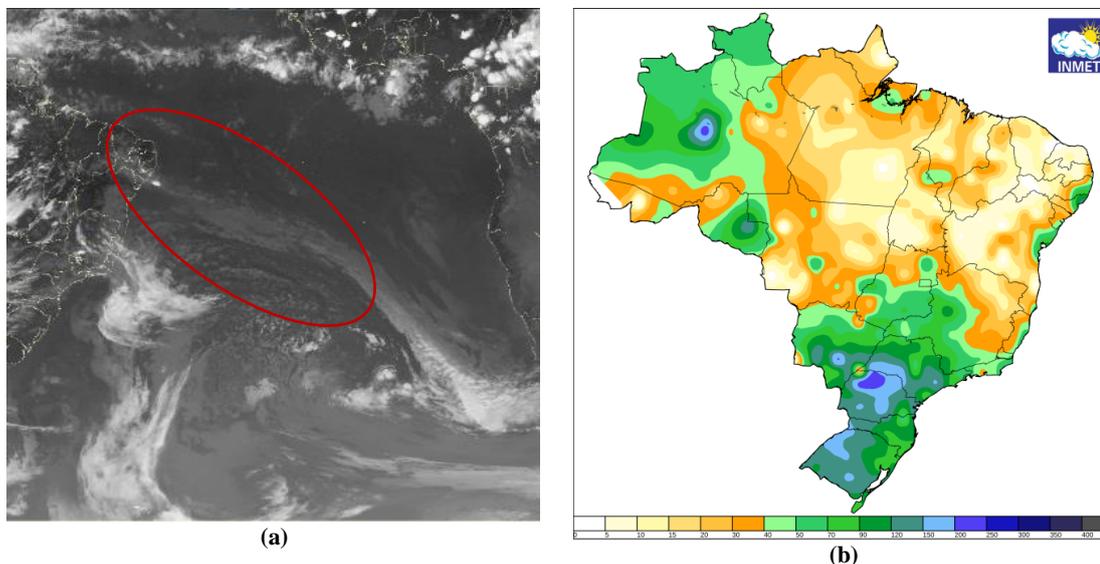
Para o Caso 2 (16/05/2017 a 22/05/2017) as capitais Salvador, Aracaju e Maceió tiveram precipitações intensas devido a posição da zona frontal. Maceió atingiu 114,0 mm de chuvas. Já os Estados próximos da latitude 5° Sul, a precipitação foi baixa chegando a um acumulado de 5,2 mm (Natal).

Tabela 4 - Precipitação acumulada para as capitais do NEB durante o caso 2.

DATA	SALVADOR BA	ARACAJU SE	MACEIÓ AL	RECIFE PE	JOÃO PESSOA PB	NATAL RN	SÃO LUIS MA	TERESINA PI
16/05	0	0	0	0	0	0	0	0
17/05	60,8	0	0	0,2	0	2,2	0,2	0
18/05	9,0	22,8	6,2	0	0,8	1,4	9,2	0
19/05	14,6	75,2	0	1,2	1,0	0	10,6	0
20/05	7,8	1,6	8,6	15,4	70,4	0,2	0,6	17,4
21/05	0	0,2	54,2	7,8	0,2	0	0	0
22/05	11,0	0	45,0	12,8	14,0	1,4	0	0,2
TOTAL	103,2	99,8	114,0	37,4	86,4	5,2	20,6	17,6

Fonte: Autor, 2021.

Figura 21 - Imagem de satélite IR e Mapas de dados de precipitação acumulada obtidos no INMET. (a) Imagem de satélite IR do dia 22 de maio de 2017 às 18h. (b) Caso 2: com precipitação acumulada do dia 16 a 22 de maio de 2017.



Fonte: CPTEC/INPE e INMET, 2017.

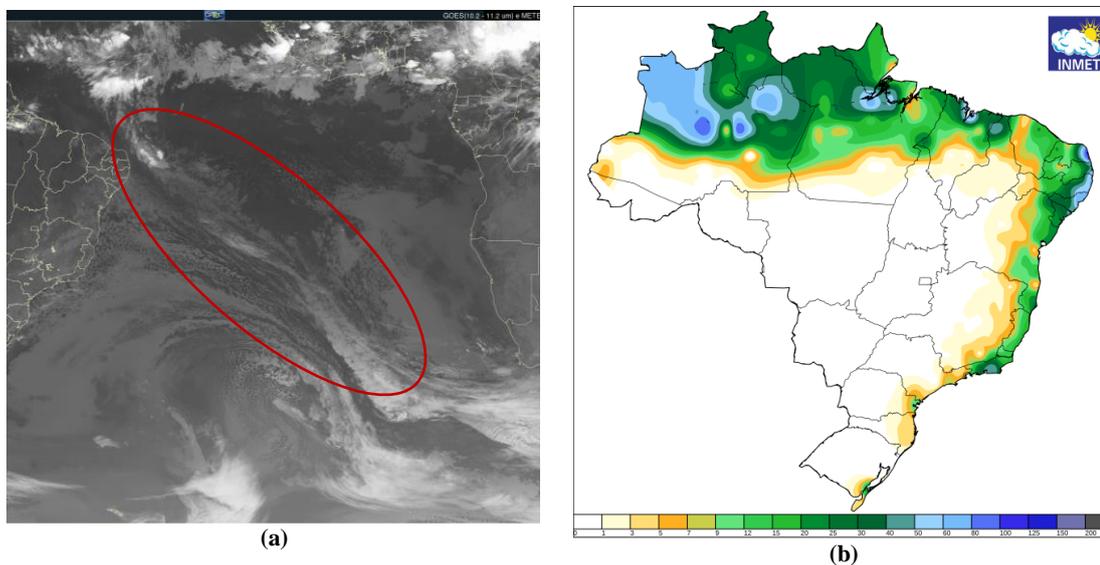
Para o Caso 3 (01/07/2017 a 06/07/2017) houve precipitação significativa na maioria dos Estados do NEB, haja vista que esse caso ocorre no mês de julho. A cidade de Natal atingiu um acumulado de 190,4 mm e Maceió 129,0 mm de chuvas. É possível observar que a zona frontal não atinge de forma direta os Estado de Salvador e Aracaju, por isso as precipitações foram fracas.

Tabela 5 - Precipitação acumulada para as capitais do NEB durante o caso 3.

DATA	SALVADOR BA	ARACAJU SE	MACEIÓ AL	RECIFE PE	JOÃO PESSOA PB	NATAL RN	SÃO LUIS MA	TERESINA PI
01/07	0	3,4	69,2	33,4	55,8	66,0	9,8	1,0
02/07	1,0	3,8	5,6	1,0	0	0,2	26,4	22,6
03/07	26,8	3,8	11,8	10,0	4,6	0	33,6	0,8
04/07	2,4	2	17,4	8,2	2,4	0	7,4	0
05/07	2,2	1,8	21,2	24,4	7,8	0,2	0	0
06/07	7,0	2,6	3,8	23,0	40,8	124,0	2,2	0
TOTAL	39,4	17,4	129,0	100,0	111,4	190,4	79,4	24,4

Fonte: Autor, 2021.

Figura 22 - Imagem de satélite IR e Mapas de dados de precipitação acumulada obtidos no INMET. (a) Imagem de satélite IR do dia 05 de julho de 2017 às 00h. (b) Caso 3: com precipitação acumulada do dia 01 a 06 de julho de 2017.



Fonte: CPTEC/INPE e INMET, 2017.

Já o segundo grupo, os quais pertencem os casos 4, 5 e 6, tiveram comportamentos semelhantes devido ao baixo acumulado de precipitação pois ocorreram entre os meses de setembro e novembro onde há pouca atividade convectiva, mais conhecido como período seco.

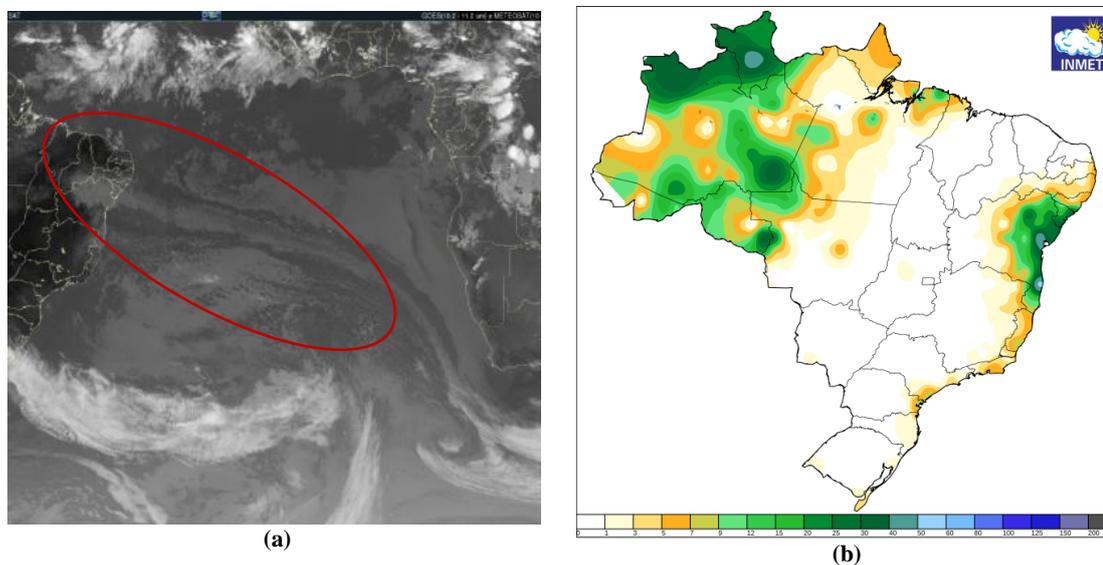
Para o Caso 4 (31/08/2017 a 04/09/2017) é notório a posição da zona frontal na cidade de Salvador provocando um acumulado de chuvas de 65,2 mm. Nas outras capitais foram mínimas ou não tiveram precipitações como Natal, São Luis e Teresina.

Tabela 6 - Precipitação acumulada para as capitais do NEB durante o caso 4.

DATA	SALVADOR BA	ARACAJU SE	MACEIÓ AL	RECIFE PE	JOÃO PESSOA PB	NATAL RN	SÃO LUIS MA	TERESINA PI
31/08	0	0	0	0,2	0	0	0	0
01/09	0	1,4	0,2	0	0	0	0	0
02/09	2,4	0,2	2,0	0,4	0	0	0	0
03/09	43,8	2,6	7,0	7,4	5,0	0	0	0
04/09	19,0	5,4	1,6	1,6	0,8	0	0	0
TOTAL	65,2	9,6	10,8	9,6	5,8	0	0	0

Fonte: Autor, 2021.

Figura 23 - Imagem de satélite IR e Mapas de dados de precipitação acumulada obtidos no INMET. (a) Imagem de satélite IR do dia 04 de setembro de 2017 às 18h. (b) Caso 4: com precipitação acumulada do dia 31 de agosto a 04 de setembro de 2017.



Fonte: CPTEC/INPE e INMET, 2017.

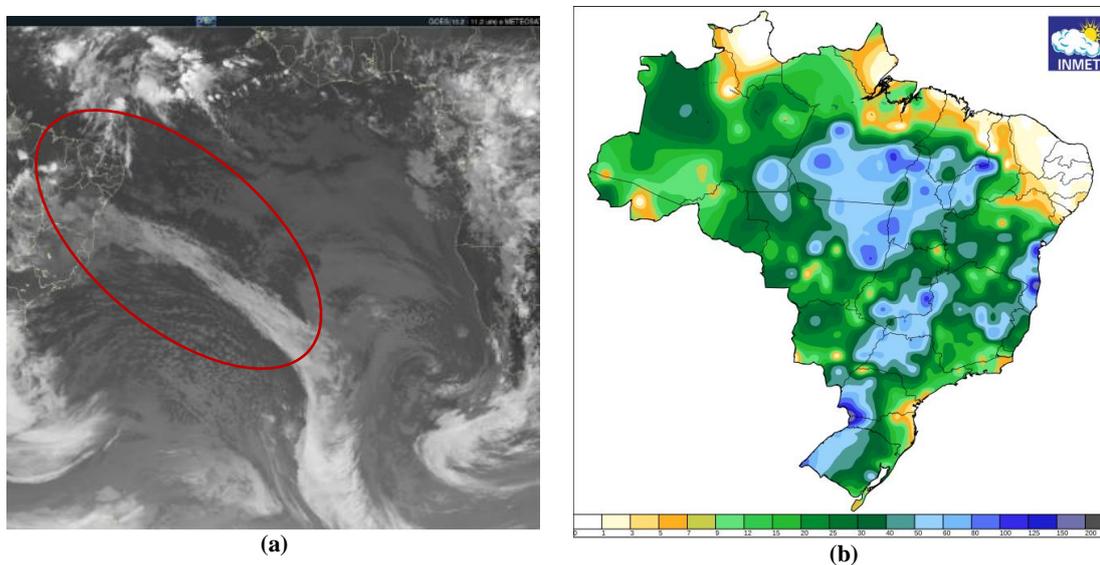
Para o Caso 5 (31/10/2017 a 04/11/2017) a zona frontal atingiu fortemente a cidade de Salvador por isso o acumulado durante a passagem da frente é de 67,2 mm. Já as outras capitais tiveram precipitações mínimas.

Tabela 7 - Precipitação acumulada para as capitais do NEB durante o caso 5.

DATA	SALVADOR BA	ARACAJU SE	MACEIÓ AL	RECIFE PE	JOÃO PESSOA PB	NATAL RN	SÃO LUIS MA	TERESINA PI
31/10	0	0	2,8	0	0	0	0	0
01/11	0	0	0	0	0	0	0,8	0
02/11	9,2	0	0,4	0	0,2	0	0	0
03/11	58,0	0,2	0	0	0	0	0	0
04/11	0	0,2	1,2	0	0,2	0	0	0
TOTAL	67,2	0,4	4,4	0	0,4	0	0,8	0

Fonte: Autor, 2021.

Figura 24 - Imagem de satélite IR e Mapas de dados de precipitação acumulada obtidos no INMET. (a) Imagem de satélite IR do dia 03 de novembro de 2017 às 06h. (b) Caso 5: com precipitação acumulada do dia 31 de outubro a 04 de novembro de 2017.



Fonte: CPTEC/INPE e INMET, 2017.

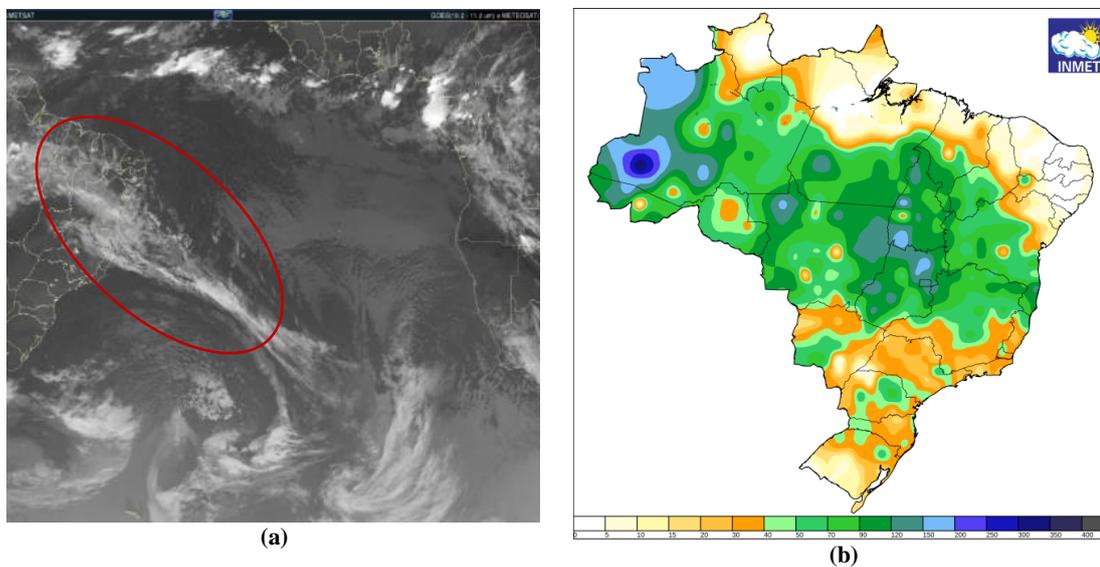
Para o caso 6 (10/11/2017 a 16/11/2017) a zona frontal atingiu uma parte dos Estados do Sudeste e Sul da Bahia. Este caso teve o mais baixo índice de precipitação dentre todos os outros.

Tabela 8 - Precipitação acumulada para as capitais do NEB durante o caso 6.

DATA	SALVADOR BA	ARACAJU SE	MACEIÓ AL	RECIFE PE	JOÃO PESSOA PB	NATAL RN	SÃO LUIS MA	TERESINA PI
10/11	1,0	0	0	1,0	0	0	0	0
11/11	0	0	0	0	0,2	0	0	0
12/11	0	0	0	0	1,2	0	0	0
13/11	0	0	0	0	0	0	0	0
14/11	1,2	0	0	0	0	0,8	0	0
15/11	2,4	0,8	0,4	3,8	0	0,2	0	0
16/11	0,4	0,8	0	0,6	0	0	0	1,4
TOTAL	5,0	1,6	0,4	5,4	1,4	1,0	0	1,4

Fonte: Autor, 2021.

Figura 25 - Imagem de satélite IR e Mapas de dados de precipitação acumulada obtidos no INMET. (a) Imagem de satélite IR do dia 15 de novembro de 2017 às 06h. (b) Caso 6: com precipitação acumulada do dia 10 a 16 de novembro de 2017.



Fonte: CPTEC/INPE e INMET, 2017.

Tabela 9 - Precipitação acumulada por caso.

CASO	1	2	3	4	5	6
SALVADOR/BA	88,0	103,2	39,4	65,2	67,2	5,0
ARACAJU/SE	60,0	99,8	17,4	9,6	0,4	1,6
MACEIÓ/AL	37,8	114,0	129,0	10,8	4,4	0,4
RECIFE/PE	66,8	37,4	100,0	9,6	0	5,4
JOÃO PESSOA/PB	62,4	86,4	111,4	5,8	0,4	1,4
NATAL/RN	22,22	5,2	190,4	0	0	1,0
SÃO LUIS/MA	61,6	20,6	79,4	0	0,8	0
TERESINA/PI	49,4	17,6	24,4	0	0	1,4
TOTAL	448,22	484,2	691,4	101,0	73,2	16,2

Fonte: Autor, 2021.

6. CONCLUSÕES

Neste trabalho foram identificados 6 casos de zonas frontais associadas à CJNEB durante o ano de 2017. Dentre estes, 2 casos ocorreram na primavera (casos 5 e 6), 2 casos no outono (casos 1 e 2) e 2 casos no inverno (casos 3 e 4). A duração dessas zonas frontais que atingiram o Nordeste brasileiro foram em média 7 dias, porém houve caso de 5 dias de duração.

Após a análise de todos os casos foi percebido que a zona frontal, ao atingir o NEB, sofre, em altos níveis, influência das correntes de jato de ambos os hemisférios. Essas correntes são a CJSTHS e CJSTHN e elas determinam a posição da CJNEB. Além disso, a zona frontal, em todos os casos, atinge primeiro o Estado da Bahia e, com o passar dos dias, vai progredindo mais ao norte, atingindo os outros Estados.

Em relação aos sistemas sinóticos, em todos os casos foram localizados cavados estritos do HS próximo ao NEB no Oceano Atlântico. Além disso, houve formação de VCAN em quatro casos (1, 3, 4 e 5) mas, somente nos casos 4 e 5 foram oriundos destes cavados estritos. No caso 5, neste cavado foi formado VCAN do tipo Palmer durante todo o processo. Já no caso 4, somente ao final do processo.

Em relação ao escoamento do ar na alta troposfera, em todos os casos no lado oeste do cavado foram identificadas as correntes de ar do HS e no lado leste do cavado, as correntes de ar do HN e devido à localização do eixo desses respectivos cavados foram vistas, sobre o NEB, ambas as correntes. Além disso, em todos os casos as correntes de jato subtropical (CJST) e corrente de jato polar (CJP) do HS foram acopladas próximo da região continental entre as latitudes de 30° Sul e 50° Sul.

De acordo com a classificação das CJNEB (Fedorova et al, 2018) no período do estudo, constatou-se três tipos, diferentes pela sua direção e sistemas sinóticos associados: Os tipos foram 1-A (casos 1, 4 e 6), 2-A (caso 3) e 3 (casos 2 e 5) ou seja, os tipos 1 e 3 foram mais frequentes.

Foram criados dois padrões de ligação entre a CJNEB e as zonas frontais: 1 (casos 1, 2, 4, 5 e 6) e 2 (caso 3). Este último se comportou de forma diferente, pois as correntes advindas do HN atuaram em ambos os lados da zona frontal. Já os outros casos seguiram o primeiro padrão onde as correntes do HN atuaram no lado leste e as correntes do HS atuaram no lado oeste da zona frontal.

Em todos os casos as precipitações foram registradas. Dentre todas as cidades observadas, São Luis/MA apresentou precipitações acumuladas mais fracas e, somente em dois casos (1 e 3), foram perto do 30 mm/24h. Na cidade de Teresina/PI não houve evento de precipitações intensas, ou seja, menores que 25 mm/24h. As precipitações maiores que 30 mm/24h foram mais frequentes nas cidades de Salvador/BA (em 5 casos) e João Pessoa/PB (3 casos).

No caso 3, único caso em que as correntes de HN atuaram nos dois lados da zona frontal, as precipitações atingiram os valores máximos (124 mm/24h em Natal/RN, 55,8 mm/24h em João Pessoa/PB e 69,2 mm/24h em Maceió/AL). O caso 6 foi o único que não apresentou precipitação significativa, ou seja, menores que 5mm/24h para cada cidade.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AHRENS, C. R. **Essentials of Meteorology – An Invitation to the Atmosphere**. 3rd ed. CA, USA: Brooks/Cole, Pacific Grove, 2000.

ANDRADE, K. M.; CAVALCANTI, I. F. A. **Climatologia dos sistemas frontais e padrões de comportamento para o verão na América do Sul**. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 13. 2004. Fortaleza- CE. Anais SBMET.

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, 1955.

BLUESTEIN, H.B. **Synoptic-dynamic meteorology in midlatitudes**. Oxford: University Press, 2, 1993.

CAMPOS, A. M. V. **Modelos conceituais de formação da corrente de jato no nordeste brasileiro**. 94 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010.

CARLSON, T.N. **Mid-latitude weather system**. London: Harper Collins academic 1991.

CLAPP, P. F.; WINSTON, J. S. **A case study of confluence as related to the Jet stream**. Journal of Meteorology, v.8, p. 231-243, 1951.

COSTA, M. DA S. **Cyclonic vortex of high levels associated with the jet stream in Northeast Brazil in the years 1998 to 2007**. 113 f. Dissertação (Mestrado em Processos de superfície terrestre) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010.

CRUZ, C. D. **Determinação sinótica dos fatores que favorecem as influências frontais sobre o Estado de Alagoas**. 139 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2008.

CRUZ, G. S. **Manutenção zonal da corrente de jato sobre a América do Sul**. 100 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 2003.

DA CRUZ, C. D.; FIGUEIREDO, E. L.; FEDOROVA, N., LEVIT, V., **Utilização do Campo de Advecção de Temperatura Potencial Equivalente para Análise de um Sistema Frontal na Região Tropical**. In: Congresso Brasileiro de Meteorologia, 15, São Paulo, CD Anais, 2008.

DJURIC, D. **Weather analysis**. Prentice Hall, Upper Saddle River London, 80 pp. 1994.

ENCYCLOPEDIA BRITANNICA. Disponível em <<https://www.britannica.com/science/jet-stream>>. Acesso: 14 de janeiro de 2021.

FEDOROVA N., LEVIT V., CAMPOS, M. A. V. **Brazilian Northeast Jet Stream: frequency, wind speed and direction**. Meteorological Applications. v. 25, p. 254-260, 2018a.

FEDOROVA N., LEVIT V., CAMPOS, M. A. V. **Brazilian Northeast Jet Stream: association with synoptic-scale systems**. Meteorological Applications. v. 25, p. 261-268, 2018b.

FEDOROVA N., LEVIT V., 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.

FEDOROVA, N. ET AL. **CJNEB e múltiplos fenômenos meteorológicos adversos no Estado de Alagoas do Brasil no dia 15 de junho de 2003**. In: IX Congresso Argentino de Meteorologia, Buenos Aires, 2005.

FEDOROVA, N. **Meteorologia Sinótica. Volume 1**. 1 Ed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária – UFPel, 260p. 1999.

FEDOROVA, N. **Meteorologia Sinótica. Volume 2**. 1 Ed. Pelotas: Editora e Gráfica Universitária – UFPel., 242p, 2001.

FEDOROVA, N. **Sinótica I: Fenômenos Atmosféricos, dados sinóticos e massas de ar. Material didático: sinopses, figuras, equações**. Alagoas: Editora EDUFAL, vol. 1, 174p, 2008.

FEDOROVA, N. **Sinótica II: Conceitos básicos de cinemática e de dinâmica da atmosfera e análise dos campos meteorológicos. Material didático: sinopses, figuras, equações**. Alagoas: Editora EDUFAL, vol. 1, 180p, 2008.

FEDOROVA, N. **Sinótica III: Frentes, correntes de jato, ciclones e anticiclones. Material didático: sinopses, figuras, equações**. Alagoas: Editora EDUFAL, vol. 1, 192p, 2008.

FEDOROVA, N. **Sinótica IV: Sistemas e processos sinóticos atuantes na América do Sul. Material didático: sinopses, figuras, equações.** Alagoas: Editora EDUFAL, vol. 1, 182p, 2008.

FEDOROVA, N., CARVALHO, M. H. **Processos sinóticos em anos de La Niña e de El Niño. Parte II: Zonas Frontais.** Revista Brasileira de Meteorologia. v. 15, n.2. p. 57-72, 2000.

FEDORVA, N.; LYRA, M.J.A. In: MARIANO, G.L.; NUNES, A.B. **Meteorologia em tópicos Volume 5 – Capítulo 1: Correntes de Jato e fenômenos adversos associados.** Clube dos Autores, Pelotas-RS, p. 11-68, 2017.

FERREIRA, N. J., RAMÍREZ, M. V., GAN, M. A. **Vórtices ciclônicos de altos níveis que atuam na vizinhança do Nordeste do Brasil.** In: Tempo e Clima no Brasil. São Paulo: Oficina de Textos, p. 43, 2009.

GOMES, H. B. **Estudo da Corrente de Jato próximo do Estado de Alagoas.** 113p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2003.

HASTENRATH, S.: **Climate dynamics of the tropics.** Updated ed. from Climate and Circulation of the Tropics. Kluwer Academic Publishers, 488p, 1991.

HOLTON, J. R. **An Introduction to Dynamic Meteorology.** 2 ed. New York, p.391, 1979.

HOLTON, J.R. **Introdução à meteorologia dinâmica.** Edição traduzida. p. 391.1979.

JUSTI, M. G. A. S.; SILVA DIAS, M. A. F. **A frequência de fenômenos meteorológicos na América do Sul: Uma climatologia.** Anais do XI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu, 2002.

KALNAY, E., KANAMITSU, M. KISTLER, R., COLLINS, W., DEAVEN, D., GANDIN, L., IREDELL, M., SAHA, S., WHITE, G., WOOLLEN, J., ZHU, Y., CHELLIAH, M., EBISUZAKI, W., HIGGINS, W., JANOWIAK, J., MO, K. C., ROPELEWSKY, C., WANG, J., LEETMAA, A., REYNOLDS, R., JENNE, R., JOSEPH, D. **The NMC/NCAR 40-Year Reanalysis Project.** Bullentin of the American Meteorology Society, 77, 437-471, 1996.

KOUSKY, V. E. **Frontal Influences on Northeast Brazil.** Monthly Weather Review, v. 107, n. 9, p 1140 – 1153, 1979.

KOUSKY, V. E.; FERREIRA, N. J. **Interdiurnal surface pressure variations in Brazil: their spatial distributions, origins and effects.** Monthly weather review, v. 109, n. 9, 1999-2008, 1981.

KOUSKY, V.E.; GAN, M.A. **Upper tropospheric cyclonic vortices in the tropical South Atlantic.** Tellus, v.36, n.6, p.538-551, 1981.

LEITE, M. H. D. **Influência das Correntes de Jato do Hemisfério Norte e Sul no tempo do Nordeste Brasileiro.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Meteorologia). 61p. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2020.

LEMOES, C. F.; CALBETE, N. O. **Sistemas frontais que atuaram no litoral do Brasil (período 1987-1995).** Boletim Climanálise, Edição comemorativa 10 anos, (INPE-10717-PRE/6178). p. 131-135, 1996.

MAHLMAN, J. D. **On the Maintenance of the Polar Front jet Stream.** Journal of the Atmospheric Sciences, v. 30, p.544-557, 1973.

MARIANO, G.L; NUNES, A.B. **Meteorologia em tópicos vol 5-** Pelotas: Clube de Autores. 263 f. 2017,

MATTOCKS, C.; BLECK, R. **Jet streak dynamics and geostrophic adjustment processes during the initial stages of lee cyclogenesis.** Monthly Weather Review, 2033-2056, 1986.

MEDINA, M. **Meteorologia Básica Sinoptica.** Madrid: Paraninfo, 1976.

MILHAHN, A.W. **Correntes de Jato e Sistemas Sinóticos Associados aos Complexos Convectivos de Mesoescala no Nordeste Brasileiro.** Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharelado em Meteorologia). 48p. Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2013.

MOORE, J.T.; VANKNOWE, G.E. **The effect of jet-streak curvature on kinematic fields.** Monthly Weather Review, v.120, n.11, p. 2429-2441, 1992.

MUANZA, G.A. **Padrões de circulação atmosférico associados à ligação da extremidade frontal com a ZCIT.** 2018. 72 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Programa de Pós Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

OLIVEIRA, A. S. **Interações Entre Sistemas Frontais na América do Sul e a Convecção da Amazônia**. Dissertação De Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1986.

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.

PARMENTER, E.C.A Southern Hemisphere Cold Front Passage at The Equador. **Bulletim American Meteorological Society** v.57, n. 12, p 1435 -1440, 1976.

PETTERSEN, S. **Weather analysis and forecasting**. New York: McGraw-Hill, 1956. V.1, 498p.

PEZZI, L.P., ROSA, M.B., BATISTA, N.N.M. **A corrente de jato subtropical sobre a América do Sul**. Climanálise Edição Especial Outubro/1996. Edição especial comemorativa de 10 anos. 1996.

QUADRO, M.F.L.; MACHADO, L.H.R.; CALBETE, S.; BATISTA, N.N.M.; SAMPAIO, G. **Climatologia de Precipitação e Temperatura**. Climanálise, Edição comemorativa 10 anos, 1996.

RAMIREZ, M. C. V. **Padrões climáticos dos vórtices ciclônicos em altos níveis no Nordeste do Brasil. 1996. 132p.** (INPE-6408-TDI/618). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), São José dos Campos, 1997.

REITER, E. R. **Jet stream meteorology**. Chicago: The University of Chicago Press, 515p, 1969.

REPINALDO, H. F. B.. **Upper tropospheric cyclonic vortex and Brazilian Northeast jet stream in El Niño and La Niña years**. 2010. 133 f. Dissertação (Mestrado em Processos de superfície terrestre) - Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2010.

REPINALDO, H. F. B.; FEDOROVA, N.; LEVIT, V.; REPINALDO, C. R. R. **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.

RIEHL, H., BADNER, J., HOYDE, J.E. **Forecasting in the middle latitudes. Meteorological Monographs**. American Meteorological Society, v.1, n. 5, 80p, 1952.

RODRIGUES, M. L. G.; FRANCO, D.; SUGAHARA, S. **Climatologia de frentes frias no litoral de Santa Catarina**. Revista Brasileira de Geofísica, v. 22, n. 2, p. 135–151, 2004.

SANTOS, ANA LETICIA MELO DOS. **Influência das ligações das correntes de jato entre os hemisférios na formação de fenômenos meteorológicos adversos no Nordeste brasileiro**. 2021. 88 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2021.

SANTOS, D. M. B. **Vórtices Ciclônicos de Médios Níveis (VCMN): Uma análise de frequência e estrutura**. 2012. 95 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2012.

SATYAMURTY P.; MATTOS L. F. **Climatological Lower Tropospheric Frontogenesis in the Midlatitudes Due to Horizontal Deformation and Divergence**. Monthly Weather Review, v. 117, p. 1355-1364, 1989.

SECHRIST, F.S.; WHITTAKER, T.M. **Evidence of jet stream vertical circulations**. Monthly Weather Review, v. 107, p. 1014-1021, 1979.

SILVA, A. B. P., **Estudo de dois casos extremos de precipitação sobre a costa leste do Nordeste do Brasil**. Dissertação de mestrado em Meteorologia, UFAL, Maceió – AL. Jan, 2002.

SILVA, B.F.P.; FEDOROVA, N.; LEVIT, V. **Sistemas sinóticos associados às precipitações intensas no Estado de Alagoas**. Ver. Bras. Meteorol., vol.26, p232-338, 2011.

SILVA, M.C. **Processo de formação do vórtice ciclônico de médios níveis na região continental e fenômenos associados**. 62 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) - Instituto de Ciências Atmosféricas, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2018.

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.

SINHORI, N. P. **Modificação da estrutura vertical das Frentes Frias durante a passagem do Sul até o Nordeste brasileiro, entre janeiro de 2000 a dezembro de 2012**. 173p. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2015.

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.

UVO, C. R. B.; NOBRE, C. A. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) e a precipitação no norte do Nordeste do Brasil. Parte I: A Posição da ZCIT no Atlântico Equatorial. **Climanálise**, v. 4, n. 07, p. 34-40, 1989.

VAREJÃO-SILVA, M. A. **Meteorologia e Climatologia.** Recife, Brasil, 2006.

VAZ, I.N. **Estudo sobre a origem da Corrente de Jato do Nordeste Brasileiro e suas ligações inter-hemisféricas.** 2014. 118 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto de Ciências Atmosféricas, Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2014.

VEBER, M. E., **Desenvolvimento de atividade convectivas sobre a região nordeste do Brasil, organizada pela extremidade frontal.** 132p. 2011. (MET-UFAL-MS-090). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Universidade Federal de Alagoas, Maceió, 2011.

VIRJI, H. **A Preliminary Study of Summertime Tropospheric Circulation Patterns over South América Estimated from Cloud Winds.** Monthly Weather Review, v.109, p.590-610. Mar. 1981.

YAMAZAKI, Y.; RAO, V.B. Tropical cloudiness over South Atlantic Ocean. **Journal of the Meteorological Society of Japan**, v. 55, n. 2, p. 205-207, 1977.