Meteorologia em tópicos:
Volume 6

1ªEdição

Organizadores:

Glauber Lopes Mariano e

André Becker Nunes

Maceió-AL – Agosto de 2020

DR LTDA

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação:

M589 Meteorologia em Tópicos: volume 6 /
Organizado por Glauber Lopes Mariano e André Becker Nunes. – Maceió: Clube dos Autores, 2020.
301p.: il. color.
Vários autores/colaboradores

ISBN 978-65-991641-0-1

1. frente fria. 2. tempestades. 3.evapotranspiração. 4.ozônio. 5. Focos de queimada. Mariano, Glauber Lopes e Nunes, André Becker; organizadores.

CDD 551.5

Volume 6

1ªEdição

Organizadores:

Glauber Lopes Mariano e

André Becker Nunes

Autores /colaboradores:

Ana Lucia da Silva Nascimento
Bruce Francisco Pontes da Silva
Carlos Alexandre dos Santos Querino
Daniel Milano
Dorisvalder Dias Nunes
Glauber Lopes Mariano
Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino
Lucas Vaz Peres
Marcelo Félix Alonso
Marcos Antônio Lima Moura
Mateus da Silva Teixeira
Mateus Dias Nunes
Matheus José Arruda Lyra
Natalia Fedorova
Paulo André da Silva Martins

Péricles Vale Alves
Vladimir Levit

SUMÁRIO

APRESENTAÇÃO 7

CAPÍTULO 1 - Zonas frontais no Nordeste Brasileiro 9

Natalia Fedorova
Bruce Francisco Pontes da Silva

CAPÍTULO 2 - Relação entre complexos convectivos de mesoescala e fenômenos adversos 66

Matheus José Arruda Lyra
Vladimir Levit

CAPÍTULO 3 - Classificações climáticas, evapotranspiração potencial e balanço hídrico: uma abordagem atual de diferentes métodos 120

Paulo André da Silva Martins
Carlos Alexandre dos Santos Querino
Juliane Kayse Albuquerque da Silva Querino
Péricles Vale Alves
Dorisvalder Dias Nunes
Marcos Antônio Lima Moura

CAPÍTULO 4 - Ozônio estratosférico: climatologia global, variabilidade e tendências 177

Mateus Dias Nunes
Glauber Lopes Mariano
Lucas Vaz Peres
Daniel Milano

CAPÍTULO 5 - Focos de calor em unidades de conservação: condições atmosféricas associadas e dispersão de poluentes 231

Ana Lucia da Silva Nascimento
Mateus da Silva Teixeira
Marcelo Félix Alonso

SOBRE OS AUTORES 298

APRESENTAÇÃO

Após seis anos do início da série de livros "meteorologia em tópicos" chegamos ao sexto volume. A série de livros teve como início a partir da idéia de se publicar diversos materiais que existiam na forma de revisão bibliográfica de trabalhos de conclusão de curso e dissertações de mestrado que normalmente não atingia um público tão amplo, mesmo dentro da área da meteorologia, exceto quando algum aluno, usualmente preparando sua pesquisa naquele tema específico, pesquisava sobre esse conteúdo.

Os livros da série possuem publicação de temas diversos, todos eles abordados nos cursos de graduação em meteorologia mas muito comumente de forma superficial devido a quantidade de conteúdo que deve ser visto na duração de uma graduação na área de ciências atmosféricas.

Esse volume aborda temas como frentes frias no nordeste do Brasil, complexos convectivos e trovoadas, métodos para análise climática/hídrica, ozônio estratosférico e análises de focos de queimadas em reservas naturais.

Espero que alunos e colegas professors aproveitem esse volume e o utilize para aumentar seu conhecimento.

Prof. Dr. Glauber Lopes Mariano
Professor associado do Instituto de Ciências Atmosféricas
Universidade Federal de Alagoas

Política editorial: Os dados, conceitos e textos publicados, bem como a exatidão das referências bibliográficas, são de inteira responsabilidade dos autores

CAPÍTULO 1

ZONAS FRONTAIS NO NORDESTE BRASILEIRO

Natalia Fedorova
Bruce Francisco Pontes da Silva

1.1 Identificação

Poucas frentes atingem o Nordeste Brasileiro (NEB), sendo que estas, quando alcançam a região, apresentam uma estrutura diferente das frentes extratropicais.

A zona frontal na região tropical foi descrita por Taljaard (1972) como uma "zona estreita superbaroclínica entre duas massas de ar relativamente barotrópicas". O mesmo autor citou as definições de Bjerknes e Solberg (1922), que afirmou que a frente tropical se localiza entre os dois anticiclones subtropicais e pode ser chamada de "frente dos alísios (Passat-front ou trade wind front)" ou "frente entre células (intercell front)".

Para identificação das zonas frontais no NEB, Kousky (1979) recomendou utilizar a temperatura potencial equivalente (θ_e) e a temperatura do bulbo úmido. As mudanças de temperatura à superfície no NEB durante a passagem de frentes não são observadas (GEMIACKI, 2005), quando as variações de θ_e são significativas. Por isso, as

variações de θ_e e as advecções de θ_e (adv θ_e) junto com as imagens de satélite no canal infravermelho foram utilizadas por Fedorova et al. (2016).

Finalmente, foi elaborado o seguinte método de identificação das zonas frontais na região tropical, que foi aplicado para o NEB:

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 adv θ_e.

As frentes frias são classificadas como Tipo I quando uma ou mais características mencionadas em I e II estão presentes. As frentes são classificadas como Tipo II quando

não mostram características fracas (como no Tipo I), mas estão presentes as características de θ_e e de adv θ_e, descritas em III.

O exemplo, a seguir, mostra todas as etapas de identificação da zona frontal. A imagem de satélite mostra uma frente fria sobre o NEB em 01 de maio de 2005 às 18 UTC (Figura 1). Uma baixa baroclínica estava situada sobre o Oceano Atlântico Sul com centro posicionado em 30°S e 30°W, aproximadamente.

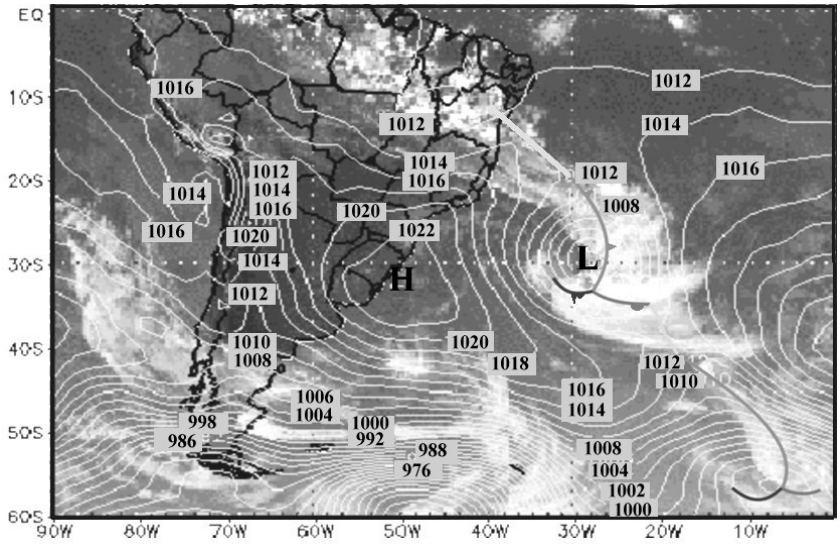


Figura 1. Frente fria sobre o NEB em 01 de maio de 2005 às 18 UTC: imagem de satélite (GOES e METEOSAT) no canal infravermelho e campo de pressão no nível de 1000hPa
Frente fria traçada com linhas cinzas: cinza escura (tipo I) e cinza clara (tipo II).
Fonte: Fedorova et al., 2016

Um cavado se estendia de sudeste para noroeste, indo do centro da baixa até o NEB. Isóbaras com curvatura ciclônica no mapa de pressão, linhas de corrente confluentes em 850 hPa e uma zona frontal (ZF) do Tipo I (FEDOROVA et al., 2016) era observada sobre o oceano (Figura 2, cinza-escuro). O prolongamento da banda de nebulosidade ligada à ZF pôde ser identificado se estendendo até o NEB (Figura 2, linha cinza).

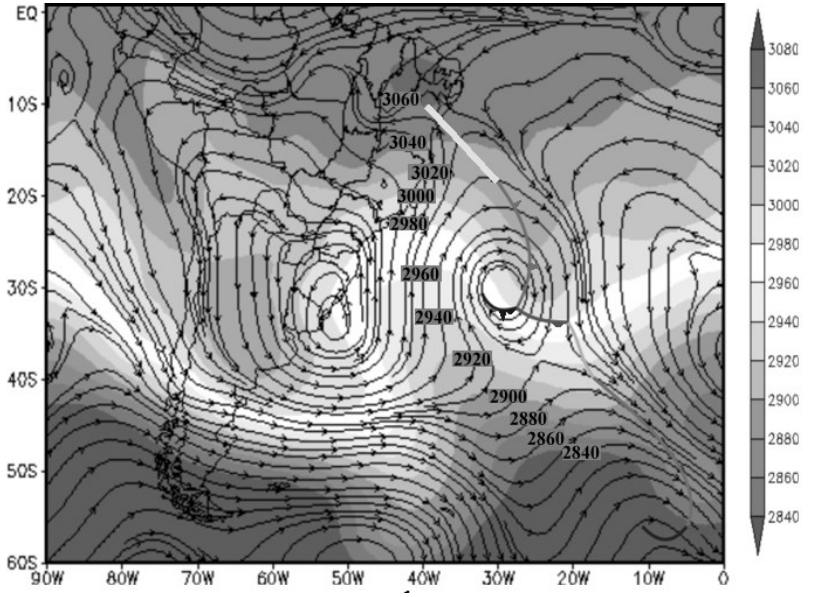
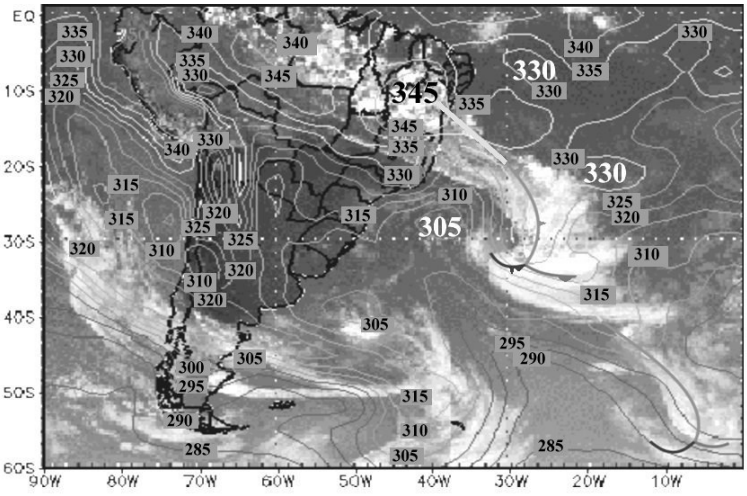


Figura 2. Frente fria sobre o NEB em 01 de maio de 2005 às 18 UTC: mapa das linhas de corrente em 850 hPa junto com campo de espessura 1000-700 hPa (no sombreado).
Frente fria mostrada pela linha cinza: cinza escura (tipo I) e cinza clara (tipo II).
Fonte: Fedorova et al., 2016

Uma onda de ar frio está presente no mapa na retaguarda dessa banda de nebulosidade frontal (Figura 3a). Os maiores valores de θe foram registrados sobre a região continental do Estado da Bahia (com valores máximos sobre as regiões com isolinhas de θe da ordem de 345 K). Sendo assim, uma frente fria Tipo II (FEDOROVA et al., 2016) foi identificada sobre o continente (Figura 3a, linha cinza).

A região com valores negativos de Adv θe foi observada na onda de ar frio de θe na retaguarda da frente Tipo II e também na parte leste da região continental do NEB. (Figura 3b). A localização da frente fria Tipo II sobre a região continental foi confirmada por esse mapa.



a)



b)

Figura 3. Frente fria sobre o NEB em 01 de maio de 2005 às 18 UTC: imagem do canal infravermelho (GOES e METEOSAT) e campo de θe (K) (a) e adv θe (b)no nível de 850 hPa.

Frente fria representada pela linha cinza: cinza escura (tipo I) e cinza clara (tipo II).

Fonte: Fedorova et al., 2016

1.2 Frequência

De acordo com um estudo realizado por Gemiacki (2005), o número de frentes identificadas no NEB tende a diminuir substancialmente de sul para norte. No ano de 2003, segundo o autor, foram registradas 36 frentes em Vitória (ES), mas já no sul do NEB, em Caravelas (BA), foram detectados 23 eventos. Ao norte dali, no recôncavo baiano,

Salvador (BA), esse número caiu para 6, no mesmo ano. Mais ao norte ainda, próximo ao litoral central do leste do NEB (Maceió-AL), apenas uma frente foi observada em 2003.

Números similares foram obtidos para os três anos seguintes (2004-2006) por Cruz (2008): o total do número de frentes no sul da Bahia foi 28 (Caravelas-BA), em Salvador (BA) este número caiu para nove frentes detectadas e, em Maceió (AL), o número foi de apenas uma frente durante o período.

Foram contabilizados 25 casos de frentes sobre Alagoas entre 2003 e 2006 (Pontes da Silva, 2008). O mesmo autor não encontrou muita diferença entre o número de extremidades frontais que influenciaram as condições de tempo em Alagoas entre 2003 e 2006 durante a primavera e o verão (cinco casos, cada). Contudo, a ligação com mais casos foi observada no outono (nove casos), época que abrange parte do período chuvoso da faixa leste do NEB, incluindo o mês de maio, que normalmente registra a maior altura de chuva na maioria dos municípios desta área nordestina. O inverno teve ocorrência de seis extremidades frontais (termo utilizado pelo autor, na época).

Um exemplo de frente estacionária, que permaneceu sobre parte do leste do NEB entre os dias 30 de abril e 06 de maio de 2005, (Pontes da Silva, 2008) é apresentado na figura 4.

Esse sistema avançou na forma de uma frente fria clássica (número 2 na figura 4) para o sul da Bahia no dia 30 de abril (Figuras 6 e 7), logo após a frente estacionária que

atuava sobre o leste baiano (número 1 na figura 4) enfraquecer sobre o Oceano Atlântico adjacente, por volta dos dias 27 e 28 de abril (Figuras 4 e 5) de 2005.

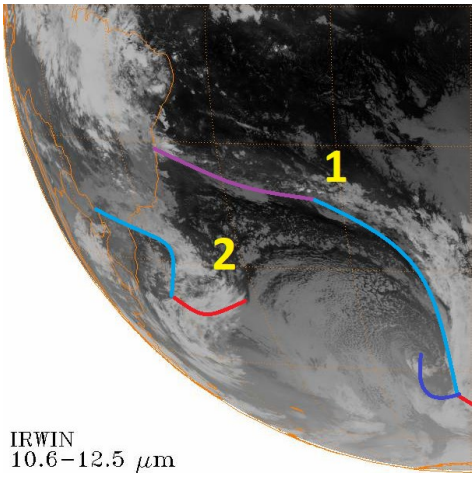


Figura 4. Imagem do satélite METEOSAT-7 para o dia 28 de abril de 2005 às 23:30UTC.
As curvas de cor azul clara, vermelha, roxa e azul escura representam, nesta ordem, as frentes frias, quentes, estacionária e oclusa do sistema frontal 1 (Bahia) e 2 (Paraná).
Fonte: adaptado de KNAPP; 2008.

A zona frontal fria estacionou no dia 02 de maio (Figuras 8 e 9), avançando muito pouco até o dia 05 (Figuras 10 a 13), quando já aparecia nos campos sinóticos como uma zona de convergência nos alísios, identificada pela presença de um amplo cavado em 1000 hPa (Figura 13).

Entre as 12 UTC de 30 de abril de 2005 e as 12 UTC do dia 06 de maio de 2005, as estações meteorológicas convencionais de superfície do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) registraram que o sistema provocou acumulados de 102,1 mm em Salvador (BA), 104,1 mm em Aracaju (SE), 62,2 mm em Maceió (AL) e 91,8 mm em Porto de Pedras (AL). Esses valores de chuva, acumulados somente na primeira pêntada do mês (cinco primeiros dias do mês), já corresponderam à cerca de um terço do total esperado para o mês.

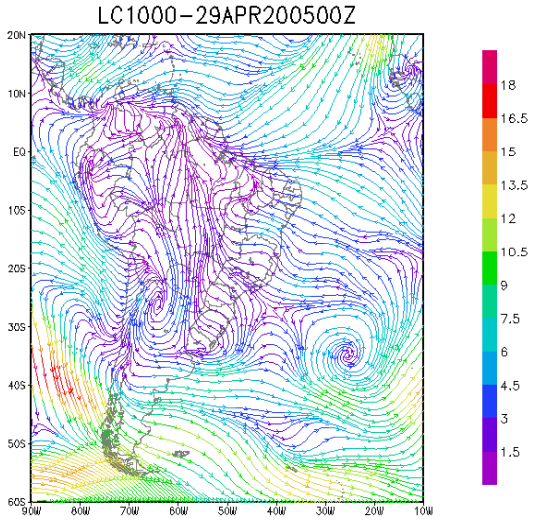


Figura 5. Linhas de corrente e magnitude do vento em 1000 hPa para a 00UTC do dia 29 de abril de 2005.
Fonte: adaptado de KALNAY et al.; 1996.

As temperaturas máximas tiveram uma redução entre 3 e 4 °C devido à cobertura de nuvens e ocorrência de chuva. A umidade relativa aumentou em todas as estações. No entanto, as demais variáveis (direção e velocidade do vento, pressão, temperatura mínima e temperatura do ar nos horários sinóticos disponíveis) não apresentaram mudança considerável em relação aos dias anteriores ao estabelecimento da frente estacionária (INMET).

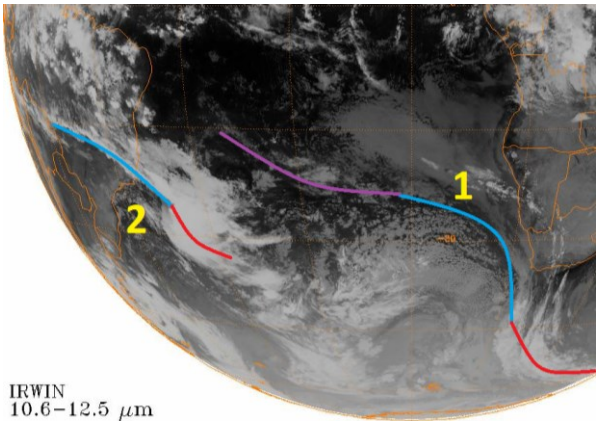


Figura 6. Imagem do satélite METEOSAT-7 para o dia 30 de abril de 2005 às 23:30UTC.
As curvas de cor azul clara, vermelha e roxa representam, nesta ordem, as frentes frias, quentes e estacionária do sistema frontal 1 (Oceano Atlântico) e 2 (Espírito Santo).
Fonte: adaptado de KNAPP; 2008.

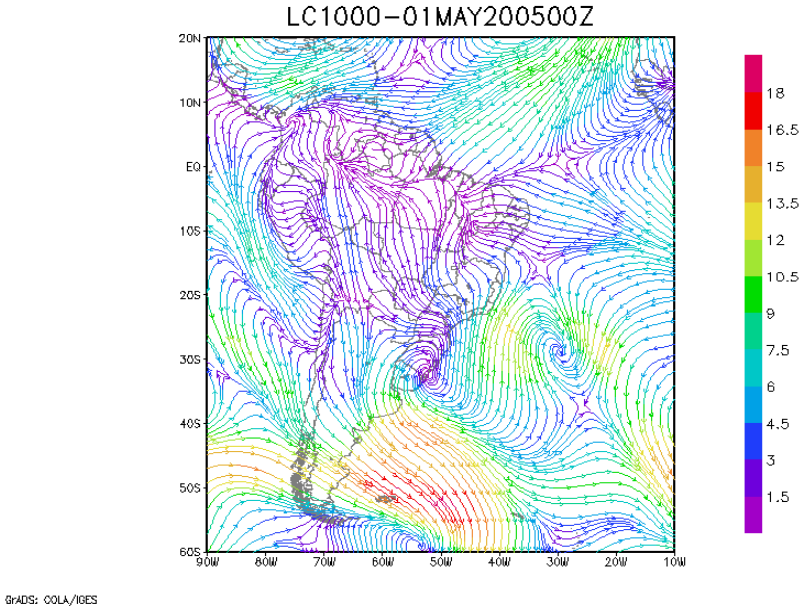


Figura 7. Linhas de corrente e magnitude do vento em 1000 hPa para a 00UTC do dia 01 de maio de 2005.
Fonte: adaptado de KALNAY et al.; 1996.

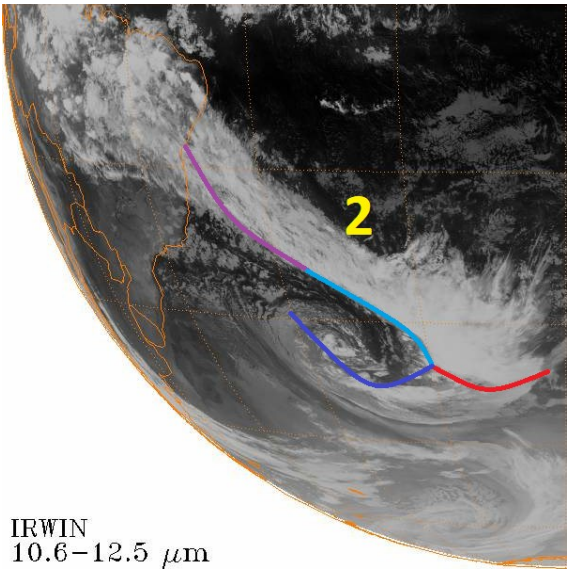


Figura 8. Imagem do satélite METEOSAT-7 para o dia 02 de maio de 2005 às 23:30UTC.

As curvas de cor azul clara, vermelha, roxa e azul escura representam, nesta ordem, as frentes frias, quentes, estacionária e oclusa do sistema frontal 2 (Bahia).

Fonte: adaptado de KNAPP; 2008.

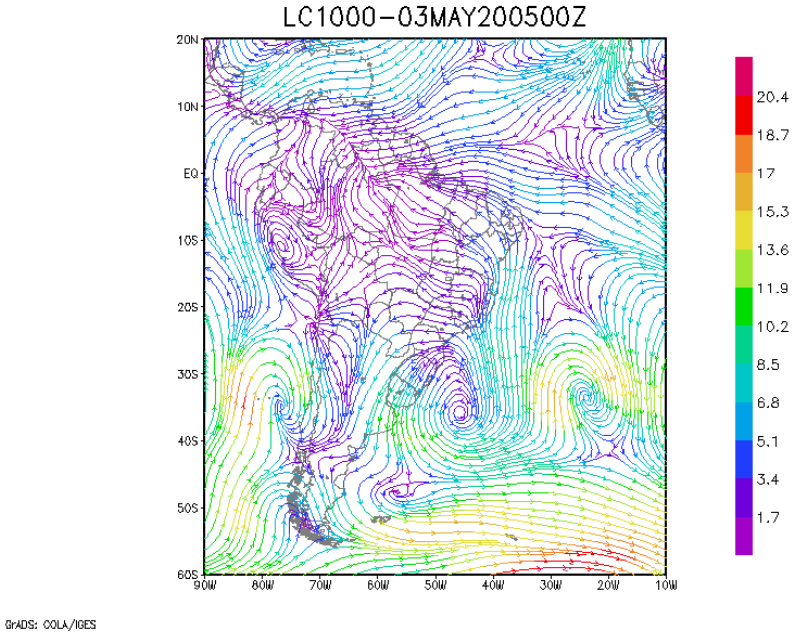


Figura 9. Linhas de corrente e magnitude do vento em 1000 hPa para a 00UTC do dia 03 de maio de 2005.
Fonte: adaptado de KALNAY et al.; 1996.

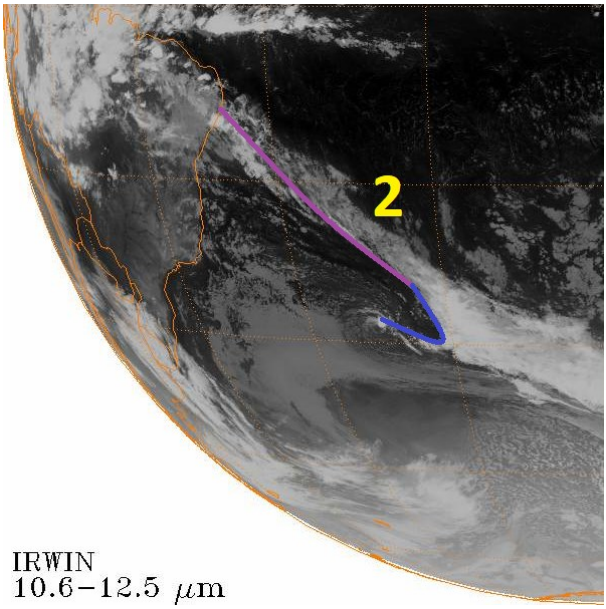


Figura 10. Imagem do satélite METEOSAT-7 para o dia 04 de maio de 2005 às 23:30UTC.
As curvas de cor roxa e azul escura representam, nesta ordem, as frentes estacionária e oclusa do sistema frontal 2 (Alagoas).
Fonte: adaptado de KNAPP; 2008.

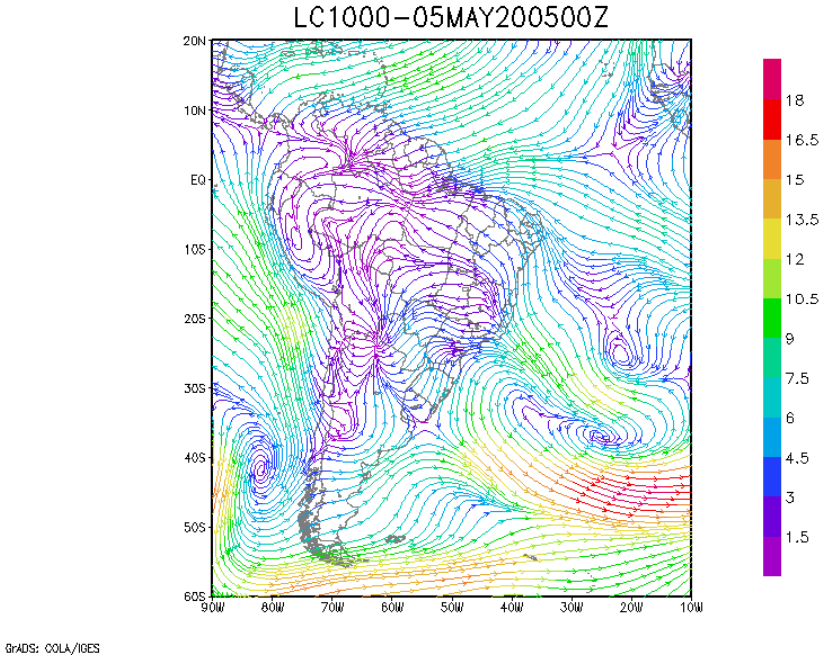


Figura 11. Linhas de corrente e magnitude do vento em 1000 hPa para a 00UTC do dia 05 de maio de 2005.
Fonte: adaptado de KALNAY et al. ;1996.

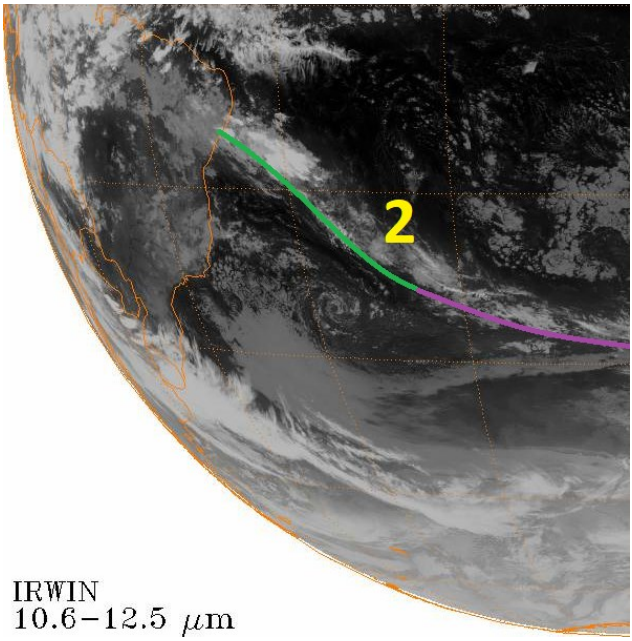


Figura 12. Imagem do satélite METEOSAT-7 para o dia 05 de maio de 2005 às 23:30UTC.
As curvas de cor roxa e verde representam, nesta ordem, a frente estacionária (Oceano Atlântico) e uma zona de convergência nos alísios (Sergipe).
Fonte: adaptado de KNAPP; 2008.

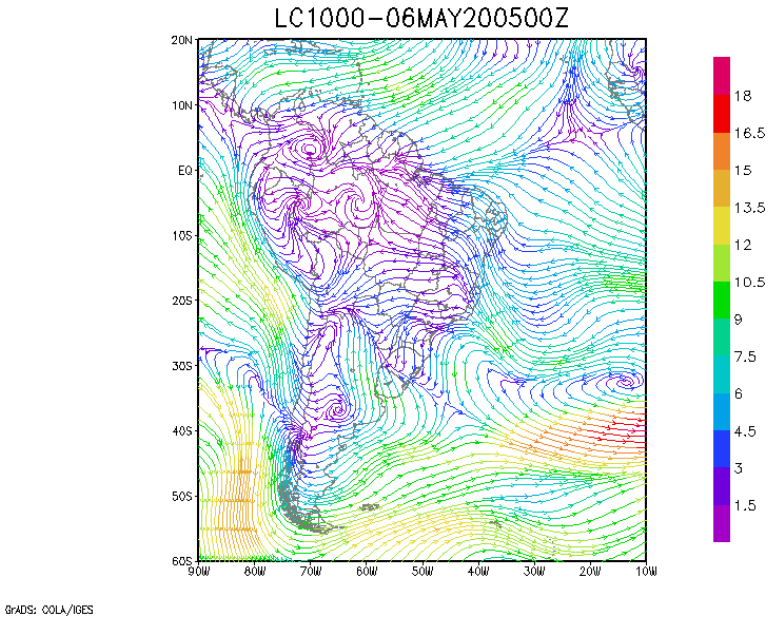


Figura 13. Linhas de corrente e magnitude do vento em 1000 hPa para a 00UTC do dia 06 de maio de 2005.
Fonte: adaptado de KALNAY et al.; 1996.

Mais recentemente, um estudo observacional para dez anos (2008 a 2017) concluiu que foram observados 27 eventos de passagem das zonas frontais sobre o NEB (MUANZA, 2018) (Tabela 1). A duração das frentes no NEB foi de dois até dez dias; sendo mais frequente entre quatro e seis dias. O evento de maior duração (10 dias) foi registrado na primavera. O autor utilizou dados da revista Climanálise para contabilização dos casos.

Tabela 1. Total de zonas frontais que atingiram a região do NEB no decorrer de dez anos (2008-2017). *D - Duração (em dias)*.
Fonte: adaptado do MUANZA; 2018.

	INÍCIO	**FIM**	**D**
verão	01/12/2008	06/12/2008	6
	01/01/2016	05/01/2016	5
outono	28/03/2017	03/04/2017	7
	07/04/2010	10/04/2010	4
	29/04/2015	04/05/2015	5
	09/05/2014	12/05/2014	4
	12/05/2015	17/05/2015	5
	16/05/2017	22/05/2017	7
inverno	01/06/2008	02/06/2008	2
	01/06/2010	05/06/2010	2
	02/06/2011	05/06/2011	4
	20/08/2009	23/08/2009	4
	12/08/2010	18/08/2010	6
	12/08/2013	16/08/2013	5
primavera	11/09/2008	20/09/2008	10
	01/09/2011	02/09/2011	2
	24/09/2012	27/09/2012	4
	03/09/2014	07/09/2014	4
	20/09/2014	23/09/2014	4
	01/09/2017	04/09/2017	6
	06/10/2008	10/10/2008	5
	17/10/2011	20/10/2011	4

	05/10/2013	08/10/2013	6
	02/10/2014	06/10/2014	5
	14/11/2014	20/11/2014	7
	31/10/2017	04/11/2017	5
	10/11/2017	16/11/2017	6

A maior frequência dessas zonas frontais foi registrada nos meses de primavera (setembro, outubro e novembro: 13 eventos em 10 anos). O máximo número de passagem das frentes ocorreu em 2014, com quatro eventos. Todavia, é preciso enfatizar que, não necessariamente as frentes alcançam o NEB sempre no período da primavera.

No inverno e outono, a frequência das frentes diminui em duas vezes (seis eventos em cada estação, nos dez anos analisados). Raramente a passagem das frentes foi observada no verão: nos meses de dezembro e janeiro, foi registrado somente um evento por mês, nos dez anos estudados.

1.3 Estrutura vertical das zonas frontais

Durante a passagem da zona frontal pelo NEB, algumas de suas características típicas à superfície não são observadas (GEMIACKI, 2005). Ou seja, não foram observadas variações de temperatura (máxima, mínima e média) e umidade relativa.

No entanto, a variação na velocidade e direção do vento e também o aumento da pressão após a passagem da frente (3 hPa) foram registrados no NEB simultaneamente com a passagem da frente. Importante destacar que foram observadas diminuições na temperatura potencial virtual e temperatura potencial equivalente (~4,5 K). As precipitações que acompanharam o deslocamento das frentes serão descritas no item 1.6.

1.3.1 Mudança do perfil vertical de T e Td durante a passagem da frente desde a Região Sul do Brasil até o NEB

A estrutura vertical da troposfera sofre uma transformação durante a passagem da zona frontal entre a Região Sul do Brasil (SUB) e o NEB. Essa mudança pode ser observada nas figuras 14 a 16, que mostram dados de radiossondagem de vários aeródromos do Brasil na passagem de uma frente fria durante a primeira pêntada de novembro de 2003.

No sul do Brasil, Porto Alegre (RS), foi observada uma camada úmida em baixos e médios níveis e uma inversão térmica frontal entre 850 e 650 hPa, aproximadamente, no primeiro dia de novembro de 2003 (Figura 14). A variação na direção do vento foi registrada na mesma camada; de sudeste e leste no nível baixo para oeste em níveis médios/altos.

Durante sua trajetória para o NEB, no Rio de Janeiro (RJ) (Figura 15), os dados observados na radiossondagem do dia 02 de novembro de 2003 mostram camadas úmidas intercaladas com "bolhas" de ar seco, sendo que a inversão frontal observada em Porto Alegre (RS) não foi observada. Somente perto de 900 e 600 hPa são observadas camadas um pouco estáveis. A maior variação na direção do vento foi observada apenas perto de 700 hPa: de noroeste para oeste.

Quando a frente chegou à região central do NEB (Petrolina-PE) no dia 04 de novembro de 2003, basicamente todo o perfil de temperatura estava relativamente mais seco que no RS e no RJ, especialmente comparando os níveis baixos e médios, mas havia instabilidade condicional (Figura 16). Somente perto de 500 hPa foi vista uma camada estável. A maior variação do vento com a altura foi identificada entre os níveis de 500 e 400 hPa, de nordeste para oeste. O vento soprava de sul, à superfície.

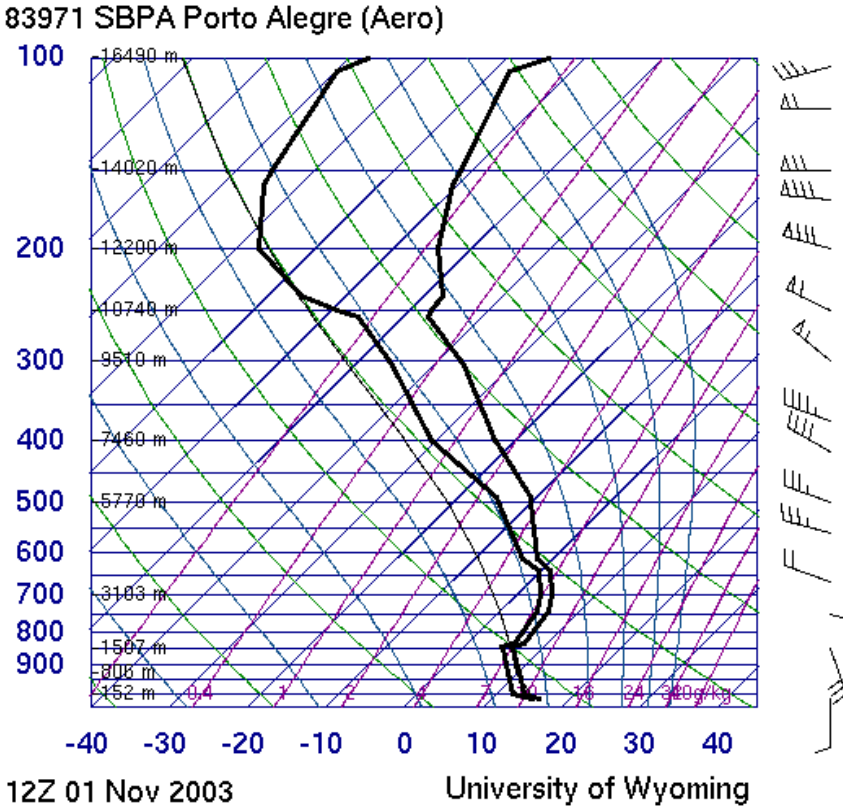


Figura 14. Perfil vertical de temperatura e ponto de orvalho da zona frontal obtida através de radiossondagem em Porto Alegre (RS).

Fonte: UNIVERSITY OF WYOMING; 2020.