



MINISTÉRIO DA CIÊNCIA E TECNOLOGIA
INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS



CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMAS FRONTAIS EM LATITUDES TROPICAIS E SUBTROPICAIS DA AMÉRICA DO SUL

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

Amanda Caroline de Souza (Unifei, Bolsista PIBIC/CNPq)
E-mail: amanda.cs.ig@hotmail.com

Dr. Gustavo Carlos Juan Escobar (CPTEC/INPE, Orientador)
E-mail: gustavo.escobar@cptec.inpe.br

COLABORADORES

Dr. Michelle Simões Reboita (IRN/Unifei)

Junho de 2016

Ficha Catalográfica

SOUZA, Amanda Caroline

CARACTERIZAÇÃO DE SISTEMAS FRONTAIS EM LATITUDES
TROPICAIS E SUBTROPICAIS DA AMÉRICA DO SUL – Cachoeira
Paulista: INPE, 2016.

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

Universidade Federal de Itajubá - UNIFEI

1. Frentes Polares
2. Frentes Subtropicais
3. Cavados Baroclínicos
4. El Niño
5. La Niña

AGRADECIMENTOS

- A Deus por me amparar nos momentos difíceis, me dar força interior para superar as dificuldades, mostrar o caminho nas horas incertas e me suprir em todas as minhas necessidades.
- Ao meu orientador Dr. Gustavo Carlos Juan Escobar, por acreditar em mim, me mostrar o caminho da ciência, por acreditar no futuro deste projeto e contribuir para o meu crescimento profissional e por ser também um exemplo a ser seguido, me apoiar e auxiliar nas dúvidas e ideias, me compreender nas horas difíceis.
- A minha professora Dra. Michelle Simões Reboita, por ter me proporcionado a chance de realizar a pesquisa me indicando ao orientador, pelo apoio e ajuda sempre que necessário, pelos conhecimentos adquiridos em suas disciplinas na Universidade Federal de Itajubá.
- À minha família, a qual amo muito, pelo carinho, paciência e incentivo.
- Ao Dr. Alan Calheiros, pelo apoio e incentivo, pela ajuda em meu deslocamento até o INPE, e pelo exemplo de profissional atuante em minha área.
- Aos meus colegas do curso de Ciências Atmosféricas, pelo apoio e ajudas necessárias.
- Ao Programa Institucional de Bolsas PIBIC/PIBITI por fornecer investimento à pesquisa.

RESUMO

Este relatório apresenta um estudo aplicado para 8 cidades da América do Sul desde Porto Alegre/RS até o Nordeste brasileiro, sendo analisadas de 2010 a 2015. Foram analisadas cartas sinóticas disponibilizadas pelo CPTEC/INPE, na qual foi feito o acompanhamento do deslocamento dos sistemas frontais e cavados baroclínicos. Na metodologia foi criado um critério para identificar e distinguir frentes polares clássicas, frentes subtropicais e cavados baroclínicos. Os resultados mostraram que o número médio anual de frentes frias diminui à medida que se desloca para latitudes mais baixas. As cidades brasileiras obtiveram uma maior ocorrência de frentes frias no inverno e uma maior ocorrência de frentes subtropicais na primavera. Os cavados baroclínicos não apresentam grande variação sazonal, pois sua frequência é bem pequena quando comparada às frentes, devido sua maior ocorrência ser oceânica e não continental, porém geralmente atuam sobre o Sudeste e o sul da Bahia durante a estação chuvosa do Brasil (Outubro – Abril). Além da distribuição por tipo sistemas (Frentes Polares, Frentes Subtropicais e Cavados Baroclínicos), fora feita uma redistribuição dos mesmos sob influência de El Niño e La Niña, no qual o resultado obtido é que em anos de La Niña o número de frentes polares aumenta significativamente. Algumas composições foram realizadas considerando todas as ocorrências de 2010 a 2015, para mostrar o comportamento das variáveis meteorológicas na formação de cada tipo de sistema frontal e/ou cavado baroclínico, como Pressão ao Nível Médio do Mar, Geopotencial e Ventos Zonal e Meridional em 250 hPa, e Umidade Específica e Ventos Zonal e Meridional em 850 hPa.

Palavras-chave: Frentes Frias; Frentes Subtropicais; Cavados Baroclínicos; El Niño; La Niña; Composições.

SYSTEMS CHARACTERIZATION IN FRONT Latitudes tropical and subtropical SOUTH AMERICA

ABSTRACT

This report presents a study applied to 8 cities in South America from Porto Alegre / RS to the Brazilian Northeast, and analyzed from 2010 to 2015 were analyzed synoptic maps provided by CPTEC / INPE, which has made monitoring the displacement systems front and baroclinic digged. The methodology was established a criterion to identify and distinguish classical polar fronts, subtropical fronts and baroclinic digged. The results showed that the average annual number of cold fronts decreases as you move to lower latitudes. Brazilian cities had a higher occurrence of cold fronts in winter and a higher occurrence of subtropical fronts in the spring. The baroclinic troughs do not have large seasonal variation because its frequency is very small when compared to the fronts because of its greater occurrence be oceanic and not continental, but generally act on the southeast and south of Bahia during the rainy season in Brazil (October - April). Besides the distribution by type systems (fronts Fleece, fronts Subtropical and Dug baroclinic), was made a redistribution of the same under the influence of El Niño and La Niña, in which the result is that in La Niña years the number of polar fronts increases significantly. Some compositions were performed considering all occurrences from 2010 to 2015 to show the behavior of the meteorological variables in the formation of each type of frontal system and /or dug baroclinic, Pressure as the Middle Sea Level, Geopotential and Zonal Winds and South at 250 hPa, and Specific humidity and winds Zonal and Meridional at 850 hPa.

Keywords: Cold fronts; Subtropical fronts; Dug baroclinic; El Niño; La Niña; Compositions.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 – Acima esquerda: Carta sinótica de superfície mostrando uma frente polar “clássica” em cima de Porto Alegre/RS, na qual apresenta forte gradiente de espessura da camada 500/1000 hPa (linhas vermelhas tracejadas) e a quebra das isóbaras – linhas de pressão atmosférica – (linhas amarelas contínuas). Acima direita: Imagem de satélite mostrando a banda de nebulosidade à frente do sistema, configurando uma frente polar clássica. Fonte: Figura da esquerda foi obtida do INPE-CPTEC-GPT; Figura da direita do INPE-CPTEC-DSA.

Figura 2 – Acima esquerda: Carta sinótica de superfície mostrando uma frente subtropical próximo ao litoral de Vitória/ES, na qual apresenta fraco gradiente de espessura da camada 500/1000 hPa (linhas vermelhas tracejadas) e não há presença marcante de quebra das isóbaras – linhas de pressão atmosférica – (linhas amarelas contínuas). Acima direita: Imagem de satélite mostrando a banda de nebulosidade atrás do sistema, configurando uma frente subtropical. Fonte: Figura da esquerda foi obtida do INPE-CPTEC-GPT; Figura da direita do INPE-CPTEC-DSA.

Figura 3 – Acima esquerda: Carta de superfície mostrando o ramo frio do cavado baroclínico sobre São Paulo/SP. Acima direita: Imagem de satélite mostrando a nebulosidade associada antes do giro ciclônico do vento, ou seja, na frente do sistema em superfície. Fonte: Figura da esquerda foi obtida do INPE-CPTEC-GPT; Figura da direita do INPE-CPTEC-DSA.

Figura 4 – Representação das condições de El Niño, mostrando a circulação oceano-atmosfera, e como fica a termoclina em consequência dessa interação. Fonte: Obtida do INPE-CPTEC.

Figura 5 – Representação das condições normais, mostrando a circulação oceano-atmosfera, e como fica a termoclina em consequência dessa interação. Fonte: Obtida do INPE-CPTEC.

Figura 6 – Representação das condições de El Niño, condições normais e condições de La Niña, mostrando a circulação oceano-atmosfera, e como fica a termoclina em consequência dessa interação. Fonte: Obtida do INPE-CPTEC.

Figura 7 – Acompanhamento dos sistemas em Junho de 2011. A figura mostra o deslocamento de sistemas frontais e cavados baroclínicos para as cidades de Porto Alegre/RS, São Paulo/SP, Rio de Janeiro/RJ, Vitória/ES, Caravelas, Porto Seguro, Ilhéus e Salvador na Bahia. As linhas contínuas representam ocorrências às 00Z e as linhas tracejadas representam ocorrências às 12Z. As marcações em preto representam frentes polares clássicas, as marcações em vermelho frentes subtropicais e a marcação em azul (10/06/2011) representa um cavado baroclínico.

Figura 8 – Distribuição de sistemas (frentes polares, subtropicais e cavados baroclínicos) na cidade de Porto Alegre/RS.

Figura 9 – Distribuição de sistemas (frentes polares, subtropicais e cavados baroclínicos) na cidade de São Paulo/SP.

Figura 10 – Distribuição de sistemas (frentes polares, subtropicais e cavados baroclínicos) na cidade do Rio de Janeiro/RJ.

Figura 11 – Distribuição de sistemas (frentes polares, subtropicais e cavados baroclínicos) na cidade de Vitória/ES.

Figura 12 – Distribuição de sistemas (frentes polares, subtropicais e cavados baroclínicos) na cidade de Caravelas/BA.

Figura 13 – Distribuição de sistemas (frentes polares, subtropicais e cavados baroclínicos) na cidade de Porto Seguro/BA.

Figura 14 – Distribuição de sistemas (frentes polares, subtropicais e cavados baroclínicos) na cidade de Ilhéus/BA.

Figura 15 – Distribuição de sistemas (frentes polares, subtropicais e cavados baroclínicos) na cidade de Salvador/BA.

Figura 16 – Gráfico de Frentes Polares.

Figura 17 – Gráfico de Frentes Subtropicais.

Figura 18 – Gráfico de Cavados Baroclínicos.

Figura 19 – A figura mostra o mapa do Brasil com a divisão dos estados, e em destaque estão as oito cidades em estudo com a quantidade de sistemas que ocorreram no período de 2010 a 2015.

Figura 20 – A figura mostra o mapa do Brasil com a divisão dos estados, e em destaque estão as oito cidades em estudo com a quantidade de sistemas que ocorreram no período de 2010 a 2015.

Figura 21 – A figura mostra o mapa do Brasil com a divisão dos estados, e em destaque estão as oito cidades em estudo com a quantidade de sistemas que ocorreram no período de 2010 a 2015.

Figura 22 – A figura mostra a distribuição de passagem de frentes polares em anos de La Niña, anos de El Niño e anos neutros. A passagem de frentes foi dividida sazonalmente, onde nota-se a maior ocorrência de frentes polares clássicas em anos de La Niña em todas as estações do ano.

Figura 23 – A figura mostra a distribuição de passagem de subtropicais em anos de La Niña, anos de El Niño e anos neutros. Nota-se a maior ocorrência de frentes subtropicais em anos de La Niña nas estações de inverno e primavera. Uma distribuição equivalente no outono entre anos de La Niña e El Niño, e não houve registros de frentes subtropicais no verão.

Figura 24 – A figura mostra a distribuição de passagem de cavados baroclínicos em anos de La Niña, anos de El Niño e anos neutros. Nota-se a maior ocorrência de cavados baroclínicos em anos de La Niña na maioria das estações, com exceção apenas na primavera, sendo a estação com maior ocorrência de sistemas, independente do tipo de ano (La Niña, El Niño ou neutro).

Figura 25 – Composições de 2010 a 2015, com os campos de Pressão ao Nível Médio do Mar (a), Geopotencial e Ventos Zonal e Meridional em 250 hPa (b) e, Umidade Específica e Ventos Zonal e Meridional em 850 hPa (c).

Figura 26 – Composições de 2010 a 2015, com os campos de Pressão ao Nível Médio do Mar (a), Geopotencial e Ventos Zonal e Meridional em 250 hPa (b) e, Umidade Específica e Ventos Zonal e Meridional em 850 hPa (c).

Figura 27 – Composições de 2010 a 2015, com os campos de Pressão ao Nível Médio do Mar (a), Geopotencial e Ventos Zonal e Meridional em 250 hPa (b) e, Umidade Específica e Ventos Zonal e Meridional em 850 hPa (c).

Figura 28 – Composições de 2010 a 2015, com os campos de Pressão ao Nível Médio do Mar (a), Geopotencial e Ventos Zonal e Meridional em 250 hPa (b) e, Umidade Específica e Ventos Zonal e Meridional em 850 hPa (c).

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

CPTEC – Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos

GPT – Grupo de Previsão do Tempo

INPE – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

PNMM – Pressão ao Nível Médio do Mar

ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul

ZCOU – Zona de Convergência de Umidade

DJF – Dezembro, Janeiro, Fevereiro (Verão)

MAM – Março, Abril, Maio (Outono)

JJA – Junho, Julho, Agosto (Inverno)

SON – Setembro, Outubro, Novembro (Primavera)

RS – Rio Grande do Sul

SP – São Paulo

RJ – Rio de Janeiro

ES – Espírito Santo

BA - Bahia

SUMÁRIO

1 INTRODUÇÃO	14
2 DESENVOLVIMENTO	14
2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	14
2.1.1 FRENTE	14
2.1.2 FRENTE POLARES	14
2.1.3 FRENTE SUBTROPICAIS	15
2.1.4 CAVADOS BAROCLÍNICOS	16
2.1.5 EL NIÑO E LA NIÑA	17
2.2 METODOLOGIA	19
2.3 CRITÉRIOS DE IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS	19
2.4 CRITÉRIOS DE IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS (FORMA SINTÉTICA)	20
2.5 RESULTADOS	20
2.5.1 OCORRÊNCIA DE SISTEMAS FRONTAIS E CAVADOS BAROCLÍNICOS POR CIDADE.....	20
2.5.2 PASSAGEM DE SISTEMAS EM CADA ESTADO BRASILEIRO	25
2.5.3 RELAÇÃO DE PASSAGEM DE SISTEMAS FRONTAIS E CAVADOS BAROCLÍNICOS EM ANOS DE LA NIÑA, EL NIÑO E ANOS NEUTROS	26
2.5.4 COMPOSIÇÃO DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS	28
2.5.4.1 FRENTE POLARES	28
2.5.4.2 FRENTE SUBTROPICAIS	29
2.5.4.3 CAVADOS BAROCLÍNICOS	30
3 CONCLUSÃO	31
4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	32

1. INTRODUÇÃO

Os sistemas frontais são os sistemas meteorológicos mais importantes que modificam o tempo sobre as latitudes extratropicais e subtropicais da América do Sul. As frentes frias que atingem o continente sul-americano apresentam diferentes trajetórias; As frentes frias que apresentam uma trajetória mais zonal se deslocam principalmente pelo oceano Atlântico podendo também atingir latitudes baixas, como por exemplo, parte da região Sudeste e o leste da região Nordeste do Brasil. Dependendo da época do ano, as frentes frias que avançam pelo litoral e penetram em latitudes tropicais e subtropicais, onde são conhecidas como frentes frias polares que vem no sul do continente, sendo principalmente oceânicas e que vão perdendo contraste térmico conforme avançam para latitudes mais baixas (Kousky, 1979).

Esses sistemas, geralmente não apresentam as características de frentes frias “clássicas” mesmo mostrando baroclinia suficiente para mudar o tempo. Os cavados baroclínicos são sistemas frontais fracos em termos de gradiente de temperatura, porém tem características diferentes das frentes subtropicais, apresentando um gradiente significativo de umidade (água precipitável, temperatura de ponto de orvalho, umidade específica, entre outros) e a nebulosidade e chuva se formam na frente do sistema (Sanders, 2005).

Em muitos centros operacionais de previsão de tempo, estes sistemas meteorológicos são considerados como se fossem frentes frias clássicas polares. Porém, na maioria dos casos, as variáveis meteorológicas não satisfazem os critérios básicos de sistemas frontais definidos no início do século 20 (Bjerknes, 1922). Por exemplo, em muitas ocasiões, do lado frio da frente observam-se temperaturas mais altas do que do lado quente do sistema. Daí surge a importância e a necessidade de discriminar os sistemas frontais clássicos daqueles mais fracos denominados subtropicais ou cavados baroclínicos que geralmente influenciam o tempo sobre parte das latitudes subtropicais e tropicais.

Estudar os períodos de ocorrência de cada tipo de sistema frontal auxilia na previsão do mesmo e com isso é possível estimar se haverá mais ou menos ocorrências de frentes frias ou subtropicais em determinadas regiões, considerando-se a variação sazonal.

Diante do exposto, o objetivo desse estudo é identificar a ocorrência de frentes frias e subtropicais ou cavados baroclínicos na América do Sul num período de 6 anos (2010 a 2015) e verificar quais são as variáveis meteorológicas associadas a cada tipo de sistema que permitam diferenciar um sistema frontal clássico de um sistema frontal subtropical, assim como a identificação de um cavado baroclínico. Um acompanhamento dos sistemas será realizado a fim de ver o deslocamento das frentes, essa identificação será de acordo com os registros das cartas sinóticas do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC).

Composições de variáveis meteorológicas, como por exemplo, pressão ao nível médio do mar, geopotencial e ventos em 250 hPa, umidade específica e ventos em 850 hPa, realizadas considerando-se as ocorrências de 2010 a 2015, são feitas com o intuito de facilitar a compreensão do comportamento atmosférico para a formação dos sistemas em estudo. As composições são feitas separadamente para cada uma das 8 cidades (Porto Alegre/RS, São Paulo/SP, Rio de Janeiro/RJ, Vitória/ES, Caravelas/BA, Porto Seguro/BA, Ilhéus/BA e Salvador/BA).

2. DESENVOLVIMENTO

2.1 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1.1 FRENTES

Zona frontal ocorre quando duas massas de ar de diferentes características aproximam-se formando uma zona de transição com elevados gradientes horizontais de temperatura e umidade (Kousky e Elias, 1982). Frente é a intersecção entre a superfície da zona frontal e a superfície da Terra (Reboita, 2013), ou seja, é uma região de transição vertical entre massas de ar com características térmicas distintas. De acordo com seu movimento e temperatura as frentes podem ser classificadas como frias, quentes, oclusas e estacionárias.

2.1.2 FRENTES POLARES

A primeira classificação aceita de frentes polares ou frentes “clássicas” foi introduzida por Bjerknes em 1919, na qual havia um modelo conceitual onde possuía duas regiões de convergência de massa, chamadas de frente fria e frente quente. Com a colaboração de Solberg em 1922, Bjerknes descreveu que os ciclones

extratropicais são formados ao longo de uma linha que apresenta descontinuidade, chamada de frente polar, na qual separa uma massa de ar polar mais densa de outra menos densa, tendo origem tropical. Um ciclo de vida bem definido também teria sido estabelecido por ambos, onde se inicia (fase de frontogênese) como uma onda de pequena amplitude sobre a frente polar semi estacionária. Essa perturbação se intensifica até chegar ao estágio maduro, começando a decair (fase de frontólise) quando a frente fria se sobrepõe à frente quente, entrando em fase de oclusão.

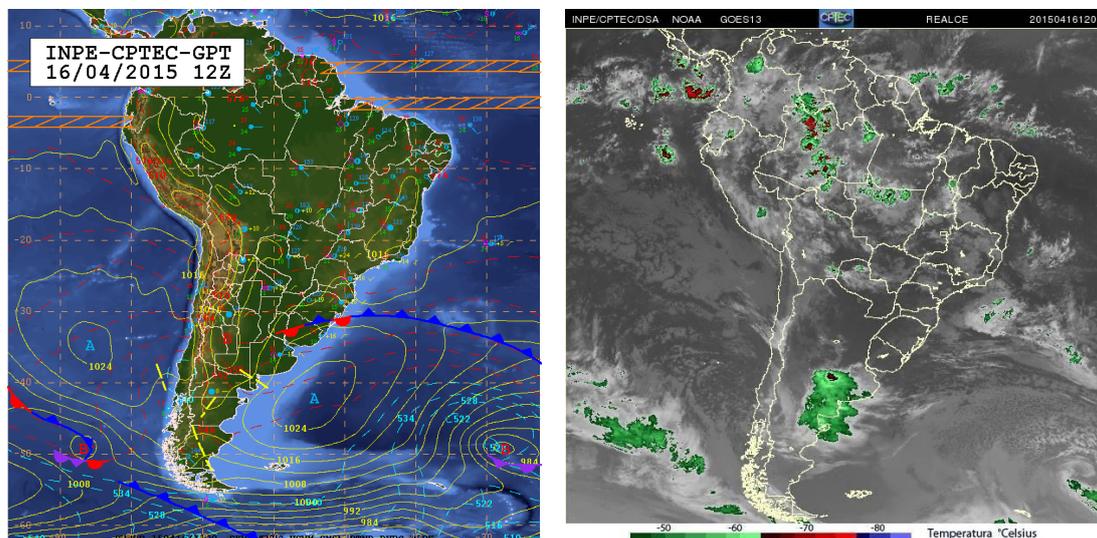


Figura 4 – Acima esquerda: Carta sinótica de superfície mostrando uma frente polar “clássica” em cima de Porto Alegre/RS, na qual apresenta forte gradiente de espessura da camada 500/1000 hPa (linhas vermelhas tracejadas) e a quebra das isóbaras – linhas de pressão atmosférica – (linhas amarelas contínuas). Acima direita: Imagem de satélite mostrando a banda de nebulosidade à frente do sistema, configurando uma frente polar clássica. Fonte: Figura da esquerda foi obtida do INPE-CPTEC-GPT; Figura da direita do INPE-CPTEC-DSA.

2.1.3 FRENTE SUBTROPICAIS

Sistemas denominadas frentes subtropicais são frentes frias polares que vem do sul do continente, sendo principalmente oceânicas e que vão perdendo contraste térmico conforme avançam para latitudes mais baixas. A banda de nebulosidade e a chuva associada também ficam, principalmente, atrás do sistema, similar à frente polar clássica. Outra característica importante destas frentes subtropicais é que o gradiente de temperatura do ponto de orvalho praticamente não existe, devido a esses sistemas serem predominantemente oceânicos. A ideia de uma frente subtropical é a de que uma frente polar avança sobre a América do Sul, onde mesmo perdendo suas propriedades, continua a trajetória em direção ao Nordeste influenciando o tempo de maneira significativa principalmente no Estado da Bahia (BA) (Kousky, 1979; Paegle, 1987).

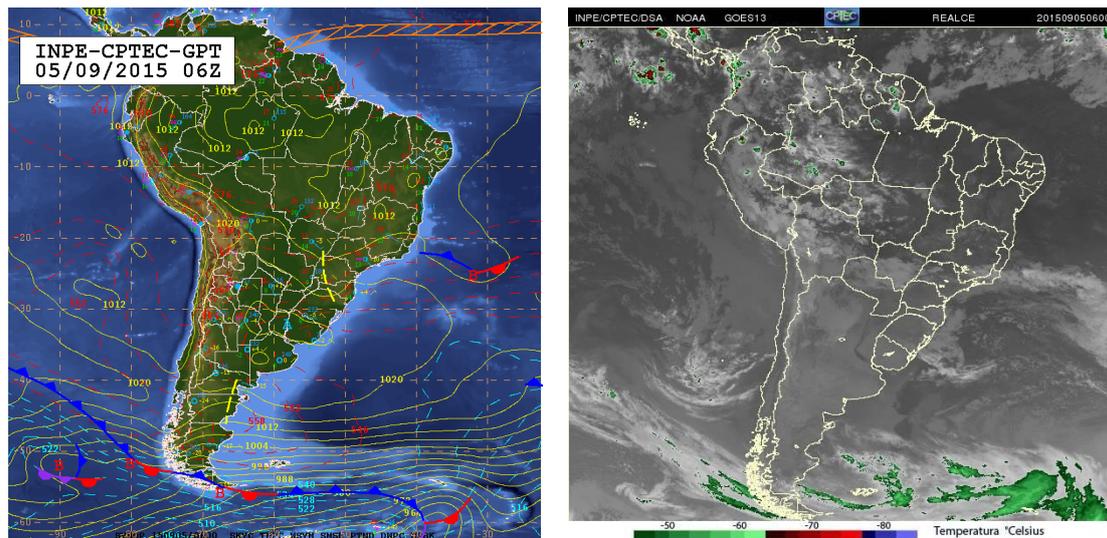


Figura 5 – Acima esquerda: Carta sinótica de superfície mostrando uma frente subtropical próximo ao litoral de Vitória/ES, na qual apresenta fraco gradiente de espessura da camada 500/1000 hPa (linhas vermelhas tracejadas) e não há presença marcante de quebra das isóbaras – linhas de pressão atmosférica – (linhas amarelas contínuas). Acima direita: Imagem de satélite mostrando a banda de nebulosidade atrás do sistema, configurando uma frente subtropical. Fonte: Figura da esquerda foi obtida do INPE-CPTEC-GPT; Figura da direita do INPE-CPTEC-DSA.

2.1.4 CAVADOS BAROCLÍNICOS

Os cavados baroclínicos (Sanders, 2005) são sistemas meteorológicos que também apresentam um fraco gradiente de temperatura em superfície e, com frequência, são confundidos com frentes polares clássicas (Bjerknes e Solberg 1922; Sanders 1999 e 2005; Schultz 2006). Os cavados baroclínicos representam o ramo frio de um ciclone extratropical cuja baroclinia é fraca. Estas ondas frontais costumam-se formar sobre oceano Atlântico, principalmente entre o Estado de Santa Catarina (SC) e o sul do Estado da Bahia (BA). Estes ciclones atuam entre os meses de outubro e abril e seus ramos frios ou “cavados baroclínicos” influenciam o tempo sobre grande parte da Região Sudeste do Brasil. Devido a que o contraste de temperatura do ar em superfície, provocado pelo deslocamento do cavado baroclínico é fraco, em várias ocasiões quase não é possível detectá-lo através da temperatura do ar em uma carta sinótica de superfície, sendo apenas possível observar um gradiente de umidade significativo, representado pela temperatura de ponto de orvalho. Outra diferença importante em relação às frentes frias polares é que a nebulosidade e a precipitação ocorrem no setor quente do sistema, antes do giro ciclônico do vento (Sanders 2005). Em muitas oportunidades, os cavados baroclínicos organizam episódios de ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) ou de ZCOU (Zona de Convergência de Umidade).

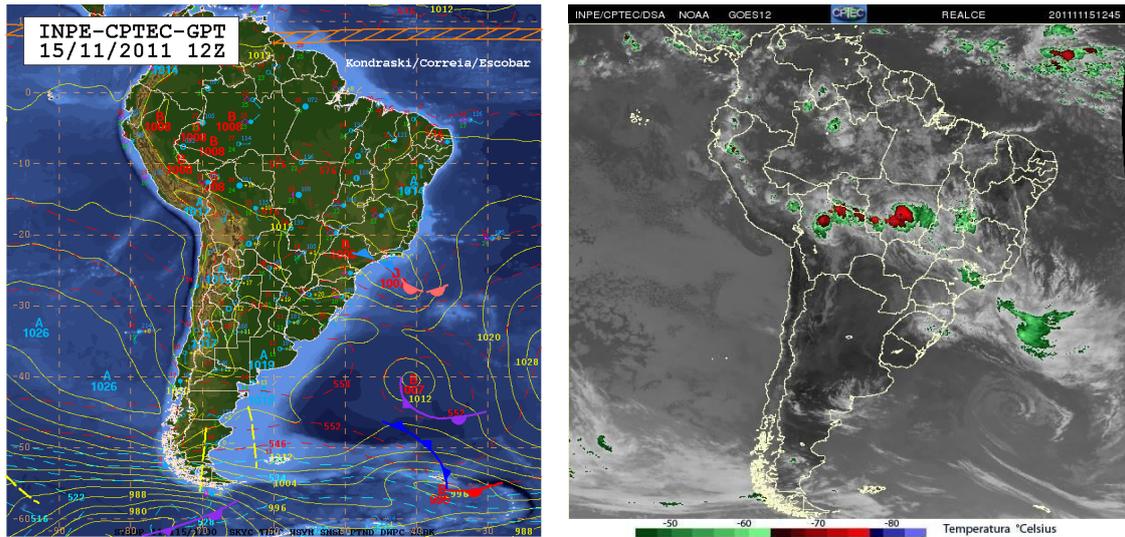


Figura 6 – Acima esquerda: Carta de superfície mostrando o ramo frio do cavado baroclínico sobre São Paulo/SP. Acima direita: Imagem de satélite mostrando a nebulosidade associada antes do giro ciclônico do vento, ou seja, na frente do sistema em superfície. Fonte: Figura da esquerda foi obtida do INPE-CPTEC-GPT; Figura da direita do INPE-CPTEC-DSA.

2.1.5 EL NIÑO E LA NIÑA

O fenômeno chamado El Niño é a representação de um aquecimento anormal das águas do Oceano Pacífico Equatorial. Atualmente, as anomalias do sistema climático representam uma alteração do sistema oceano-atmosfera, e causa consequências no tempo e no clima em todo o planeta. Tal definição considera não somente a presença de águas quentes, mas também as mudanças na atmosfera próxima à superfície do oceano, com o enfraquecimento dos ventos alísios (de leste para oeste) na região equatorial. Como consequência do aquecimento do oceano e do enfraquecimento dos ventos, mudanças começam a ser observadas na circulação atmosférica em baixos e altos níveis, determinando assim, mudanças nos padrões de transporte de umidade, e consequentemente, variações nas distribuições da precipitação em regiões tropicais e de latitudes médias e altas. É observado também aumento ou diminuição na temperatura em algumas partes do globo. Já o fenômeno La Niña apresenta características opostas ao El Niño, e caracteriza-se por um esfriamento anormal nas águas de superfície do Oceano Pacífico Tropical. Nem sempre uma região afetada pelo El Niño apresenta impactos significativos no tempo e no clima devido à La Niña, mesmo que alguns impactos de La Niña tendem a ser opostos aos de El Niño (O.S. Gilvan).

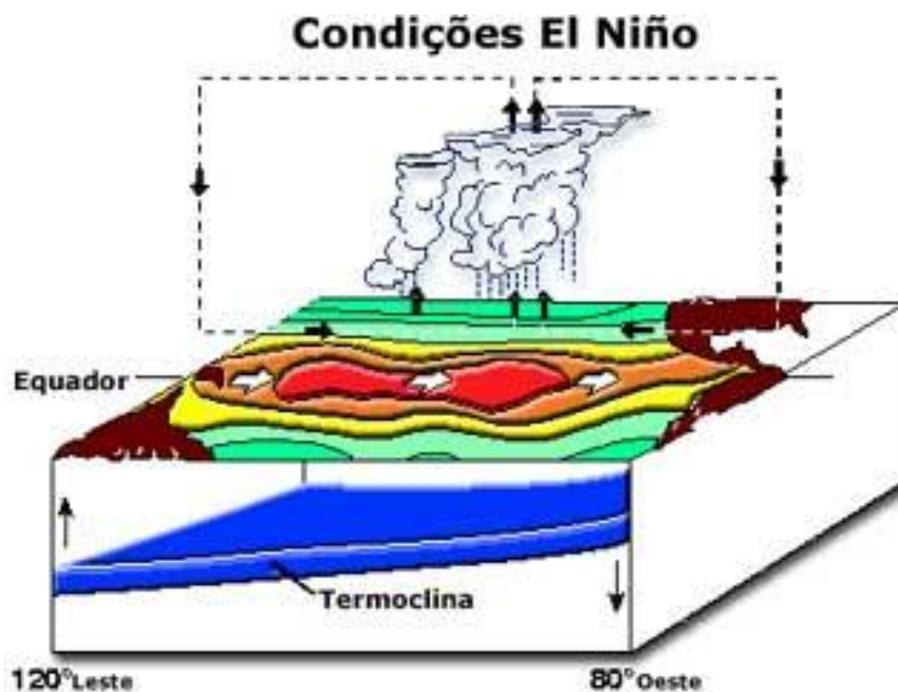


Figura 4 – Representação das condições de El Niño, mostrando a circulação oceano-atmosfera, e como fica a termoclina em consequência dessa interação. Fonte: Obtida do INPE-CPTEC.

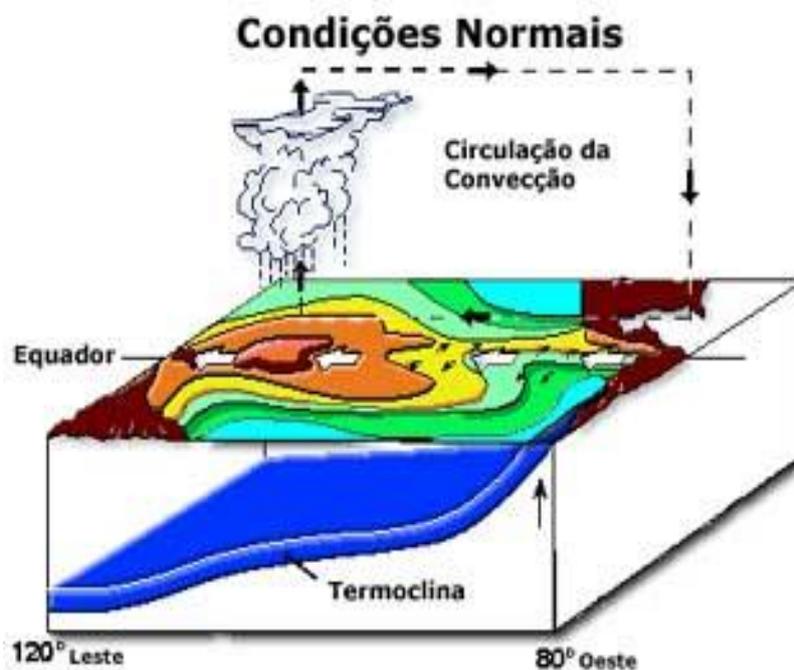


Figura 5 – Representação das condições normais, mostrando a circulação oceano-atmosfera, e como fica a termoclina em consequência dessa interação. Fonte: Obtida do INPE-CPTEC.

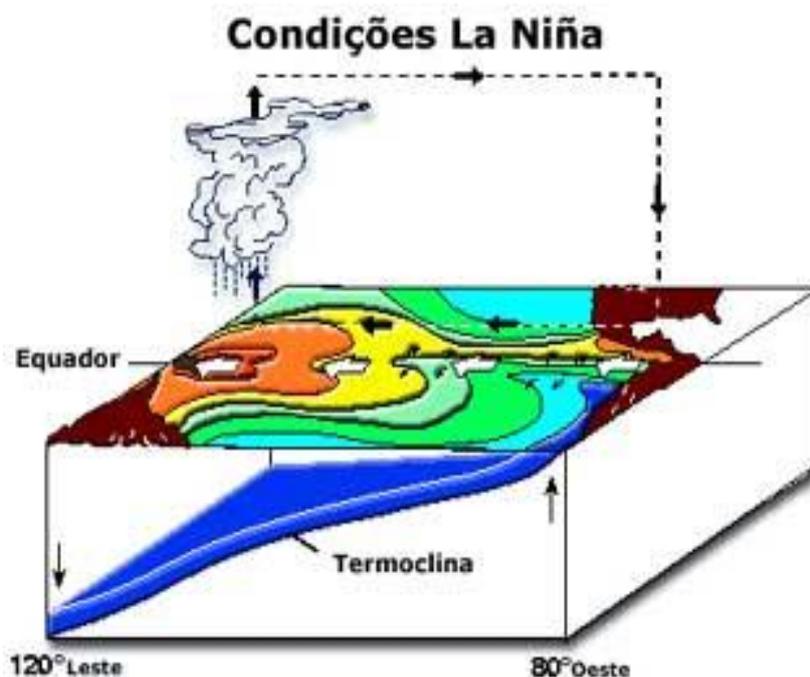


Figura 6 – Representação das condições de El Niño, condições normais e condições de La Niña, mostrando a circulação oceano-atmosfera, e como fica a termoclina em consequência dessa interação. Fonte: Obtida do INPE-CPTEC.

2.2 METODOLOGIA

A análise inicial foi realizada manualmente, observando as cartas sinóticas de superfície e altitude associadas com a atuação de sistemas frontais clássicos e sistemas frontais subtropicais ou cavados baroclínicos. O CPTEC possui uma base de dados com cartas sinóticas de aproximadamente 10 anos, onde abrangia o período de estudo (2010 a 2015). Nesse estudo foram utilizadas cartas sinóticas de superfície nos horários das 00, 06, 12 e 18 Z, disponibilizadas pelo Grupo de Previsão do Tempo (GPT) do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) de 2010 a 2015.

Para a realização do acompanhamento dos sistemas mostrando o deslocamento das frentes e cavados, foram marcadas apenas ocorrências de frentes às 00Z e 12Z, e com isso ocorrências das 06Z foram marcadas como ocorridas às 12Z e ocorrências das 18Z marcadas como ocorridas às 00Z do dia seguinte.

A partir desta análise, foi feita a identificação das principais variáveis meteorológicas de superfície e altitude associadas com cada um dos sistemas frontais identificados. Uma vez realizada esta identificação, um critério prático e objetivo de detecção de sistemas frontais subtropicais ou de cavados baroclínicos fora estabelecido. Este critério será avaliado diariamente no ambiente operacional do Grupo de Previsão de Tempo do CPTEC.

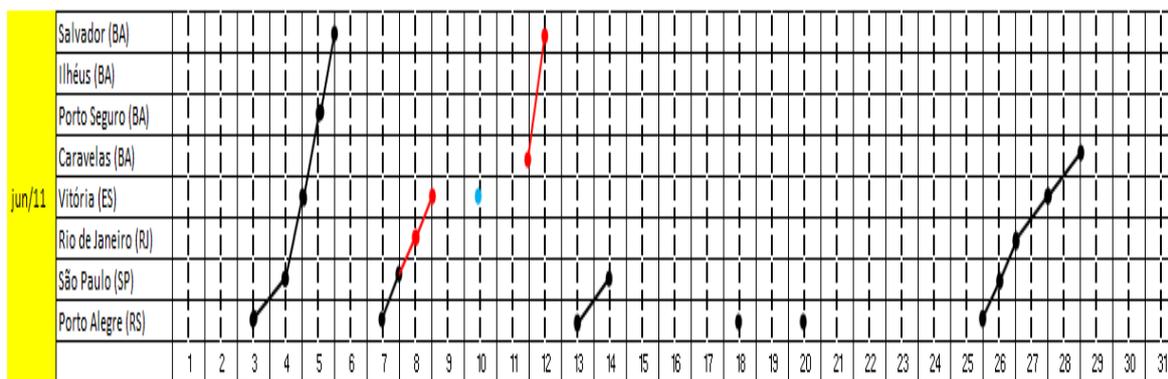


Figura 7 – Acompanhamento dos sistemas em Junho de 2011. A figura mostra o deslocamento de sistemas frontais e cavados baroclínicos para as cidades de Porto Alegre/RS, São Paulo/SP, Rio de Janeiro/RJ, Vitória/ES, Caravelas, Porto Seguro, Ilhéus e Salvador na Bahia. As linhas contínuas representam ocorrências às 00Z e as linhas tracejadas representam ocorrências às 12Z. As marcações em preto representam frentes polares clássicas, as marcações em vermelho frentes subtropicais e a marcação em azul (10/06/2011) representa um cavado baroclínico.

2.3 CRITÉRIOS DE IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS

➤ FRENTE POLARES:

- A frente fria localiza-se depois de um acentuado gradiente de temperatura e/ou espessura 500/1000 hPa e de temperatura de ponto de orvalho;
- Há a presença bem definida do jato polar norte em 250 hPa, no qual está associado à frente em superfície;
- Existe um acentuado gradiente de pressão com isóbaras quebradas, significando uma circulação ciclônica do vento;
- Pode acontecer o aparecimento do jato subtropical acoplado ao jato polar norte;
- A nebulosidade e precipitação ocorrem em uma pequena área localizada no lado frio (atrás do sistema);
- Ocorrem mais nos meses de Junho, Julho e Agosto.

➤ FRENTE SUBTROPICAIS:

- Existe um fraco gradiente de temperatura e/ou espessura, significando uma fraca baroclinia;
- Observa-se circulação ciclônica do vento e presença de fraco gradiente de pressão e isóbaras normalmente sem quebras;
- A nebulosidade e precipitação associada ocorrem em uma grande área localizada principalmente atrás do sistema, similar à frente polar clássica;
- O gradiente de temperatura do ponto de orvalho praticamente não existe, devido a esses sistemas serem principalmente oceânicos;
- Não existe a presença de um jato polar associado diretamente, porém, quase sempre aparece o jato subtropical;
- Ocorrem mais nos meses de Agosto, Setembro e Outubro.

➤ CAVADOS BAROCLÍNICOS:

- Existe um fraco gradiente de temperatura;
- Apresentam um significativo gradiente de umidade (água precipitável, temperatura do ponto de orvalho, umidade específica, entre outros);
- A banda de nebulosidade e a chuva associada se formam no lado quente do sistema (à frente do sistema);
- Em muitas oportunidades organizam episódios de ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) ou de ZCOU (Zona de Convergência de Umidade);
- Geralmente representam ramos frios fracos de ciclones extratropicais também fracos;
- Não possuem jato polar associado, porém sempre têm associado o jato subtropical;
- Ocorrem mais na estação chuvosa do Brasil, de Outubro a Abril.

2.4 CRITÉRIOS DE IDENTIFICAÇÃO DE SISTEMAS (FORMA SINTÉTICA):

Como auxílio de identificação e distinção de sistemas frontais e cavados baroclínicos para os meteorologistas na prática, tem-se a simplificação dos critérios, tomando como base as características mais importantes e de fácil observação na carta sinótica de superfície e na imagem de satélite (disponibilizadas pelo CPTEC/INPE).

- Se houver bastante gradiente de pressão, quebração das isóbaras e nebulosidade atrás do sistema, é uma *frente polar clássica*.
- Se houver pequeno gradiente de pressão e pouca quebração das isóbaras, pode ser uma frente subtropical ou um cavado baroclínico: *frente subtropical* (nebulosidade atrás do sistema) e *cavado baroclínico* (nebulosidade à frente do sistema).

2.5 RESULTADOS

2.5.1 OCORRÊNCIA DE SISTEMAS FRONTAIS E CAVADOS BAROCLÍNICOS POR CIDADE

De acordo com os registros de passagens de frentes frias nas cartas sinóticas do CPTEC para toda região em estudo no período de 2010 a 2015, nota-se que o número anual de sistemas diminui para latitudes mais baixas, já para frentes subtropicais e cavados baroclínicos, a quantidade anual de sistemas aumenta conforme a latitude diminui. Na cidade de Porto Alegre, num período de 2010 a 2015, a maior ocorrência de frentes polares foi registrada no inverno, maior presença de cavados baroclínicos na primavera, e nenhuma passagem de frentes subtropicais na região (Figura 8). Na cidade de São Paulo, a maior ocorrência de frentes polares também foi registrada no inverno, assim como uma maior presença de cavados baroclínicos na primavera, e nenhuma passagem de frentes subtropicais (Figura 9). No Rio de Janeiro houve maior ocorrência de frentes polares no inverno, maior presença de cavados baroclínicos na primavera, e algumas passagens de frentes subtropicais na região, com maior frequência no outono (Figura 10). Em Vitória, para o mesmo período de estudo, houve maior ocorrência de frentes polares entre os meses de Maio a Setembro, uma maior presença de cavados baroclínicos na primavera, e algumas poucas passagens de frentes subtropicais (Figura 11). Na cidade de Caravelas, houve uma ocorrência crescente de frentes polares entre os meses de Março a Setembro, onde começam a diminuir a partir de Outubro, maior presença de cavados baroclínicos na primavera, e um aumento na passagem de frentes subtropicais na região (Figura 12). Em Porto Seguro foi registrada uma ocorrência crescente de frentes polares entre os meses de Julho e Agosto, maior frequência de cavados baroclínicos na primavera, e ocorrência de frentes subtropicais com máximo também na primavera (Figura 13). Na cidade de Ilhéus, houve um máximo de ocorrências de frentes polares em Outubro, máxima ocorrência de cavados baroclínicos na primavera, e algumas poucas passagens de frentes subtropicais na região (Figura 14). E por fim, na cidade de Salvador/BA, num período de 2010 a 2015, a Figura 15 mostra

uma ocorrência mínima de frentes polares (apenas 2 em 6 anos), presença mínima de cavados baroclínicos (na primavera), e ocorrência de frentes subtropicais na região, porém, também com baixa frequência.

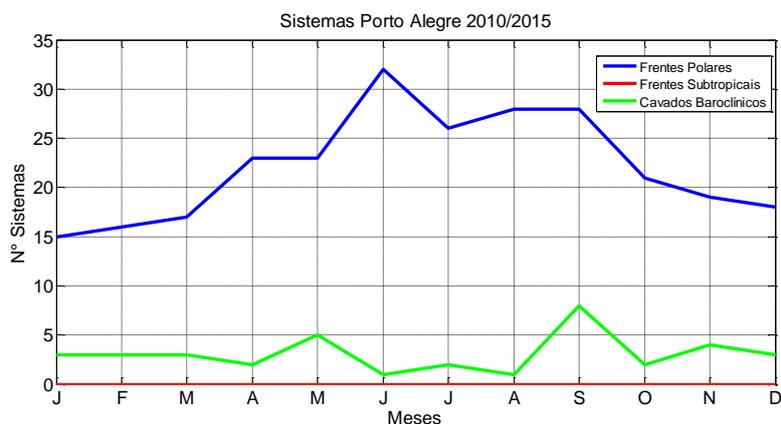


Figura 8 – Distribuição de sistemas (frentes polares, subtropicais e cavados baroclínicos) na cidade de Porto Alegre/RS.

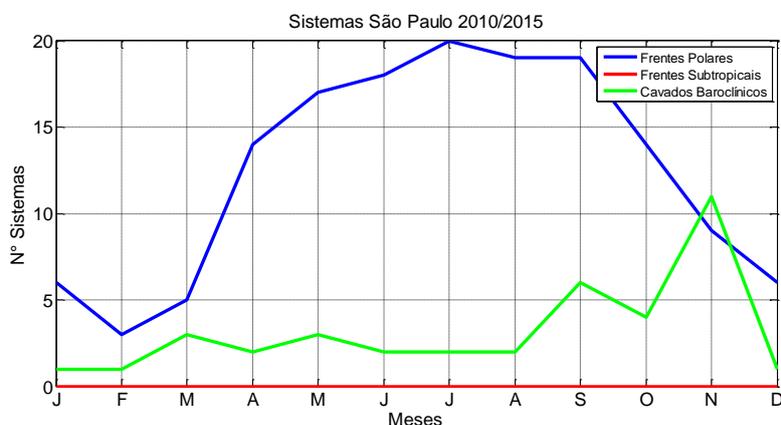


Figura 9 – Distribuição de sistemas (frentes polares, subtropicais e cavados baroclínicos) na cidade de São Paulo/SP.

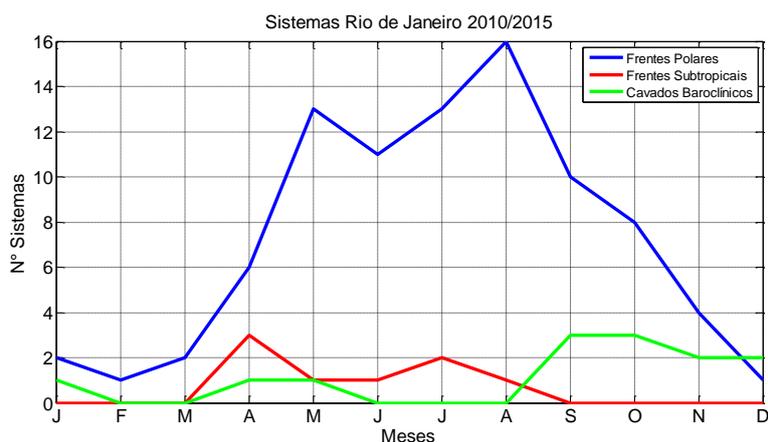


Figura 10 – Distribuição de sistemas (frentes polares, subtropicais e cavados baroclínicos) na cidade do Rio de Janeiro/RJ.

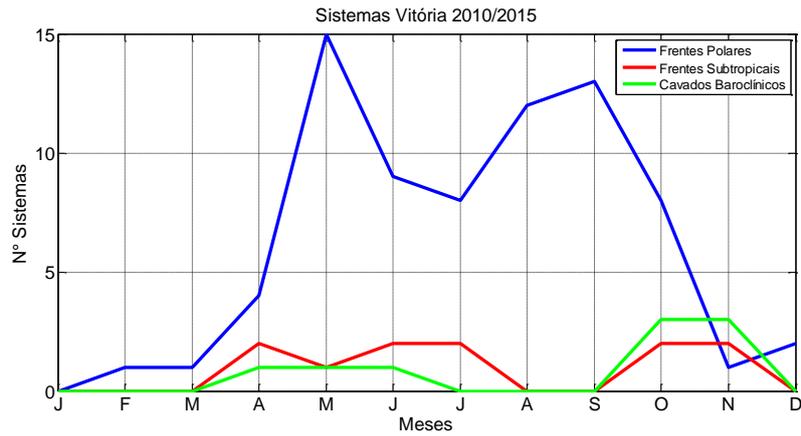


Figura 11 – Distribuição de sistemas (frentes polares, subtropicais e cavados baroclínicos) na cidade de Vitória/ES.

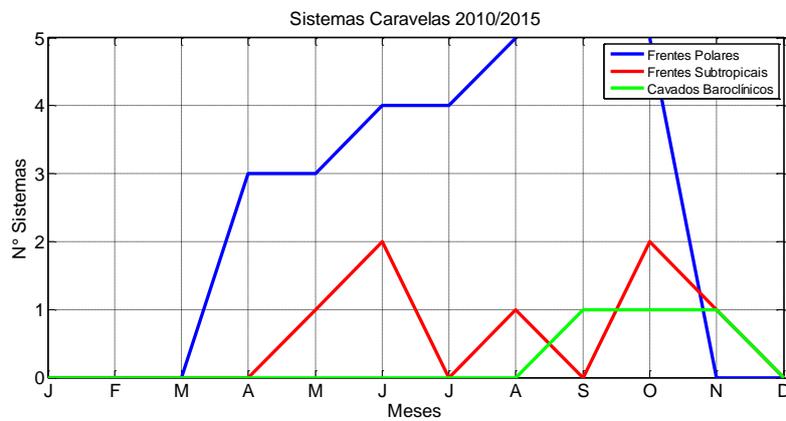


Figura 12 – Distribuição de sistemas (frentes polares, subtropicais e cavados baroclínicos) na cidade de Caravelas/BA.

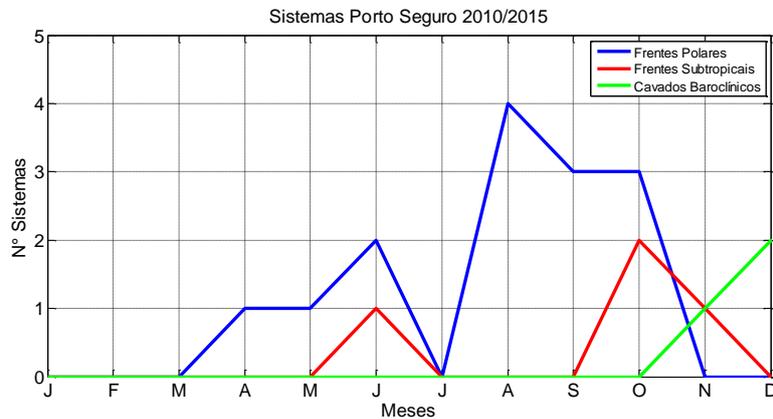


Figura 13 – Distribuição de sistemas (frentes polares, subtropicais e cavados baroclínicos) na cidade de Porto Seguro/BA.

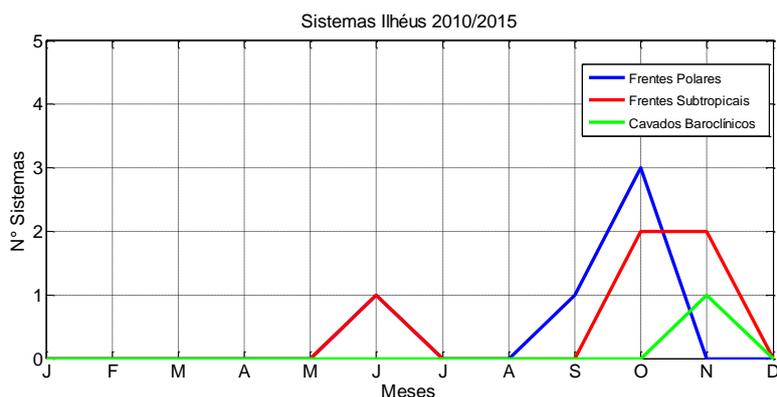


Figura 14 – Distribuição de sistemas (frentes polares, subtropicais e cavados baroclínicos) na cidade de Ilhéus/BA.

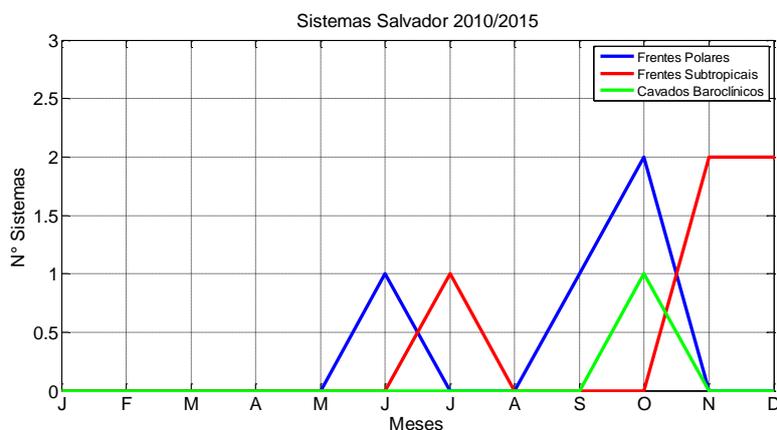


Figura 15 – Distribuição de sistemas (frentes polares, subtropicais e cavados baroclínicos) na cidade de Salvador/BA.

Frentes polares (destacadas em azul), frentes subtropicais (destacadas em vermelho) e cavados baroclínicos (destacados em verde) têm distribuição sazonal bastante significativa nos estados brasileiros, desde Porto Alegre/RS até Salvador/BA. A maior quantidade de frentes polares acontece no inverno (JJA), e a menor acontece no verão (DJF). A quantidade de frentes polares diminui conforme a latitude diminui, ou seja, a quantidade de passagem de frentes frias no Sul do Brasil é maior que no Nordeste. Nota-se o contrário para frentes subtropicais, onde a quantidade de sistemas aumenta conforme diminui a latitude, ou seja, a medida que desloca-se para o Nordeste do Brasil, a quantidade desses sistemas aumenta. Há distinção também na sua distribuição sazonal, onde a maior frequência se dá na primavera (SON) e a menor no inverno (JJA). Observa-se que não há presença de frentes subtropicais em Porto Alegre/RS e São Paulo/SP durante o ano todo. Já para cavados baroclínicos, nota-se uma maior ocorrência dos meses chuvosos do ano (Outubro à Abril).

Uma outra forma ilustrativa de comparação entre os sistemas polares, subtropicais e cavados baroclínicos pode ser vista abaixo, na qual os gráficos mostram como é a distribuição para cada cidade em estudo, apresentando o comportamento mensal de frentes polares em todas as cidades, o comportamento de frentes subtropicais, assim como o comportamento de cavados baroclínicos. A Figura 16 mostra a distribuição mensal para todas as cidades em estudo de 2010 a 2015, mostrando a maior ocorrência em latitudes mais altas no inverno (JJA), até chegar a mínimas ocorrências no Nordeste do Brasil. A Figura 17 mostra a distribuição mensal para todas as cidades em estudo de 2010 a 2015, mostrando a maior ocorrência de sistemas em latitudes mais baixas e que na maioria das cidades onde ocorrem mais frentes subtropicais, os casos ocorrem na primavera (SON). A Figura 18 mostra a distribuição mensal para todas as cidades em estudo de 2010 a 2015, mostrando que a maior ocorrência deste sistema se dá em períodos chuvosos do ano (de Outubro à Abril).

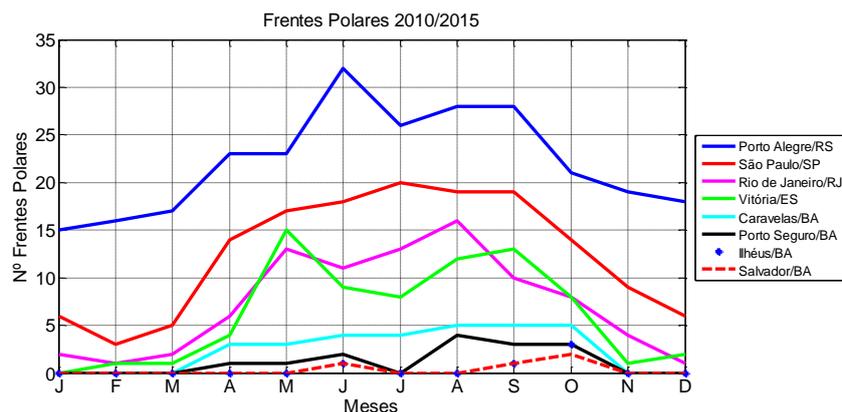


Figura 16 – Gráfico de Frentes Polares.

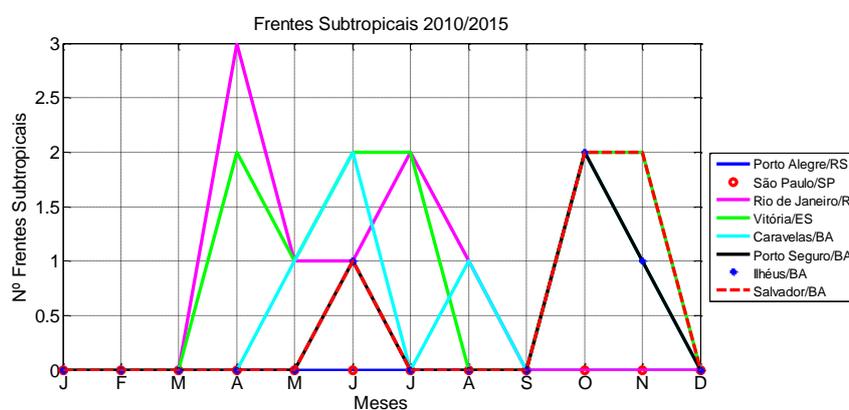


Figura 17 – Gráfico de Frentes Subtropicais.

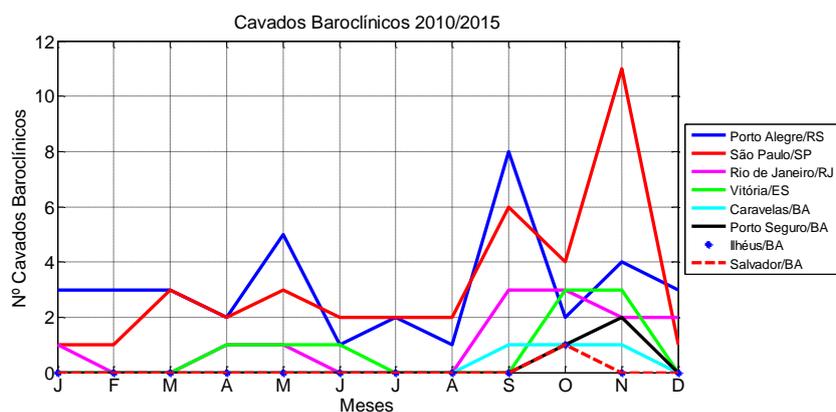


Figura 18 – Gráfico de Cavados Baroclínicos.

2.5.2 PASSAGEM DE SISTEMAS EM CADA ESTADO BRASILEIRO

As oito cidades brasileiras em estudo são mostradas abaixo numa relação de quantidade de sistemas que ocorreram no período de 2010 a 2015, onde nota-se uma maior ocorrência de frentes polares no sul do país, maior ocorrência de frentes subtropicais conforme aumenta a latitude, e uma maior ocorrência de cavados baroclínicos no sudeste brasileiro. A figura 19 mostra uma maior ocorrência de frentes polares no sul do Brasil (Porto Alegre/RS) e a diminuição de sistemas conforme aumenta a latitude, chegando a zerar o número de ocorrências no Nordeste brasileiro. A Figura 20 mostra que há maior ocorrência de frentes

subtropicais conforme aumenta a latitude. Em Porto Alegre/RS e São Paulo/SP não há passagem de frentes subtropicais durante todo o ano, e por fim, na Figura 21 observa-se uma menor ocorrência de sistemas quando comparada a ocorrência de sistemas frontais, porém há maior passagem de cavados baroclínicos mais ao sul do país e a mesma vai diminuindo conforme aumenta a latitude.

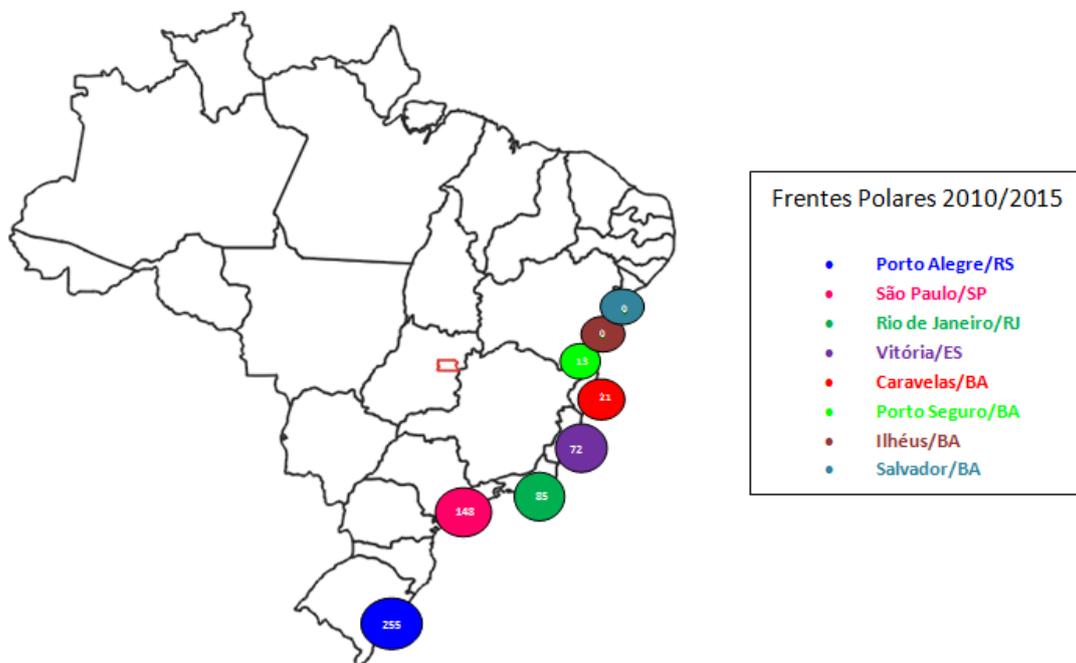


Figura 19 – A figura mostra o mapa do Brasil com a divisão dos estados, e em destaque estão às oito cidades em estudo com a quantidade de sistemas que ocorreram no período de 2010 a 2015.

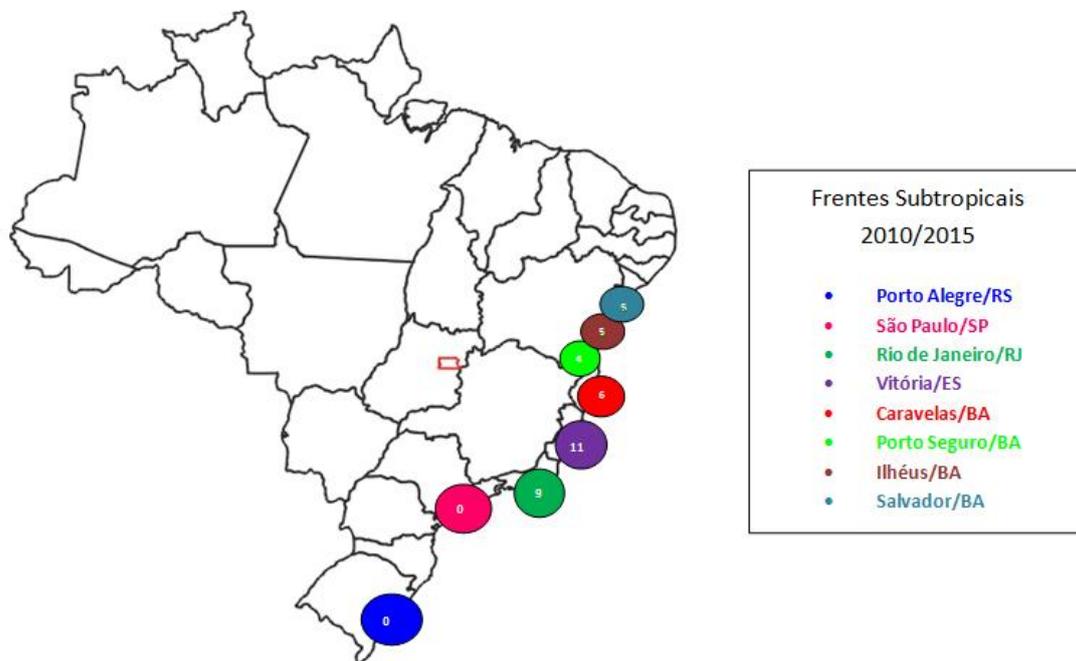


Figura 20 – A figura mostra o mapa do Brasil com a divisão dos estados, e em destaque estão às oito cidades em estudo com a quantidade de sistemas que ocorreram no período de 2010 a 2015.

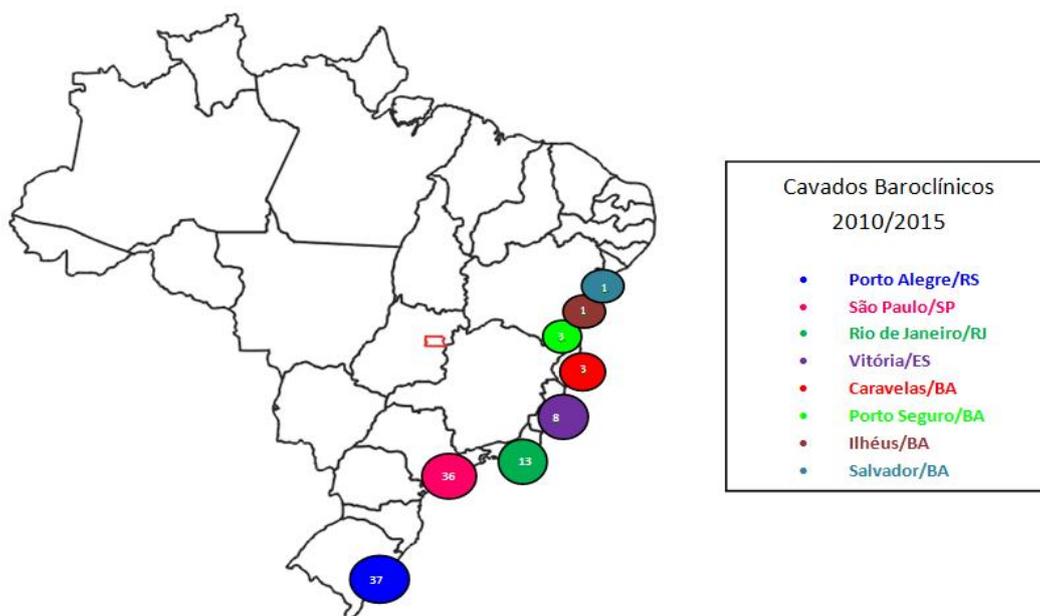


Figura 21 – A figura mostra o mapa do Brasil com a divisão dos estados, e em destaque estão às oito cidades em estudo com a quantidade de sistemas que ocorreram no período de 2010 a 2015.

2.5.3 RELAÇÃO DE PASSAGEM DE SISTEMAS FRONTAIS E CAVADOS BAROCLÍNICOS EM ANOS DE LA NIÑA, EL NIÑO E ANOS NEUTROS

As mudanças no tempo nas regiões brasileiras estão geralmente associadas à passagem de sistemas frontais e/ou cavados baroclínicos, que são sistemas meteorológicos típicos de latitudes médias e atuantes durante todo o ano. Os fenômenos climáticos de grande escala El Niño e La Niña estão associados a variações na temperatura da superfície do mar no Oceano Pacífico equatorial, e é considerado como a principal causa da variabilidade climática em diversas regiões do Globo. Apresenta duas fases extremas: uma fase quente denominada El Niño e uma fase fria denominada La Niña (Berlato & Fontana, 2003). Ambos os fenômenos influenciam o clima de diferentes regiões do globo, dependendo de sua intensidade (Kousky 1979, Satyamurty *et al* 1998, Rodrigues *et al* 2004). Anos que não sofrem alterações sob influência de El Niño e La Niña são considerados anos neutros.

Em anos de El Niño, as frentes frias enfraquecem e, em anos de La Niña, há um fortalecimento desses sistemas devido à mudança dos padrões de circulação de grande escala (Berlato *et al* 2003), o que pode ser mostrado nos gráficos abaixo.

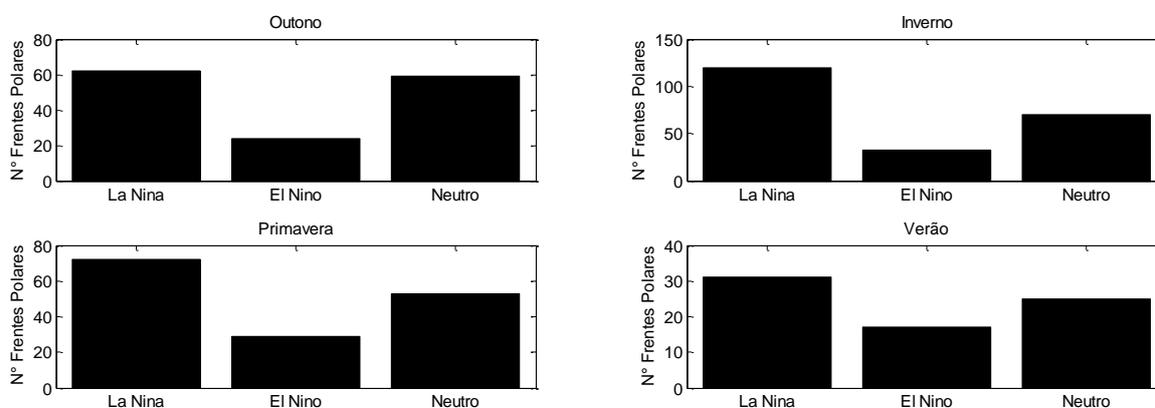


Figura 22 – A figura mostra a distribuição de passagem de frentes polares em anos de La Niña, anos de El Niño e anos neutros. A passagem de frentes foi dividida sazonalmente, onde nota-se a maior ocorrência de frentes polares clássicas em anos de La Niña em todas as estações do ano.

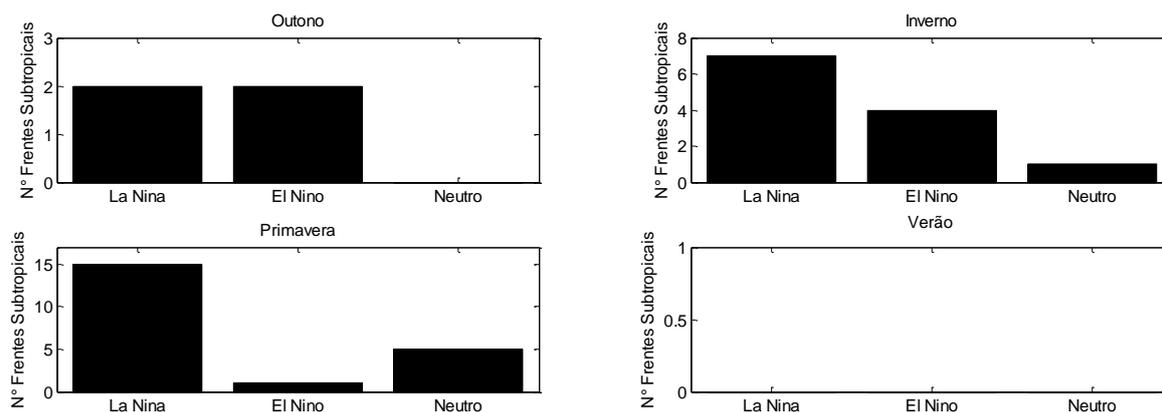


Figura 23 – A figura mostra a distribuição de passagem de subtropicais em anos de La Niña, anos de El Niño e anos neutros. Nota-se a maior ocorrência de frentes subtropicais em anos de La Niña nas estações de inverno e primavera. Uma distribuição equivalente no outono entre anos de La Niña e El Niño, e não houve registros de frentes subtropicais no verão.

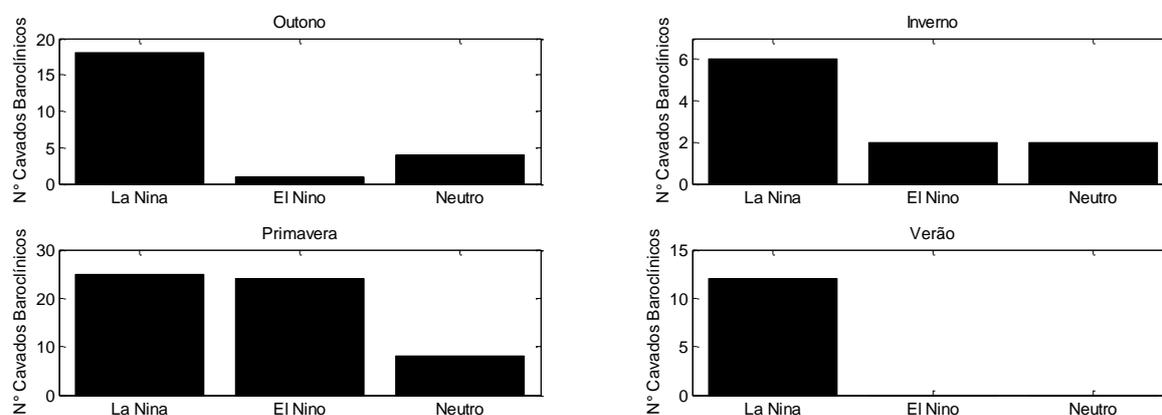


Figura 24 – A figura mostra a distribuição de passagem de cavados baroclínicos em anos de La Niña, anos de El Niño e anos neutros. Nota-se a maior ocorrência de cavados baroclínicos em anos de La Niña na maioria das estações, com exceção apenas na primavera, sendo a estação com maior ocorrência de sistemas, independente do tipo de ano (La Niña, El Niño ou neutro).

2.5.4 COMPOSIÇÃO DAS VARIÁVEIS METEOROLÓGICAS

Com o intuito de compreender o comportamento dos diferentes sistemas meteorológicos analisados (frentes frias polares, frentes subtropicais e cavados baroclínicos) nas distintas cidades estudadas, foram analisadas através do método de composição de casos, diversas variáveis meteorológicas. As variáveis analisadas foram: PNMM (pressão ao nível médio do mar), altura geopotencial e Ventos Zonal e Meridional em 250 hPa, e Umidade Específica e Ventos Zonal e Meridional em 850 hPa.

Em função dos resultados obtidos na distribuição sazonal de cada um dos sistemas analisados, foram selecionadas as cidades de Porto Alegre (PA), São Paulo (SP) e Caravelas (BA), devido a que mostraram resultados mais robustos desde o ponto de vista estatístico. Para Porto Alegre e Caravelas foi analisado o período de inverno e para São Paulo os períodos de inverno e verão.

2.5.4.1. FRENTES POLARES

A Figura 25 (a, b, c) mostra as composições de casos para a cidade de Porto Alegre. O campo de pressão (Figura 25, a) mostra o cavado frontal no oceano Atlântico, na altura do leste do Rio Grande do Sul (RS), refletindo a posição média das frentes polares que passam pela cidade gaúcha. No centro da Argentina, observa-se um pulso anticiclônico de 1020 hPa associado com o anticiclone pós-frontal que avança em direção ao sul do Brasil. Através do vento em 850 hPa (Figura 25, c) observa-se claramente a confluência dos

ventos que determinam a convergência de massa sobre o centro-norte do RS, representando o posicionamento da frente fria nesse nível. O Jato Polar associado com a frente fria pode ser observado na Figura 25 (b), onde é possível distinguir o ramo Norte deste jato através da altura geopotencial no campo de 250 hPa. O máximo de vento relacionado com este jato mostra um valor médio de 10500 mhp e se posiciona aproximadamente no paralelo 28°S. Nota-se que o máximo de vento se encontra um pouco mais ao norte, devido ao acoplamento do Jato Polar com o Jato Subtropical.

Os resultados obtidos quando se realizou a composição de casos para as frentes polares que atingiram a cidade de São Paulo (SP) podem ser observados na Figura 26 (a, b, c). É possível observar resultados semelhantes aos obtidos para Porto Alegre, porém com o cavado frontal (Figura 26, a) posicionado mais ao norte, na altura do sul do Estado paulista. O reflexo do Jato Polar (Figura 26, b) e a convergência de massa em 850 hPa (Figura 26, c) também podem ser observados mais ao norte, acompanhando a posição da frente em superfície. Nota-se também, que a umidade específica é maior no caso de São Paulo do que no caso de Porto Alegre. Isto pode estar associado com uma maior contribuição da borda ocidental do Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) que favorece a advecção de umidade proveniente do mar.

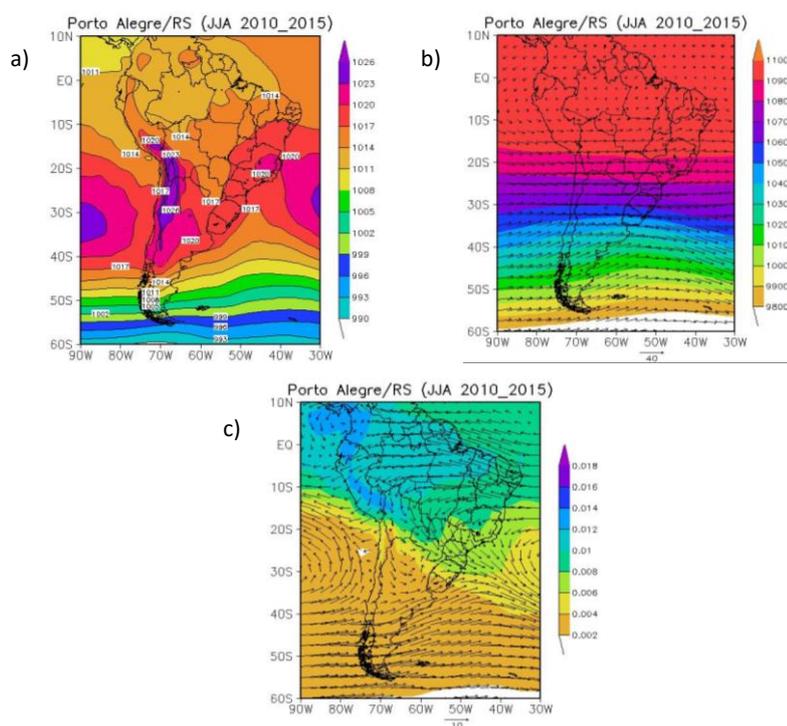


Figura 25 – Composições de 2010 a 2015, com os campos de Pressão ao Nível Médio do Mar (a), Geopotencial e Ventos Zonal e Meridional em 250 hPa (b) e, Umidade Específica e Ventos Zonal e Meridional em 850 hPa (c).

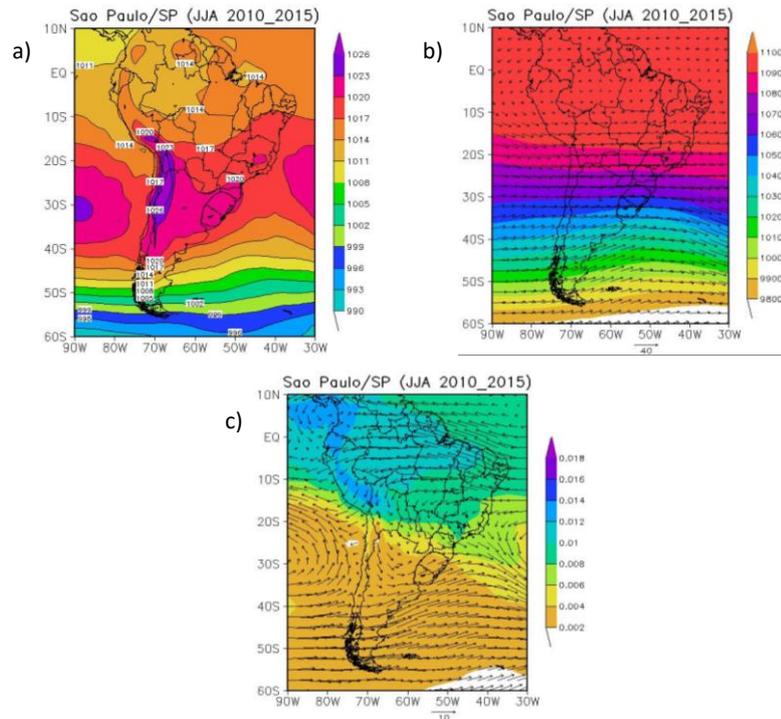


Figura 26 – Composições de 2010 a 2015, com os campos de Pressão ao Nível Médio do Mar (a), Geopotencial e Ventos Zonal e Meridional em 250 hPa (b) e, Umidade Específica e Ventos Zonal e Meridional em 850 hPa (c).

2.5.4.2. FRENTE SUBTROPICAIS

A Figura 27 (a, b, c) mostra as composições de casos para a cidade de Caravelas. O campo de pressão (Figura 27, a) mostra o anticiclone pós-frontal com características subtropicais (Anticiclone Subtropical do Atlântico Sul – ASAS). Este comportamento é comum nessas latitudes já que o anticiclone migratório começa a ser embebido do ASAS. Através do vento em 850 hPa (Figura 27, c) observa-se claramente a confluência dos ventos que determinam a convergência de massa em direção a Caravelas, fazendo com que a umidade seja transportada para a região e acarrete uma formação de frentes, representando o posicionamento da frente fria nesse nível. O Jato Subtropical associado com a frente subtropical pode ser observado na Figura 27 (b), onde é possível vê-lo através da altura geopotencial no campo de 250 hPa. O máximo de vento relacionado com este jato mostra um valor médio de 10800 mhp e se posiciona aproximadamente no paralelo 15°S.

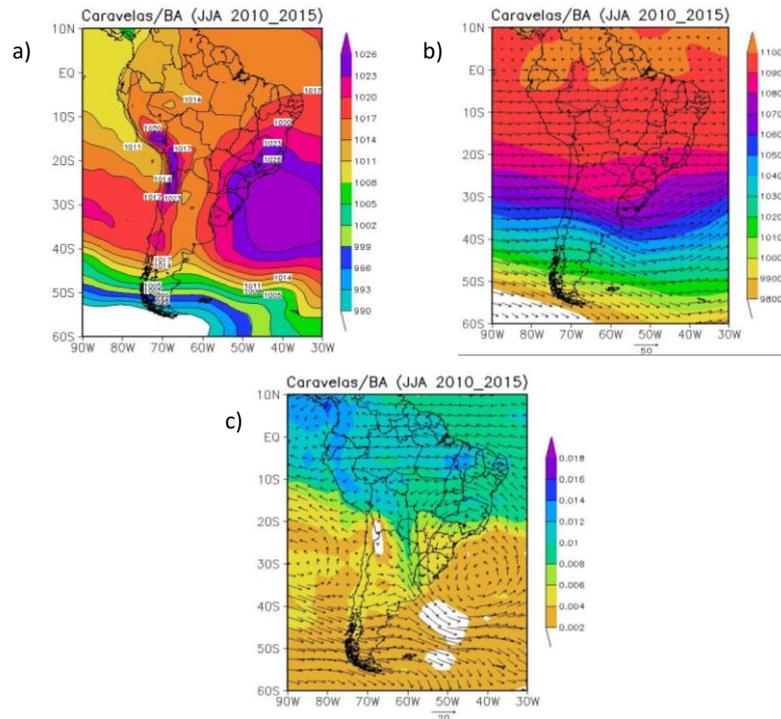


Figura 27 – Composições de 2010 a 2015, com os campos de Pressão ao Nível Médio do Mar (a), Geopotencial e Ventos Zonal e Meridional em 250 hPa (b) e, Umidade Específica e Ventos Zonal e Meridional em 850 hPa (c).

2.5.4.3. CAVADOS BAROCLÍNICOS

A Figura 28 (a, b, c) mostra as composições de casos para a cidade de São Paulo. O campo de pressão (Figura 28, a) mostra uma área de baixa pressão relativa no Atlântico que geralmente está associada com a presença de ciclones extratropicais de fraca intensidade. Através do vento em 850 hPa (Figura 28, c) observa-se claramente a convergência dos ventos em direção a São Paulo, que muitas vezes pode-se associar com eventos de ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul). O Jato Subtropical associado com o cavado baroclínico pode ser observado na Figura 28 (b), onde é possível vê-lo através da altura geopotencial no campo de 250 hPa. O máximo de vento relacionado com este jato mostra um valor médio de 10900 mhp e se posiciona aproximadamente no paralelo 23°S.

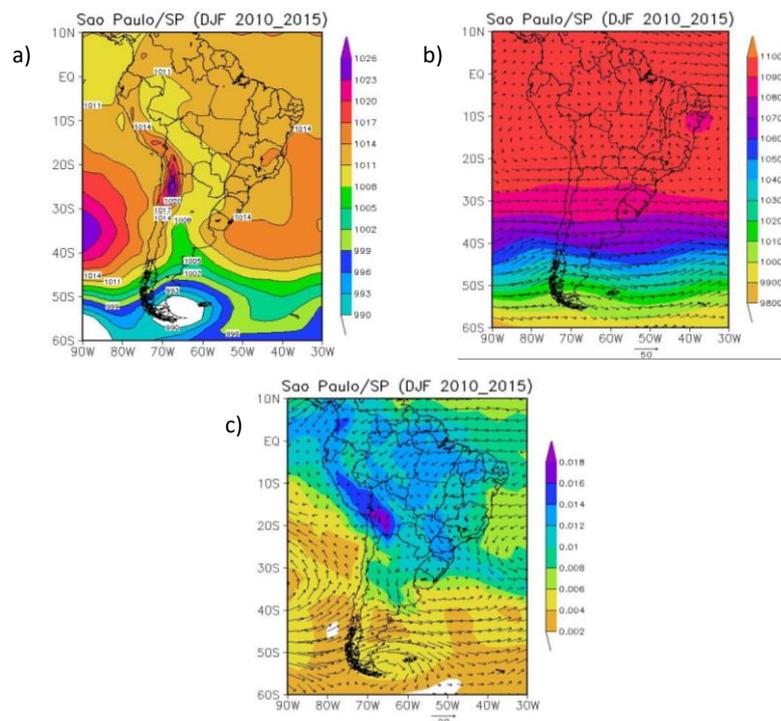


Figura 28 – Composições de 2010 a 2015, com os campos de Pressão ao Nível Médio do Mar (a), Geopotencial e Ventos Zonal e Meridional em 250 hPa (b) e, Umidade Específica e Ventos Zonal e Meridional em 850 hPa (c).

3 CONCLUSÃO

Através da análise de 8 cidades brasileiras (Porto Alegre/RS, São Paulo/SP, Rio de Janeiro/RJ, Vitória/ES, Caravelas/BA, Porto Seguro/BA, Ilhéus/BA e Salvador/BA) foi possível acompanhar o deslocamento de sistemas frontais e cavados baroclínicos, conforme as estações do ano. O estudo foi feito para um período de 6 anos (2010 a 2015) com o intuito de estabelecer critérios para identificação de cada tipo de sistemas, para que o mesmo fosse implementado no GPT (Grupo de Previsão do Tempo) do CPTEC (Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos).

Por meio dos primeiros resultados obtidos na pesquisa nota-se que o número anual de frentes polares clássicas diminui para latitudes mais baixas, ao contrário das frentes subtropicais e cavados baroclínicos, na qual a quantidade anual de sistemas aumenta conforme a latitude diminui. A maior quantidade de frentes polares acontece no inverno (JJA), e a menor acontece no verão (DJF), porém, para frentes subtropicais, há distinção também em sua distribuição sazonal, onde a maior frequência se dá na primavera (SON) e a menor no inverno (JJA).

Utilizando as análises de cartas sinóticas de superfície, imagens de satélite e composições de variáveis meteorológicas, foi possível estabelecer o critério de que para classificar um sistema como uma frente polar clássica é necessário haver um acentuado gradiente de temperatura e/ou espessura, gradiente de temperatura de ponto de orvalho, presença bem definida do jato polar norte em 250 hPa e um possível jato subtropical acoplado, acentuado gradiente de pressão com isóbaras quebradas, nebulosidade e precipitação atrás do sistema, e deve ser levado em consideração de que ocorrem com maior frequência no inverno (JJA).

As mesmas técnicas são aplicadas para a classificação de frentes subtropicais, onde estabelece a necessidade de haver um fraco gradiente de temperatura e/ou espessura, fraco gradiente de pressão e isóbaras normalmente sem quebras, nebulosidade e precipitação atrás do sistema, gradiente de temperatura do ponto de orvalho praticamente inexistente, sem presença de jato polar e com presença de jato subtropical, e a consideração de que ocorrem mais nos meses de Agosto, Setembro e Outubro.

Por último, as técnicas são aplicadas para a classificação de cavados baroclínicos, onde deve haver fraco gradiente de temperatura, significativo gradiente de umidade, nebulosidade e precipitação à frente do sistema, podem acarretar episódios de ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul) ou ZCOU (Zona de Convergência de Umidade), geralmente representam ramos frios fracos de ciclones extratropicais também fracos, não possuem jato polar associado e sim o jato subtropical, e ocorrem mais na estação chuvosa do Brasil, de Outubro a Abril.

Através da análise comparativa entre anos de El Niño, anos neutros e anos de La Niña, foi possível identificar uma maior ocorrência de sistemas frontais em anos de La Niña, pois ocorrem mudanças nos padrões de circulação, e através das composições das variáveis meteorológicas é possível identificar o comportamento atmosférico para cada tipo de sistema estudado (frentes polares clássicas, frentes subtropicais e cavados baroclínicos), mostrando que cada sistema atua de forma distinta em cada região, sendo mais ou menos frequente em determinada época do ano, assim como mostra o fortalecimento ou enfraquecimento quando as frentes se deslocam com a latitude.

Assim, o trabalho é concluído de forma positiva, atingindo seus principais objetivos de identificação e classificação dos sistemas para uma possível implementação do sistema operacional do CPTEC.

4 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

Albuquerque; FERREIRA, Nelson Jesus; SILVA, Maria Gertrudes Alvarez Justi da; SILVA DIAS, Maria Assunção Faus da Silva dias (Org.). *Tempo e Clima no Brasil*. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. p. 135-147.

ANDRADE, K. **Climatologia e comportamento dos sistemas frontais sobre a América do Sul**. 2007. 187 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2007.

Bjerknes, J. e Solberg, H., 1922: Life cycle of cyclones and the polar front theory of atmospheric circulation. *Geophys. Publ.*, **3**, 3-18.

BERLATO, M.A.; FONTANA, D.C. **El Niño e La Niña: impactos no clima, na vegetação e na agricultura do Rio Grande do Sul; aplicações de previsões climáticas na agricultura**. Porto Alegre: UFRGS, 2003. 110p.

CAVALCANTI, I. F. A.; KOUSKY, V. E. **Parte I - Sistemas meteorológicos que afetam o tempo na América do Sul: Frentes frias sobre o Brasil**. In: CAVALCANTI, Iracema Fonseca.

CENTRO DE PREVISÃO DE TEMPO E ESTUDOS CLIMÁTICOS (CPTEC) / INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE), disponível em: < <http://www.cptec.inpe.br/> > Último acesso em: 15 de maio de 2016.

Gan, M. A., e Rao, V. B., 1991: Surface cyclongenesis over South America. *Mon. Wea. Rev.*, **119**, 1293-1302.

KOUSKY, V. E. **Frontal Influences on Northeast Brazil**. Monthly Weather Review, n. 107, pp. 1140-1153, 1979.

KOUSKY, V. E.; ELIAS, M. **Meteorologia Sinótica: Parte 1 e 2**. INPE – 2605 – MD/021, pp 107, 1982.

Livro - O El Niño e Você - o fenômeno climático
Autor - Gilvan Sampaio de Oliveira

REBOITA, M. S.; AMBRIZZI, Tércio . **Monitoramento dos Ciclones Extratropicais no Hemisfério Sul**. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, 2006, Florianópolis, 2006.

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.

Sanders, F., 2005: Real front or baroclinic trough?. *Weather and Forecasting*, **20**, 647-651.

SATYAMURTY, P.; MATTOS, L. F.; NOBRE, C. A.; SILVA DIAS, P. L. Tropics – South America. In: KAULY, D. J. e VINCENT, D. G. *Meteorology of the Southern Hemisphere*. American Meteorological Society, Boston, 119-139, 1998.

