



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA, TECNOLOGIA, INOVAÇÕES E COMUNICAÇÕES  
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS

# **CARACTERIZAÇÃO DA BANDA DUPLA DA ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL (ZCIT): IDENTIFICAÇÃO E ELABORAÇÃO DE MÉTODO OBJETIVO DE DETECÇÃO**

**RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/INPE/CNPq)**

Thales Alves Teodoro (Universidade Federal de Itajubá, Bolsista PIBIC/CNPq)  
[thales.teo@hotmail.com](mailto:thales.teo@hotmail.com)

Dr. Gustavo Carlos Juan Escobar (CPTEC/INPE, Orientador)  
[gustavo.escobar@inpe.br](mailto:gustavo.escobar@inpe.br)

Julho de 2018



## Ficha Catalográfica

TEODORO, Thales Alves

CARACTERIZAÇÃO DA BANDA DUPLA DA ZONA DE  
CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL (ZCIT): IDENTIFICAÇÃO E  
ELABORAÇÃO DE MÉTODO OBJETIVO DE DETECÇÃO –  
Cachoeira Paulista: INPE, 2018.

RELATÓRIO FINAL DE PROJETO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA  
(PIBIC/CNPq/INPE)

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

1. Atlântico
2. Banda Dupla
3. Variáveis Meteorológicas
4. ZCIT



## AGRADECIMENTOS

- Primeiramente agradecer a Deus por sempre estar ao meu lado e me amparar nos momentos difíceis.
- Aos meus pais Reginaldo Teodoro e Magda Alves por todo apoio, paciência e incentivo.
- Ao meu orientador Dr. Gustavo Carlos Juan Escobar, por todo apoio, confiança, paciência e leveza para me mostrar o caminho da ciência.
- A professora Dra. Michelle Simões Reboita, pela amizade e por me fornecer a oportunidade de trabalhar em uma pesquisa que me fez crescer muito profissionalmente.
- Aos meus amigos, Bruna, Rayan, Mateus, Eduardo, Lara e Vitor que sempre me apoiaram nos momentos difíceis da graduação. Muito obrigado.
- Ao Programa Institucional de Bolsas PIBIC/ por fornecer investimento à pesquisa.



## RESUMO

O presente trabalho tem como objetivo indicar as variáveis meteorológicas que melhor identificam a banda dupla da ZCIT no oceano Atlântico Tropical e realizar uma análise estatística das ocorrências de bandas duplas da ZCIT sobre o Atlântico nos meses de verão e outono austral. A banda dupla da ZCIT é uma segunda banda de nebulosidade convectiva que se posiciona ao sul da banda principal. No oceano Atlântico, o primeiro estudo a abordar a ocorrência de bandas duplas foi o de Uvo (1989). De acordo com Uvo (1989), a formação de banda dupla da ZCIT sobre o Atlântico acontece geralmente nos primeiros meses do ano (fevereiro, março e abril), e mostra-se relacionada com anos chuvosos do norte do Nordeste brasileiro (NEB). Para registrar a ocorrência de bandas duplas da ZCIT foi utilizado o procedimento da análise das cartas sinóticas de superfície elaboradas pelo Grupo de Previsão do Tempo (GPT) do CPTEC/INPE. Foram construídos mapas ( $10^{\circ}\text{N}$ - $20^{\circ}\text{S}$  e  $10^{\circ}\text{W}$ - $60^{\circ}\text{W}$ ) com as variáveis meteorológicas: água precipitável, umidade relativa média entre os níveis de 850 e 700 hPa, velocidade vertical ( $\omega$ ) em 500 hPa, linhas de corrente em 925 hPa, temperatura da superfície do mar (TSM), precipitação, radiação de onda longa e convergência de massa a 10 metros da superfície. Para o período utilizado neste trabalho, foram detectados casos de banda dupla nos meses de janeiro a maio, sendo que o mês preferencial para a ocorrência de banda dupla se deu em abril. Climatologicamente, as bandas duplas dos meses de outono apresentaram maior tempo de vida do que as do verão. As variáveis meteorológicas utilizadas nem sempre conseguiram mostrar claramente as bandas duplas. Em alguns casos, uma variável foi mais sensível do que outra na identificação. As variáveis mais adequadas para se utilizar no diagnóstico de bandas duplas no Atlântico, são: água precipitável, umidade relativa média entre os níveis de 850 e 700 hPa, velocidade vertical ( $\omega$ ) em 500 hPa, linhas de corrente em 925 hPa, variáveis estas já utilizadas pelo GPT em seu método de identificação. Este estudo mostrou ainda que a análise da TSM e da precipitação também podem ser incluídas para a identificação de banda dupla sobre o Atlântico.

**Palavras-chave:** Atlântico, banda dupla, variáveis meteorológicas, ZCIT.

## CHARACTERIZATION OF THE DOUBLE BAND OF THE INTERTROPICAL CONVERGENCE ZONE (ITCZ): IDENTIFICATION AND ELABORATION OF METHOD OBJECTIVE DETECTION

### ABSTRACT

The present work aims to indicate the meteorological variables that best identify the double band of the ITCZ in the tropical Atlantic Ocean and to perform a statistical analysis of the occurrences of double bands of the ITCZ on the Atlantic in the summer and autumn austral months. The ZCIT double band is a second band of convective nebulosity that is positioned to the south of the main band. In the Atlantic Ocean, the first study to address the occurrence of double bands was that of Uvo (1989). According to Uvo (1989), the ZCIT double-band formation over the Atlantic generally occurs in the first months of the year (February, March and April), and is related to rainy years in northern NEB. In order to record the occurrence of double bands of the ITCZ, the procedure of the analysis of the surface synoptic charts prepared by the CPTEC / INPE Time Prediction Group (GPT) was used. We constructed maps ( $10^{\circ}$  N- $20^{\circ}$  S and  $10^{\circ}$  W- $60^{\circ}$  W) with meteorological variables: precipitated water, average relative humidity between 850 and 700 hPa, vertical velocity ( $\omega$ ) at 500 hPa, lines current at 925 hPa, sea surface temperature, precipitation, long wave radiation and mass convergence at 10 meters from the surface. For the period used in this study, cases of double band were detected in the months of January to May, and the preferential month for the occurrence of double band occurred in April. Climatologically, the double bands of the autumn months had a longer life than those of the summer. The meteorological variables used were not always able to clearly show the double bands. In some cases, one variable was more sensitive than another in the identification. The most suitable variables to be used in the diagnosis of double bands in the Atlantic are: precipitated water, mean relative humidity between 850 and 700 hPa, vertical velocity ( $\omega$ ) in 500 hPa, current lines in 925 hPa, these variables already used by the GPT in its identification method. This study also showed that SST and precipitation analysis can also be included for double-band identification over the Atlantic.

**Keywords:** Atlantic; double band; meteorological variables; ITCZ







## LISTA DE FIGURAS

**Figura 1** – Média sazonal da intensidade (m/s) e direção dos ventos a 10 m de altura no período de 1988 a 2011. O vetor de referência é 2 m/s. A linha branca representa a posição média sazonal da ZCIT. Fonte: Reboita et. al (2016).

**Figura 2:** Posição média mensal latitudinal das BP (vermelho) e BS (verde) da ZCIT.

**Figura 3:** Campos meteorológicos no dia 13/02/2013 às 12Z (a) Água precipitável (mm) + Omega em 500 hPa (Pa/s); (b) Umidade relativa média entre 850 e 700 hPa (%) + Linhas de corrente (m/s) em 925 hPa ; (c) Precipitação diária (mm) +Vento em 925 hPa (m/s).

**Figura 4:** Imagem do satélite GOES 12 + METEOSAT – 9 no canal infravermelho, ilustrando a banda dupla da ZCIT em 13/02/2013, às 12 UTC. Fonte: CPTEC/INPE.

**Figura 5:** Campos meteorológicos no dia 31/03/2012 às 12Z (a) Água precipitável (mm) + Omega em 500 hPa (Pa/s); (b) Umidade relativa média entre 850 e 700 hPa (%) + Linhas de corrente (m/s) em 925 hPa ; (c) Precipitação diária (mm) +Vento em 925 hPa (m/s).

**Figura 6:** Imagem do satélite GOES 12 + METEOSAT – 9 no canal infravermelho, ilustrando a banda dupla da ZCIT em 31/03/2012, às 12 UTC. Fonte: CPTEC/INPE.

**Figura 7:** Campo meteorológico de TSM (a) 13/02/2013 às 12Z; (b) 31/03/2012 às 12Z.

**Figura 8:** Composição de campos meteorológicos para os dias de banda dupla (a) Água precipitável (mm) + Omega em 500 hPa (Pa/s); (b) Umidade relativa média entre 850 e 700 hPa (%) + Linhas de corrente (m/s) em 925 hPa ; (c) Precipitação diária (mm) +Vento em 925 hPa (m/s).

**Figura 9:** Composição de campos meteorológicos para os dias de banda dupla (a) TSM; (b) ROL; (c) Convergência de massa a 10 m + Vento a 10 m (m/s).



## LISTA DE TABELAS

**Tabela 1-** Estrutura da planilha utilizada para caracterizar a banda principal e secundária da ZCIT.

**Tabela 2 –** Tempo médio mensal de permanência (em horas) das ocorrências de banda dupla da ZCIT no oceano Atlântico.



## LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

**BP**– Banda Principal

**BS**– Banda Secundária

**CPTEC** – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

**DSA**– Divisão de Satélites

**GPT** – Grupo de Previsão do Tempo

**INPE** – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

**NEB** – Nordeste Brasileiro

**PNMM** – Pressão ao Nível Médio do Mar

**ROL**– Radiação de Onda longa

**TSM** – Temperatura da Superfície do Mar

**ZCA** – Zona de Confluência dos Alísios

**GFS**– Global Forecast System

**ZCIT**– Zona de Convergência Intertropical





## SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO .....	15
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	16
2.1 A ZONA DE CONVERGÊNCIA INTERTROPICAL.....	16
2.2 A BANDA DUPLA DA ZCIT.....	18
3 DADOS E METODOLOGIA .....	18
3.1 IDENTIFICAÇÃO DA BANDA DUPLA DA ZCIT.....	18
3.2 ESTATÍSTICA BÁSICA.....	20
3.3 CAMPOS METEOROLÓGICOS.....	20
3.4 ANÁLISE DE COMPOSIÇÃO.....	21
4 RESULTADOS .....	21
4.1 CARACTERIZAÇÃO DA BANDA DUPLA.....	21
4.2 IDENTIFICAÇÃO DA BANDA DUPLA DA ZCIT POR CAMPOS METEOROLÓGICOS.....	23
4.3 COMPOSIÇÃO DE CAMPOS METEOROLÓGICOS.....	27
5 CONCLUSÕES.....	29
6 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	30



## 1. INTRODUÇÃO

A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é uma região de convergência dos ventos alísios de nordeste, oriundos do Hemisfério Norte, e dos ventos alísios de sudeste, provenientes do Hemisfério Sul (GLICKMAN, 2000). A ZCIT caracteriza-se por movimentos ascendentes, baixas pressões em superfície, por ser uma banda de nebulosidade e por favorecer a ocorrência de chuvas (KRISHNAMURTI et al., 2013). De acordo com Ferreira (1996), a ZCIT exerce forte influência nas precipitações da região equatorial dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico e nas áreas adjacentes dos continentes africano, americano e asiático. Outra característica peculiar desse sistema é que sua posição coincide com as áreas oceânicas que possuem anomalias positivas de Temperatura da Superfície do mar (TSM).

A ZCIT é identificada através de imagens de satélite e também da análise de um conjunto de variáveis meteorológicas: água precipitável, radiação de onda longa (ROL), velocidade vertical na troposfera média, convergência de massa, umidade na camada limite planetária, TSM, entre outras. É importante salientar que a nebulosidade associada à ZCIT é facilmente identificada nas áreas oceânicas, uma vez que sobre os continentes a intensa atividade convectiva dificulta a sua detecção.

A posição da ZCIT apresenta grande variação com a estação do ano e a longitude. Considerando a região do Atlântico Equatorial, a ZCIT localiza-se mais ao norte (aproximadamente 10°N) durante o inverno austral e posiciona-se mais ao sul (em torno de 3°S) durante fevereiro e abril (HASTENRATH, 1991).

Os trabalhos de Hubert et al. (1969); Waliser e Gautier (1993) e Zhang (2001), por exemplo, documentam a ocorrência de bandas duplas de ZCIT sobre o oceano Pacífico. A banda dupla é uma segunda banda de nebulosidade convectiva ao sul da banda principal. No oceano Atlântico, um dos primeiros estudos a abordar a ocorrência de bandas duplas foi o de Uvo (1989). De acordo com Uvo (1989), a formação de banda dupla da ZCIT sobre o Atlântico acontece geralmente nos primeiros meses do ano (fevereiro, março e abril), e mostra-se relacionada com anos chuvosos no norte do NEB.

Mais recentemente, Penna et al. (2013) realizaram uma análise estatística da ocorrência de bandas duplas da ZCIT no oceano Atlântico nas estações do verão e outono dos anos de 2009 a 2012. Para tanto, utilizaram os registros de banda dupla das análises sinóticas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (CPTEC/INPE). Entre os resultados obtidos tem-se que as bandas

duplas do outono possuem maior tempo de vida, sendo que o mês preferencial de aparecimento desse sistema foi o mês de abril.

Considerando-se a importância que a banda dupla da ZCIT possui durante a estação chuvosa do norte do NEB, este trabalho tem por objetivo:

- realizar uma análise estatística da ocorrência de banda dupla da ZCIT sobre o Atlântico, analisando a variabilidade sazonal e fazendo ênfase no posicionamento das bandas duplas nesse oceano, e
- identificar a banda dupla da ZCIT no oceano Atlântico mediante a utilização de determinadas variáveis meteorológicas.

## **2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

### **2.1 A Zona de Convergência Intertropical**

A convergência dos ventos alísios em superfície é a principal responsável pela formação da ZCIT. A ZCIT pode ser definida como uma banda de nebulosidade com grande desenvolvimento vertical e que se estende até a alta troposfera (YNOUE et al., 2017).

Segundo Melo et al. (2002) e Coelho et. al (2004), a ZCIT exerce grande influência no clima de várias regiões tropicais, incluindo a região do norte do NEB. Quando há anomalias positivas de TSM no oceano Atlântico Tropical Sul, a ZCIT localiza-se sobre essa região, favorecendo as chuvas no NEB. Já quando são observadas anomalias negativas de TSM no oceano Atlântico Tropical Sul, a convecção dessa região fica enfraquecida, inibindo assim a geração de precipitação sobre o NEB (Moura e Shukla, 1981).

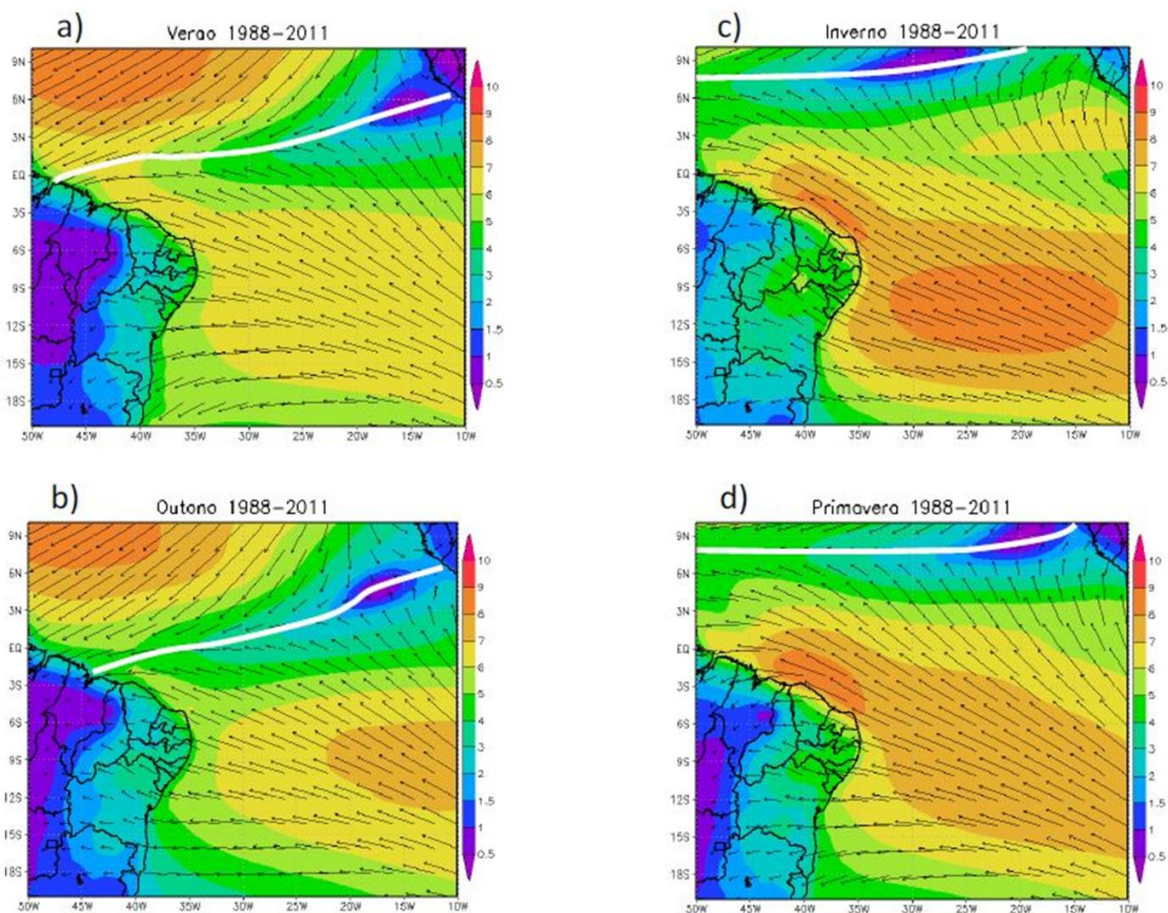
Sobre os oceanos equatoriais há a interação de um conjunto de variáveis atmosféricas que definem a ZCIT: Zona de Confluência dos Alísios (ZCA), Cavado Equatorial, a zona de máxima TSM e convergência de massa, e a banda de máxima cobertura de nuvens convectivas (Uvo, 1989). Inicialmente, os estudos sobre formação da ZCIT, indicavam que essas variáveis se apresentavam sobre uma mesma latitude, porém Hastenrath e Lamb (1977) e Estoque e Douglas (1978) mostraram que tais variáveis não se apresentam sobrepostas em uma mesma latitude, mas próximas umas das outras. De acordo com Uvo (1989), a identificação da ZCIT por qualquer uma dessas variáveis é bastante representativa, pois os deslocamentos desses sistemas possuem alta correlação entre si.

A posição da ZCIT varia sazonalmente, sendo que esse sistema posiciona-se sobre as áreas oceânicas com anomalias de TSM positivas e anomalias de Pressão ao Nível do Mar



(PNM) negativas (HASTENRATH, 1991). Estudos como os de Hastenrath e Lamb, (1977) e Xavier et al. (2000) sugerem que a ZCIT localiza-se mais ao norte durante agosto e setembro e atinge sua posição mais austral entre março e abril. No oceano Atlântico, a ZCIT desloca-se de aproximadamente 10°N (verão boreal) até 5°N (verão austral) do lado africano, enquanto no lado sul americano esse deslocamento fica restrito entre 5°N e 1°N (HASTENRATH e LAMB, 1977).

A figura 1 ilustra a posição média sazonal da ZCIT do período de 1988 a 2011 calculada por Reboita et al. (2016). Por essa figura fica nítido que a ZCIT atinge menores latitudes no setor oeste do oceano Atlântico Tropical Sul se comparado com o setor leste desse mesmo oceano. Reboita et al. (2016) observam também por esta figura que os ventos de baixos níveis que atingem a costa leste do NEB no verão e outono são praticamente de leste, enquanto no inverno e primavera esses ventos tornam-se de sudeste, ou seja, perpendiculares à costa.



**Figura 1.** Média sazonal da intensidade (m/s) e direção dos ventos a 10 m de altura no período de 1988 a 2011. O vetor de referência é 2 m/s. A linha branca representa a posição média sazonal da ZCIT. Fonte: Reboita et. al (2016).

## **2.2 A banda dupla da ZCIT**

Define-se como banda dupla da ZCIT o aparecimento de uma segunda banda de nebulosidade convectiva ao sul da banda principal (UVO, 1989). Apesar dessa definição de 1989, a nomenclatura banda dupla da ZCIT já foi utilizado anteriormente por Hubert et al. (1969).

Nos estudos de Hubert et al. (1969) observou-se que sobre o Pacífico oriental, as bandas duplas da ZCIT ocorrem normalmente durante a primavera boreal quando a TSM ao sul do equador atinge um máximo. Ainda segundo esses autores, a precipitação relacionada à banda secundária pode se estender desde 150° W até a costa da América do Sul.

A banda dupla da ZCIT no Pacífico oriental também foi identificada em trabalhos como os de Mitchell e Wallace (1992), Waliser e Gautier (1993), Zhang (2001) e Lietzke et al. (2001). Para essa identificação esses autores utilizaram observações de satélite (ROL, nuvens altamente reflexivas, distribuição de precipitação e sondagens de umidade).

No oceano Atlântico, Uvo (1989) ao analisar a influência do deslocamento da ZCIT sobre a precipitação da região norte do NEB identificou a presença de bandas duplas nesse oceano. As bandas duplas identificadas nesse estudo apresentou tempo de vida bastante variável, às vezes ela surgiu em um ou dois dias num mês, desapareceu e voltou a surgir em um ou dois dias no mês seguinte. Em outras ocasiões ela permaneceu por quatro ou cinco dias, desapareceu por dois ou três dias, em seguida voltou a aparecer, permanecendo por vários dias.

Uvo (1989) também identificou que a banda secundária acompanha o deslocamento latitudinal da banda principal, de forma a se localizar sempre ao sul da mesma. Verificou ainda que a distância entre a banda principal e secundária pode variar de 1° até 10° de latitude. Os anos em que a banda dupla permaneceu por mais de dois dias correspondeu aos anos de maiores índices pluviométricos sobre o norte do NEB.

## **3 DADOS E METODOLOGIA**

### **3.1 Identificação da banda dupla da ZCIT**

Para identificar as ocorrências de bandas duplas da ZCIT (banda principal e secundária) no oceano Atlântico Tropical foi utilizado o procedimento da análise das cartas

sinóticas de superfície elaboradas pelo Grupo de Previsão do Tempo (GPT) do CPTEC/INPE no período de 2010 a 2015, pois essas já apresentam a representação dos casos de banda dupla.

A metodologia empregada pelo GPT para identificar as bandas duplas nas cartas sinóticas consiste da análise visual dos campos meteorológicos horários de água precipitável, umidade relativa média entre os níveis de 850 e 700 hPa, precipitação prevista para as próximas 6 horas, velocidade vertical ( $\omega$ ) em 500 hPa e linhas de corrente em 925 hPa obtidas da análise do *Global Forecast System* (GFS) e também de imagens de satélite no canal do infravermelho. Nessa análise, buscam-se regiões com máximo de água precipitável, umidade, precipitação, presença de movimentos ascendentes e convergência dos ventos. A existência de banda dupla ocorre quando há duas regiões com essas características na região de estudo.

Como as cartas sinóticas do CPTEC têm seu limite norte em 12 °N, e uma vez que a ZCIT pode ocupar posições ao norte dessa latitude durante o inverno austral, este estudo se restringiu apenas na identificação de bandas duplas entre os meses de dezembro a maio, já que é entre esses meses que a ZCIT encontra-se próxima de sua posição mais austral.

Durante o processo de identificação das bandas duplas, as bandas de nebulosidade da ZCIT foram classificadas em: banda principal (BP) e banda secundária (BS). Sendo que a BP se refere à banda já existente e a BS a que se forma após a existência da principal.

Uma vez identificada a ocorrência de banda dupla, foi registrada a posição latitudinal das bandas considerando as longitudes de 25°W e 40°W para a BP, já que essa se estende por uma ampla região. Além disso, 25° W é o limite leste da carta sinótica do CPTEC e 40° W é o limite continental da América do Sul e o oceano. As posições latitudinais das BS foram registradas nas longitudes de início e término da mesma.

As informações referentes à data de aparecimento e desaparecimento da banda dupla e posição latitudinal tanto da BP como da BS, foram registradas em uma planilha em Excel sendo que as posições latitudinais das bandas de nebulosidade da ZCIT foram obtidas nos horários sinóticos da 0000 e 1200 Z. A escolha desse intervalo de tempo foi utilizada, pois a ZCIT não apresenta grandes variações de posicionamento latitudinal entre os horários sinóticos. A tabela 1 exemplifica como os dados foram registrados na planilha. Ressalta-se que essa tabela apresenta as informações de apenas um caso de banda dupla dentre o total de casos identificados. Para esse caso específico, foi observado que a banda dupla apareceu no dia 30/03/2010 às 1200 Z e foi observada pela última vez no dia 01/04/2010 às 0000 Z, ou seja, essa banda dupla teve tempo de vida de 36 horas.

As colunas nomeadas por BP(40°) e BP(25°) apresentam o posicionamento latitudinal da BP nas longitudes de 40°W e 25°W, respectivamente, durante todo o tempo de vida da banda dupla. Já as colunas nomeadas por BS(I) e BS(F) indicam a posição latitudinal da BS nas coordenadas longitudinais de início e fim da mesma.

**Tabela 1-** Estrutura da planilha utilizada para caracterizar a banda principal e secundária da ZCIT.

Dia	Mês	Ano	Horário Sinótico (UTC)	BP (40°)	BP(25°)	BS(I)	BS(F)
<b>30</b>	3	2010	12	3°N	3°N	3°S	2°S
<b>31</b>	3	2010	0	1,5°N	2°N	4°S	3,5°S
<b>31</b>	3	2010	12	1°N	3°N	2°S	1°S
<b>1</b>	4	2010	0	2°N	1,5°N	2°S	2,5°S

Para a obtenção do posicionamento latitudinal da BP e BS, se construíram mapas (10°N-20°S e 10°W-60°W) com as variáveis atmosféricas: água precipitável, umidade relativa média entre os níveis de 850 e 700 hPa, velocidade vertical (ômega) em 500 hPa, linhas de corrente em 925 hPa (componente zonal e meridional do vento) obtidas da reanálise ERA-Interim (DEE et al., 2011). Os dados dessa reanálise possuem resolução espacial de 0,75° de latitude por 0,75° de longitude e frequência temporal de 6 horas.

Dados de precipitação diária obtidas do *Global Precipitation Climatology Project* (GPCP) com resolução espacial de 1° e frequência temporal de 6 horas também foram utilizados. Imagens de satélite do METEOSAT9 + GOES12 e METEOSAT10 + GOES13 do canal IR para os horários da 0000, 0600, 1200 e 1800 UTC do acervo de imagens da Divisão de Satélites do INPE (DSA/INPE) foram utilizadas para dar suporte no momento da confirmação dos eventos de banda dupla.

### 3.2 Estatística Básica

A partir dos dados da planilha (Tabela 1) foram computados os totais anuais e mensais de ocorrências de banda dupla. Uma média mensal do tempo de vida das bandas duplas identificadas foi realizada. Foram obtidas também as médias mensais do posicionamento latitudinal tanto da banda principal quanto da banda secundária.

### 3.3 Campos Meteorológicos

Além dos campos meteorológicos utilizados pelo GPT para identificar a banda dupla,

também foram calculados os campos de ROL, convergência de massa (componente zonal e meridional do vento a 10 metros da superfície), divergência de massa em 250 hPa (componente zonal e meridional do vento no nível de 250 hPa) obtidas também da reanálise ERA-Interim, para os dias identificados com a presença da banda dupla. Além disso, foi analisada a TSM diária do NCEP (REYNOLDS et al., 2007) com resolução espacial de  $0,25^\circ$  de latitude por  $0,25^\circ$  de longitude.

### **3.4 Análise de Composição**

A identificação da banda dupla nas variáveis atmosféricas mencionadas no item 3.1 não é tarefa fácil, pois nem todas as variáveis mostram claramente as bandas duplas. Em alguns casos, uma variável é mais sensível do que outra na identificação. Tendo em vista essa dificuldade, propõe-se aqui, uma composição dessas variáveis para identificar nos casos de banda dupla estudados, quais as variáveis que indicam melhor essa característica da atmosfera. As composições realizadas aqui foram calculadas utilizando-se os horários sinóticos da 00 e 12 Z durante todo o tempo de vida das bandas duplas.

Nessa análise, além das variáveis já citadas no item 3.1, são utilizadas as variáveis do item 3.2. Propõe-se nessa análise identificar quais são as variáveis meteorológicas que melhor identificam a presença de banda dupla da ZCIT no Atlântico.

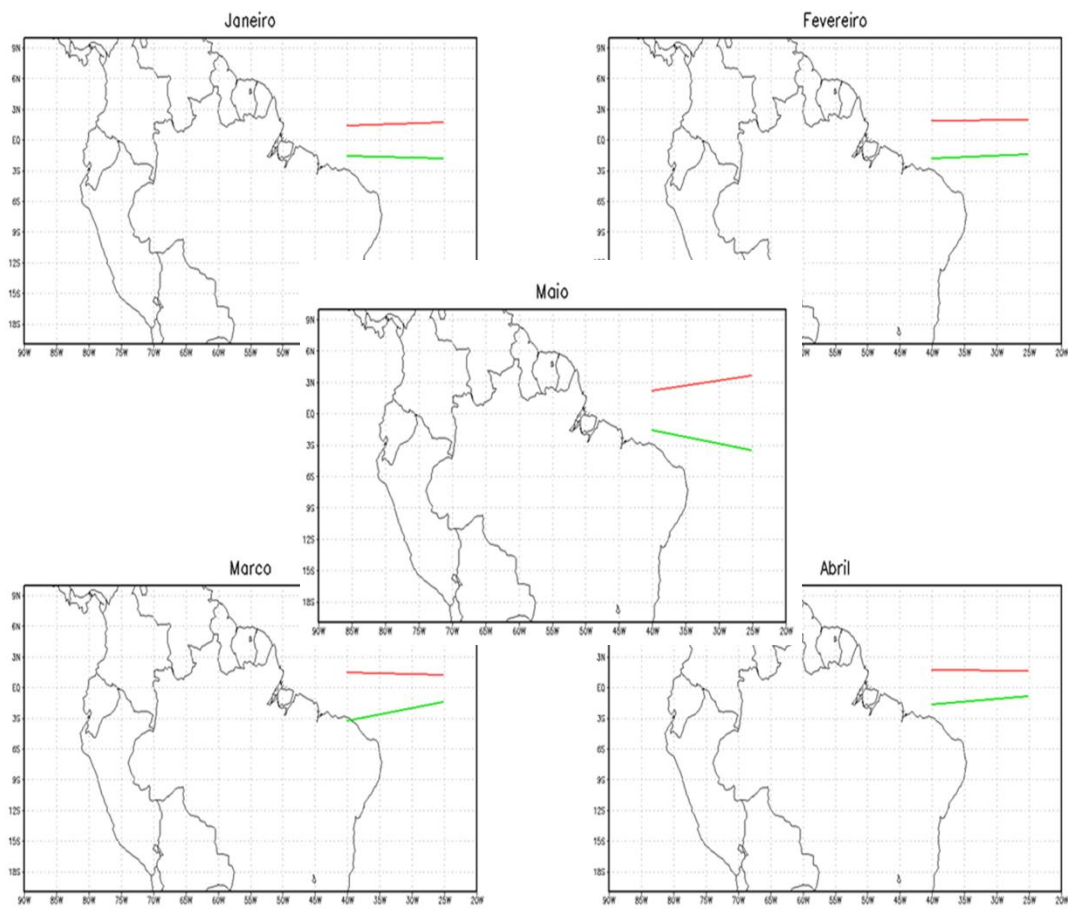
## **4 RESULTADOS**

### **4.1 Caracterização da banda dupla**

Entre 2010 e 2015 foi identificado 45 ocorrências de banda dupla da ZCIT no Oceano Atlântico. Climatologicamente as ocorrências de banda dupla no período analisado se deram entre os meses de janeiro a maio. O mês preferencial para aparecimento de banda dupla foi o mês abril, com dezoito casos identificados. O mês de janeiro foi aquele em que se observaram menos casos de aparecimento de banda dupla (2 casos).

A posição média mensal das bandas duplas pode ser vista na figura 2. A tabela 2 apresenta o tempo médio mensal de permanência da banda dupla. Nota-se que as ocorrências de banda dupla nos meses de outono são mais duradouras das que ocorrem durante o verão.





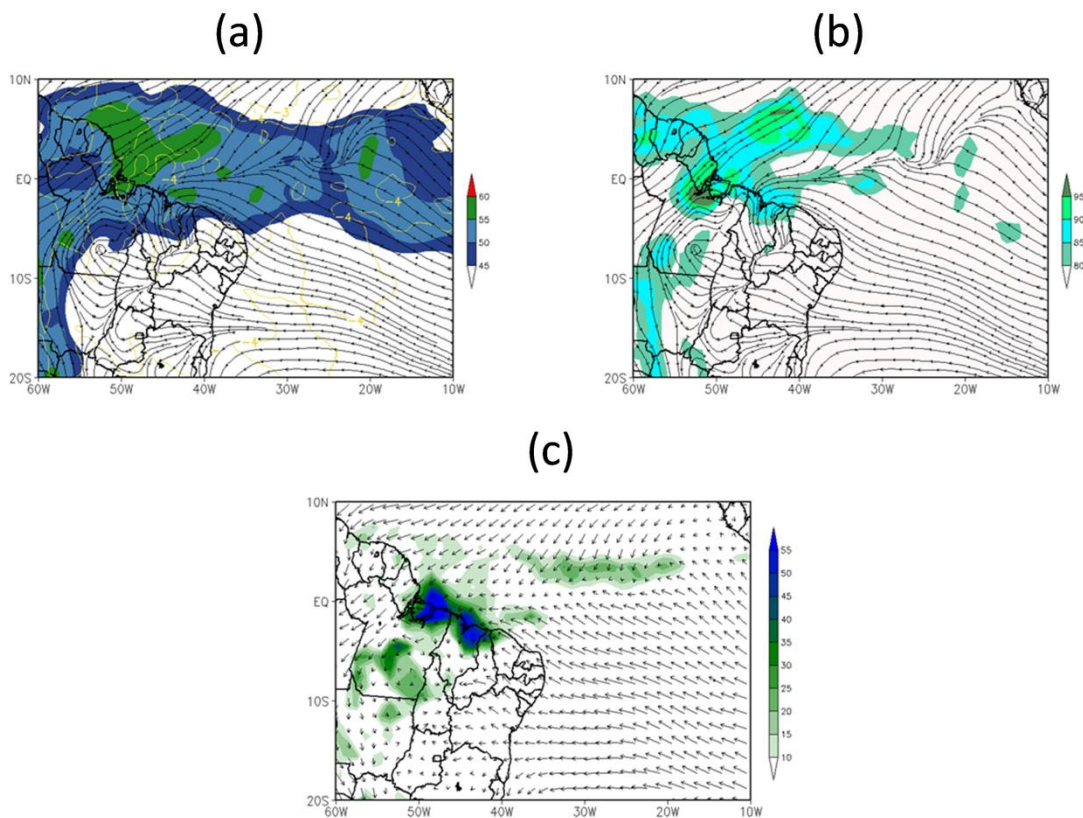
**Figura 2:** Posição média mensal latitudinal das BP (vermelho) e BS (verde) da ZCIT.

**Tabela 2** – Tempo médio mensal de permanência (em horas) das ocorrências de banda dupla da ZCIT no oceano Atlântico.

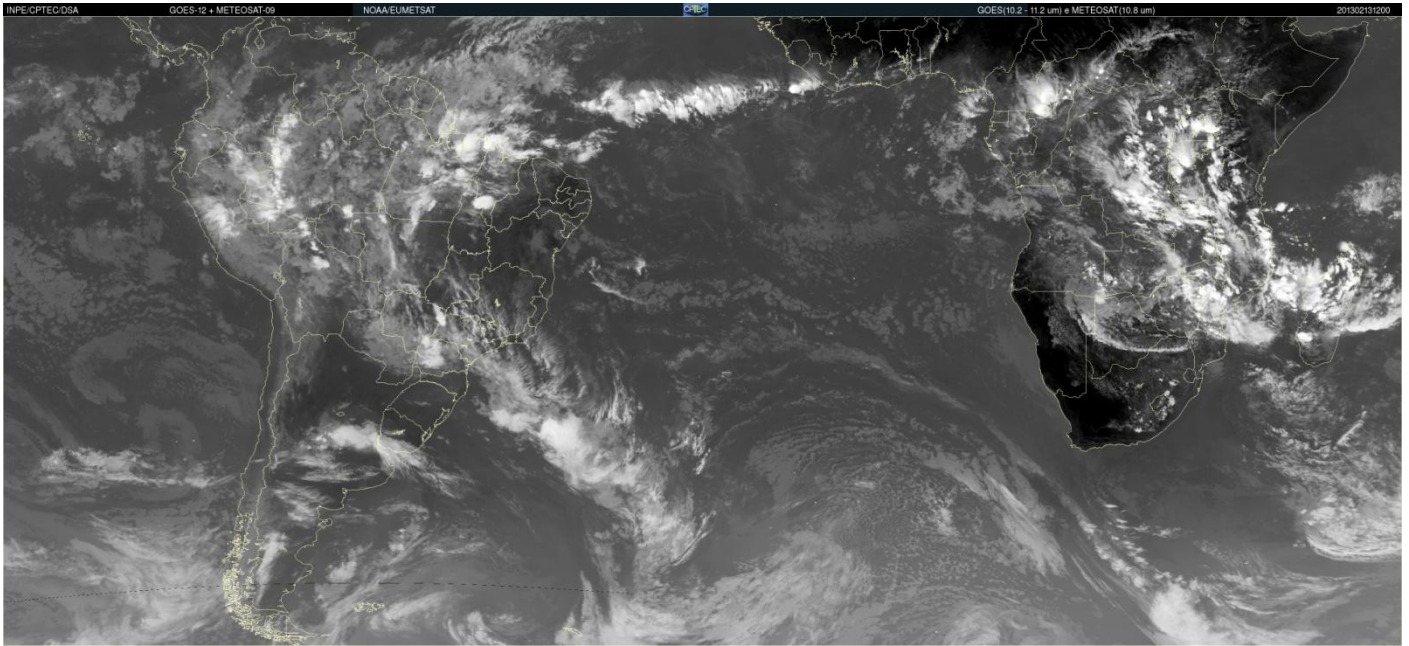
<b>Jan</b>	81 h
<b>Fev</b>	82,7 h
<b>Mar</b>	171 h
<b>Abr</b>	128,4 h
<b>Mai</b>	58,8 h

## 4.2 Identificação da banda dupla da ZCIT por campos meteorológicos

A figura 3 apresenta os campos meteorológicos citados no item 3.1 para um caso de banda dupla. Neste caso, estes campos conseguiram evidenciar os aspectos meteorológicos relacionados à banda dupla da ZCIT. Vê-se pela figura 3a e 3b duas regiões com máximo de água precipitável e umidade respectivamente. Na figura 3c, duas faixas de precipitação na região da ZCIT, evidenciam a presença de banda dupla. A segunda faixa (mais ao sul) fica mais restrita a costa do continente, enquanto a faixa principal (relacionado à BP) se alonga por quase todo o oceano Atlântico. A imagem de satélite para este caso de banda dupla pode ser vista na figura 4.



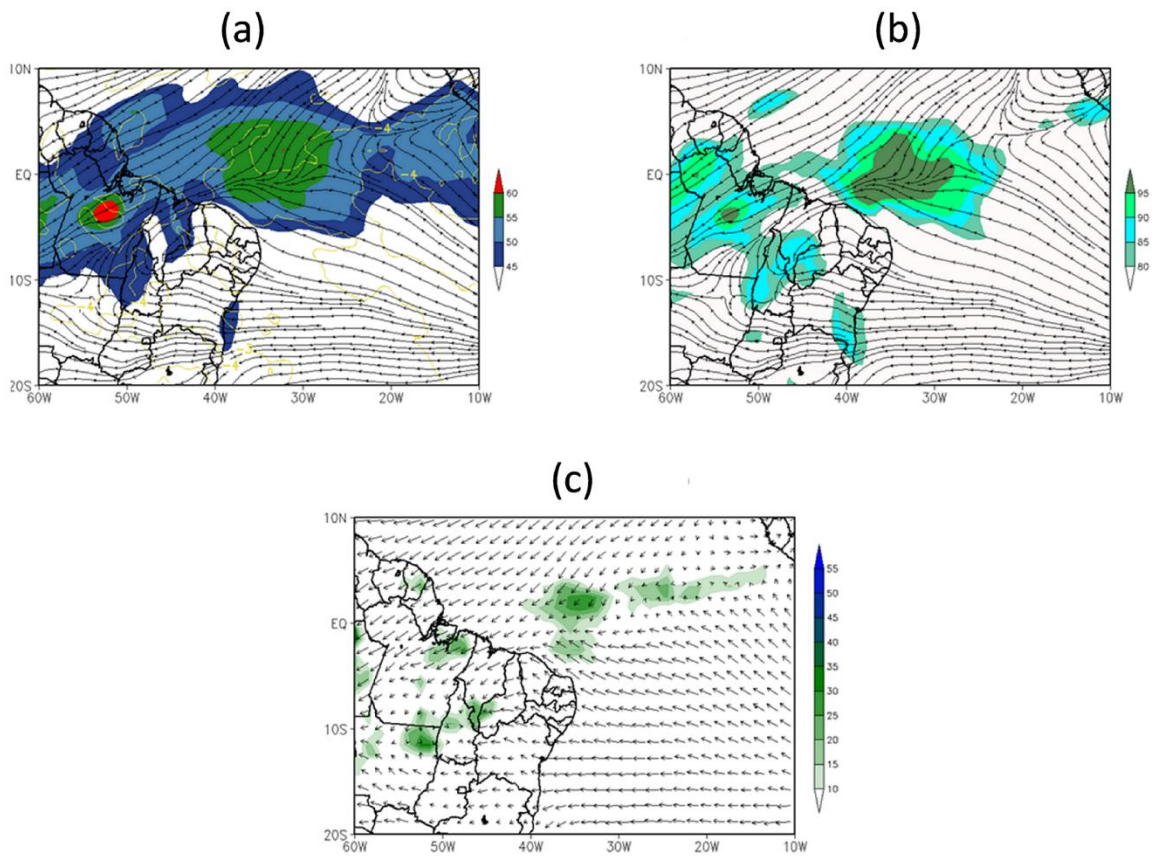
**Figura 3:** Campos meteorológicos no dia 13/02/2013 às 12Z (a) Água precipitável (mm) + Omega em 500 hPa (Pa/s); (b) Umidade relativa média entre 850 e 700 hPa (%) + Linhas de corrente (m/s) em 925 hPa ; (c) Precipitação diária (mm) + Vento em 925 hPa (m/s).



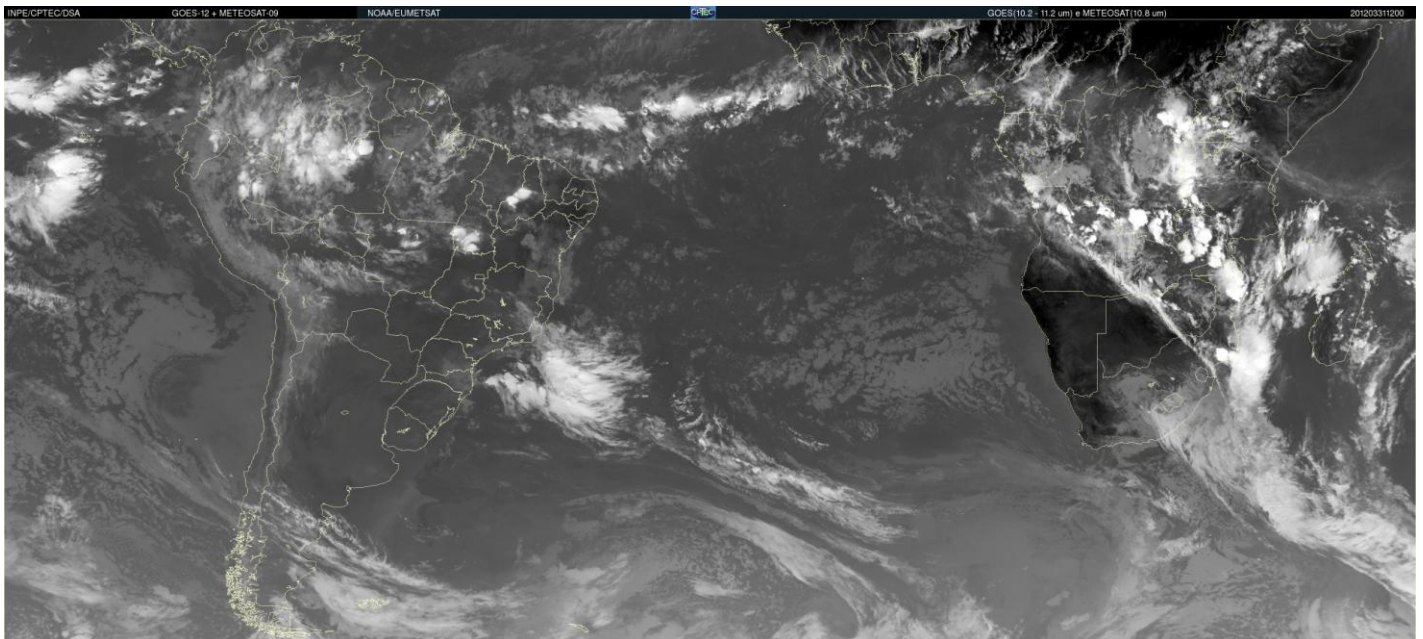
**Figura 4:** Imagem do satélite GOES 12 + METEOSAT – 9 no canal infravermelho, ilustrando a banda dupla da ZCIT em 13/02/2013, às 12 UTC. Fonte: CPTEC/INPE.

A figura 5 apresenta outro caso de ocorrência de banda dupla registrado pelo GPT. Observa-se por esta figura que os aspectos característicos da banda dupla da ZCIT não são tão evidentes quanto o caso da figura 3, isso evidencia a dificuldade que o previsor do GPT pode encontrar no momento de identificar casos de banda dupla por essas variáveis.





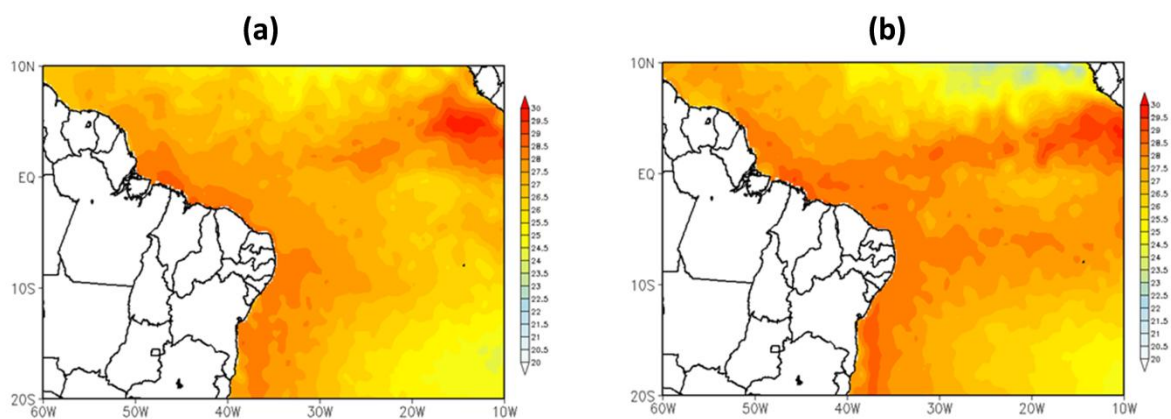
**Figura 5:** Campos meteorológicos no dia 31/03/2012 às 12Z (a) Água precipitável (mm) + Omega em 500 hPa (Pa/s); (b) Umidade relativa média entre 850 e 700 hPa (%) + Linhas de corrente (m/s) em 925 hPa ; (c) Precipitação diária (mm) +Vento em 925 hPa (m/s).



**Figura 6:** Imagem do satélite GOES 13 + METEOSAT – 10 no canal infravermelho, ilustrando a banda dupla da ZCIT em 31/03/2012, às 12 UTC. Fonte: CPTEC/INPE.

Após obter os campos meteorológicos de ROL, TSM, convergência de massa a 10 metros e divergência em 250 hPa para os casos de banda dupla estudados, foi possível perceber que o campo de TSM conseguiu destacar a banda dupla com certa superioridade em relação aos demais campos.

A figura 7 apresenta o campo meteorológico de TSM para os dois casos mostrados acima. Por essa figura é possível notar a presença de duas regiões com TSM mais aquecidas e entre elas uma região TSM mais fria, evidenciando assim a presença de banda dupla.

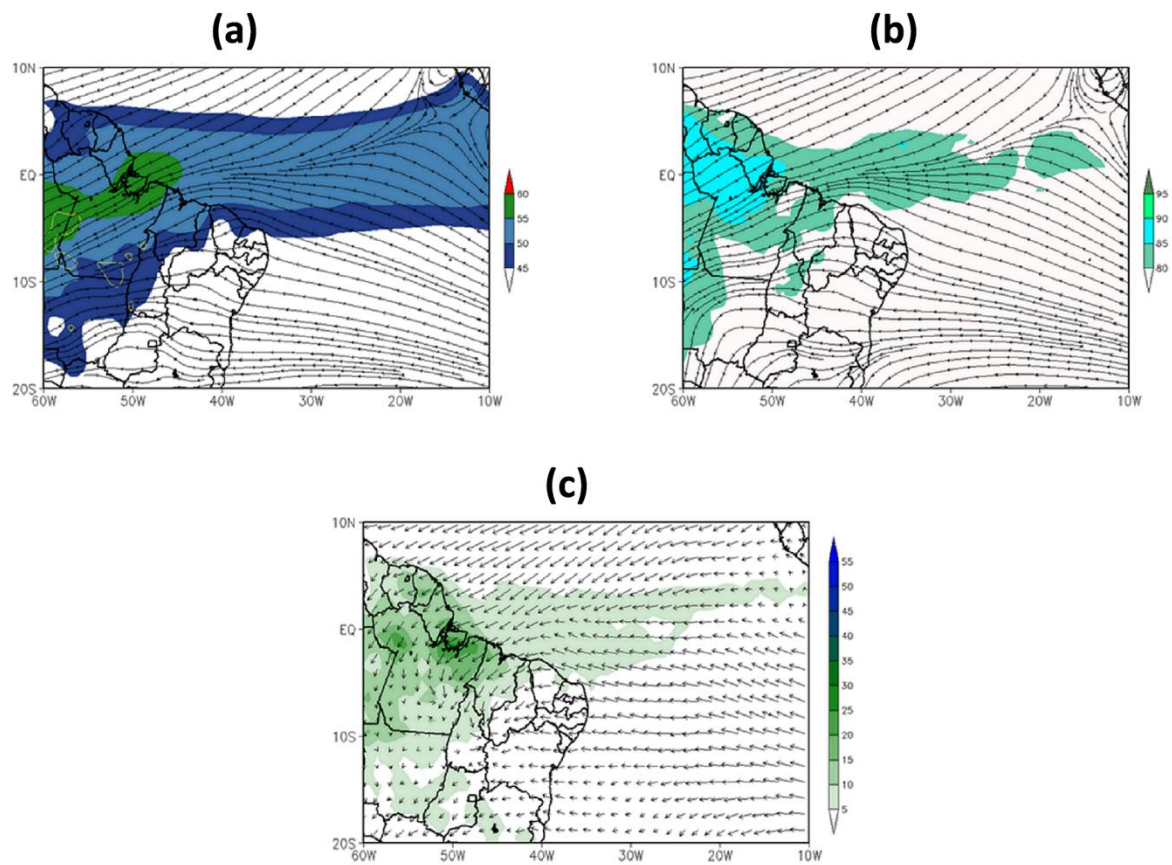


**Figura 7:** Campo meteorológico de TSM (a) 13/02/2013 às 12Z; (b) 31/03/2012 às 12Z.

### 4.3 Composição de Campos Meteorológicos

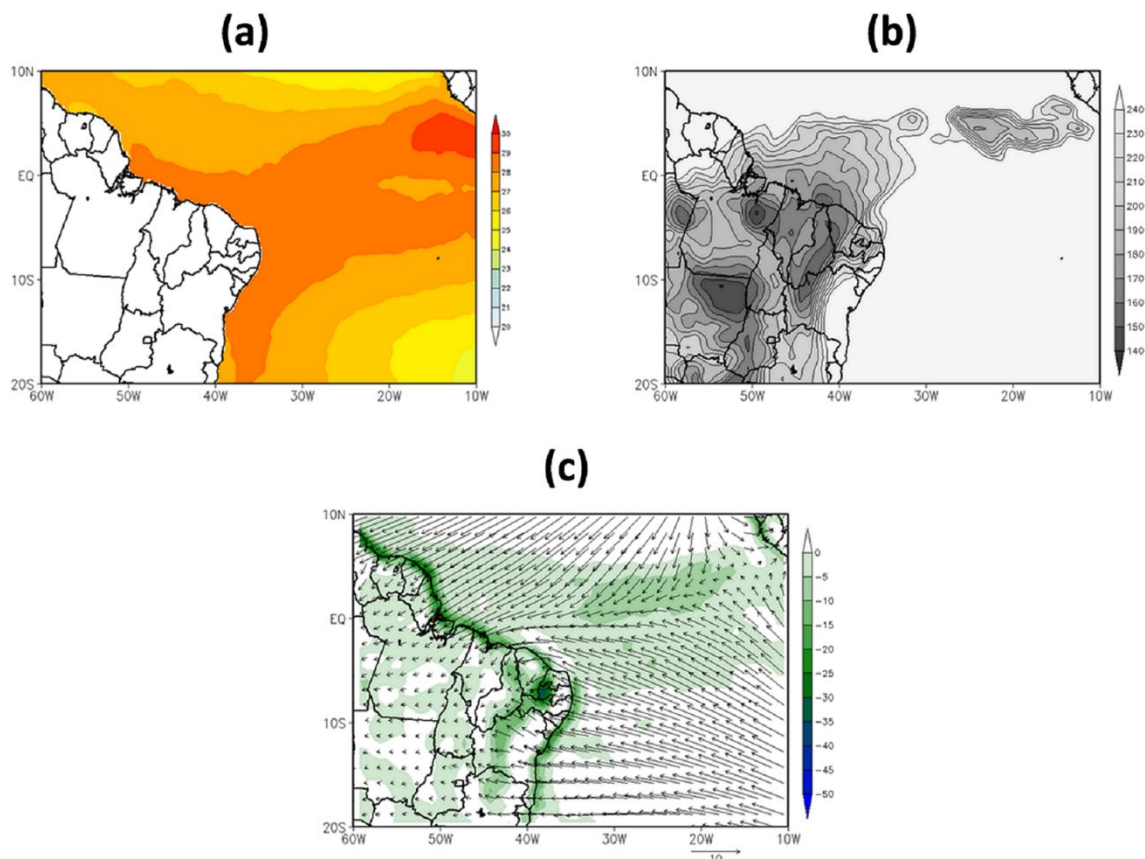
Nas figuras abaixo são apresentadas a composição das variáveis atmosféricas já citadas, utilizando todos os casos de banda dupla. Nota-se que entre os campos atmosféricos da figura 8, o que melhor consegue representar as características da banda dupla é o campo de precipitação. Apesar dos mapas de precipitação se mostrarem bastantes sensíveis às ocorrências de banda dupla, não é sempre que esta variável é útil na identificação, uma vez que em certos casos a ZCIT não apresenta chuva.

Considerando, a composição de casos das variáveis da figura 9, vê-se que a TSM é a variável que apresenta as duas regiões características de ocorrência de banda dupla, enquanto os campos de ROL e de convergência de massa não evidenciam tal característica. Essa observação sugere que o campo de TSM também deve ser analisado no momento da identificação da banda dupla da ZCIT



**Figura 8:** Composição de campos meteorológicos para os dias de banda dupla (a) Água precipitável (mm) + Omega em 500 hPa (Pa/s); (b) Umidade relativa média entre 850 e 700 hPa (%) + Linhas de corrente (m/s) em 925 hPa ; (c) Precipitação diária (mm) +Vento em 925 hPa (m/s).





**Figura 9:** Composição de campos meteorológicos para os dias de banda dupla (a) TSM; (b) ROL; (c) Convergência de massa a 10 m + Vento a 10 m (m/s).

## 5. CONCLUSÕES

Através da análise das cartas sinóticas de superfície produzidas pelo GPT do CPTEC foi possível identificar ocorrências de banda dupla da ZCIT no Atlântico. Essa identificação foi feita considerando um período de 6 anos (2010 a 2015). Os objetivos desse estudo foram analisar as características médias, como tempo de vida e posicionamento latitudinal dessas bandas duplas. Um segundo objetivo do estudo foi identificar a banda dupla da ZCIT mediante a utilização de determinadas variáveis atmosféricas.

Este trabalho conseguiu reforçar os conhecimentos climatológicos da banda dupla da ZCIT do Atlântico, sistema este que impacta diretamente a quantidade de chuva sobre o norte do NEB. As ocorrências de bandas duplas foram identificadas entre os meses de janeiro a maio, sendo que o mês preferencial de ocorrência foi o mês de abril. Os casos que ocorreram durante o outono apresentaram maior tempo de vida que as do verão. De forma geral, o posicionamento médio dessas bandas duplas ocorre entre as latitudes de 3°N e 3°S.

Os resultados indicaram que para se realizar a identificação da banda dupla da ZCIT deve-se utilizar não só uma variável atmosférica, mas várias, pois em certos casos uma variável é mais sensível do que outra à ocorrência de banda dupla. Este resultado mostra o quão difícil é a identificação da banda dupla do Atlântico.

Dentre as variáveis mais adequadas para identificar a banda dupla da ZCIT, pode-se citar a água precipitável, umidade relativa média entre os níveis de 850 e 700 hPa, velocidade vertical ( $\omega$ ) em 500 hPa e linhas de corrente em 925 hPa, variáveis estas já utilizadas pelos previsores do GPT na identificação.

Sugere-se para o GPT do CPTEC incluir em seu método de identificação de bandas duplas, a análise da TSM e da precipitação, pois como foi visto neste estudo, estas variáveis foram a que melhor indicaram as características da banda dupla da ZCIT no Atlântico.

## 6. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

COELHO, M.S.; GAN, M.A.; CONFORTE, J.C. Estudo da variabilidade da posição e da nebulosidade associada à ZCIT do Atlântico, durante a estação chuvosa de 1998 e 1999 no nordeste do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 19, n. 1, p. 23-34, 2002.

ESTOQUE, M. A; DOUGLAS. M.. Structure of the Intertropical Convergence Zone Over the GATE area. *Tellus*, 30, p. 55-61, 1978.

FERREIRA, N. S. **Zona de Convergência Intertropical**. 10<sup>a</sup> Ed. Cachoeira Paulista: CLIMANÁLISE, 1996. 235 p.

HASTENRATH, S.; HELLER, L. Dynamics of climatic hazard in the Northeast Brazil. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, 103, 77-92. 1977.

HASTENRATH, S. **Climate Dynamics of tropics**. Kluwer, Dordrecht, 1991. 488 p.

HUBERT, L. F., A. F; KRUEGER; WINSTON, J. S., The double intertropical convergence zone - fact or fiction?, *J. Atmos. Sci.*, 26, 771– 773, 1969.

KRISHNAMURTI, T.N.; STEFANOVA, L; MISRA, V. **Tropical Meteorology – An Introduction**. Springer, New York, 2013.

MITCHELL, T. P., WALLACE J. M., 1992: The annual cycle in equatorial convection and sea surface temperature. *J. Climate*, **5**, 1140–1156.

MELO, A.B.C.; NOBRE, P.; MENDES, D.; BOTTINO, M.J. A Zona de Convergência



Intertropical sobre o oceano Atlântico: climatologia. **Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia**, p. 682-686, Foz do Iguaçu, 2002.

MOURA, A. D.; SHUKLA, J. On the dynamics of the droughts in Northeast Brazil: Observations, theory and numerical experiments with a general circulations model. **Journal of the Atmospheric Science**, v.38,n.12,p.2653-2673. 1981.

PENNA, C. et al. Estudo das Características da Banda Dupla da ZCIT no Oceano Atlântico. In: **VIII Seminário de Recursos Naturais (SEMEAR)**, Universidade Federal de Itajubá, 2013.

REBOITA, M.S.; RODRIGUES, M.; ARMANDO, R.P.; FREITAS, C.; MARTINS, D.; MILLER, G. Causas da semiaridez do sertão nordestino. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 19, p. 254-277, jul/dez 2016.

UVO, C. B. A zona de convergência intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da região Norte do Nordeste Brasileiro. Dissertação de mestrado em Meteorologia, INPE, 1989.

WALISER, D. E.; C. GAUTIER. A satellite-derived climatology of the ITCZ, *J. Climate*, 6, 2162–2174, 1993.

XAVIER, T.M.B.S.; XAVIER, A.F.S.; DIAS, P.L.S.; DIAS, M.A.F. A Zona de Convergência Intertropical- ZCIT e suas relações com a chuva no Ceará (1964-98). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 15, n. 1, p. 27-43, 2000.

YNOUE, R.Y.; REBOITA, M.S.; AMBRIZZI, T.; SILVA, G.A.M. Meteorologia: noções básicas. **Oficina de Textos**, São Paulo, 2017. 184 p.

ZHANG, C. Double ITCZs. *J. Geophys. Res.*, 106, 11,785-11,792, 2001.