

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
INSTITUTO DE ASTRONOMIA, GEOFÍSICA E CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
DEPARTAMENTO DE CIÊNCIAS ATMOSFÉRICAS
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM METEOROLOGIA

CÉSAR FERREIRA SOARES

**ESTUDO HIDRODINÂMICO DE SISTEMAS CONVECTIVOS
SOBRE A BACIA AMAZÔNICA**

São Paulo

2015

CÉSAR FERREIRA SOARES

**ESTUDO HIDRODINÂMICO DE SISTEMAS CONVECTIVOS
SOBRE A BACIA AMAZÔNICA**

Dissertação de mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Meteorologia, da Universidade de São Paulo, como parte dos requisitos para a obtenção do título de Mestre em Ciências Atmosféricas.

ORIENTADOR: Prof. Dr. Augusto José Pereira Filho

São Paulo

2015

CÉSAR FERREIRA SOARES

**ESTUDO HIDRODINÂMICO DE SISTEMAS CONVECTIVOS
SOBRE A BACIA AMAZÔNICA**

Esta dissertação foi julgada adequada para a obtenção do título de Mestre em Ciências Atmosféricas e aprovada em sua forma final pelo Orientador e pela Banca Examinadora.

Orientador: Prof. Dr. Augusto José Pereira Filho, IAG/USP

Doutor pela University of Oklahoma – Oklahoma/EUA

São Paulo, fevereiro de 2015.

DEDICATÓRIA

Esta pesquisa é dedicada a todos aqueles que me acompanharam no processo de desenvolvimento pessoal e profissional no ramo meteorológico. Aos meus pais e irmã por todo o apoio emocional nos momentos mais difíceis.

À minha grande amiga Cristiane Ramos que nunca duvidou da minha capacidade.

Dedico também ao meu orientador Professor Doutor Augusto José Pereira Filho por me mostrar o caminho científico.

AGRADECIMENTOS

Agradeço à minha família pela compreensão e apoio nos momentos difíceis. Ao meu orientador Professor Doutor Augusto José Pereira Filho pela confiança. Ao Ivon Wilson que me auxiliou em todo o processo computacional da minha pesquisa, assim como o meu grande amigo Felipe Vemado.

Um agradecimento especial à toda a turma da sala 103, Camila Tavares, Angie Paredes, Wendel Fialho e ao meu grande amigo Ivan Gregório Hetem por todos os momentos felizes e de diversas horas de estudo em grupo.

Agradeço também aos grandes amigos que tornaram todo o processo de elaboração e análise menos árduo, como Alexandre Bondioli, Tiago Robles, Thaize Baroni, Pedro Franco e Joyce Calandro.

Pelos grandes e divertidos momentos além de discussões sobre o processo de pesquisa no Brasil, ao meu querido amigo Hiremar Soares.

À minha querida amiga e meteorologista Adriana Iwashita pelas diversas ideias e análises que auxiliaram muito a elaboração desta pesquisa. Um agradecimento também para Michelle Harumi por todo apoio e carinho.

Um agradecimento especial à Professora Doutora Jacyra Soares pelas diversas horas de conversas sobre o tempo, clima e sobre meteorologia.

EPÍGRAFE

Em diversos momentos de sua vida a persistência deverá superar a emoção e às vezes até mesmo a razão.

Autor desconhecido

RESUMO

A região tropical é cenário de diversos eventos de convecção intensa e precipitação elevada. Climatologicamente, é a faixa do planeta que costuma ter os maiores índices pluviométricos. No Brasil a região da bacia amazônica (latitudes de 0° a 15° S e longitude de 40° W a 80° W) detém os maiores volumes anuais acumulados, além de sofrer com diversos eventos de tempestades severas. Ondas tropicais confinadas na faixa tropical são capazes de incentivar sistemas precipitantes locais ou mais abrangentes. Ao olhar em escalas maiores, de ordem sinótica, é possível verificar a interação trópicos-extratrópicos favorecer a formação de sistemas precipitantes.

Este trabalho visa estabelecer a relação entre as Ondas Equatoriais de Kelvin com sistemas precipitantes na região da bacia amazônica. Para isso dados observacionais de precipitação do CMORPH (Center Morphing Technique) são utilizados como entrada para a conversão em diagramas de Hovmöller com a finalidade de calcular a velocidade de fase de sistemas que se deslocam na região de interesse. Para a verificação das condições sinóticas favoráveis ou desfavoráveis a formação de sistemas são utilizados dados de Reanálise II do NCEP/NOAA.

Resultados preliminares indicam um predomínio de sistemas de escala espacial de 100 a 200 km e velocidades de fase em torno de 12 m s^{-1} que se propagam no sentido de leste referentes ao ciclo diurno. Entretanto, o objeto de estudo se concentra em regimes mais longos na ordem da escala sinótica que induzem sistemas precipitantes mais organizados e persistentes na região de interesse. Ainda sobre os resultados, diagramas de Hovmöller indicam o posicionamento e deslocamento dos sistemas, além de sua intensidade.

Palavras-chaves: Convecção, Precipitação, Ondas de Kelvin, Bacia Amazônica, Ondas Equatoriais, Meteorologia Sinótica, Meteorologia, Dinâmica Atmosférica, Sistemas de Mesoescala, Temporais, Sistemas Precipitantes, Forçantes extratropicais, interação trópicos-extratrópicos

ABSTRACT

The tropical region is scenery to various intense convection and high rate precipitation events. Climatologically it is the área of the globe where the highest pluviometric indexies are found. In Brazil, the Amazon Basin region (0° to 15° South; 40° to 80° West) has the highest anual accumulated volume, along with a registry of several severe storm events per year. Tropical waves confined within the tropical region are capable of inciting local precipitating systems and even larger ones. Giving special attention to larger events, of synoptic order, one would notice the tropic-extratropic interation favor the formation of precipitatin systems.

This work seeks to establish a relation between Kelvin Equatorial waves with precipitating systems in the Amazon Basin region. For such endeavor, observational data of precipitation from CMORPH (Center Morphing Technique) are used as input to be converted as Hovmöller diagrams, which would allow the calculation the phase velocity of the passing systems with the region of interest. In order to verify if the synoptic conditions were favorable our unfavorable for the formation on the precipitating system, data from NCEP/NOAA reanalysis II are used.

Preliminary results indicate that systems with spatial scale between 100 and 200 km and phase velocity near 12 m s^{-1} moving westward prevail. These systems are due to the diurnal cycle. However, the focus of this study happen for the longer regimes, on a synoptic order of magnitude, which will induce more organized and persistente precipitating system. Hovmöller diagrams were succesful in indicating the systems positioning and displacement, along with their intensity.

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	17
2. METODOLOGIA.....	19
2.1 Ondas de Kelvin.....	19
2.2 Mecanismos de disparo das ondas de Kelvin.....	23
2.3 Efeitos das ondas de Kelvin.....	24
2.4 CMORPH.....	25
2.5 Diagrama de Hovmöller.....	26
3. ANÁLISE E RESULTADOS.....	27
3.1 Estatísticas.....	27
3.2 Estudo de casos.....	28
- 19 a 24 de março de 2003.....	30
- 12 a 15 de janeiro de 2004.....	38
- 16 a 18 de janeiro de 2004.....	45
- 24 a 27 de fevereiro de 2004.....	50
- 09 a 13 de abril de 2004.....	56
- 23 a 27 de outubro de 2004.....	63
- segunda quinzena de dezembro de 2004.....	71
4. CONCLUSÃO.....	85
5. BIBLIOGRAFIA.....	87
APÊNDICE A Diagramas gerados para análise ao longo de todo o período.....	90

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1: Curvas de dispersão das ondas equatoriais. Extraído de Kiladis et al, 2009.	20
Figura 2: Diagrama de propagação das Ondas de Kelvin. Extraído de Kiladis et al, 2009.	22
Figura 3: Diagrama de fase de ondas atmosféricas. Extraído de Kiladis et al, 2009.	23
Figura 4: Exemplo de diagrama de Hovmöller com os dados do CMORPH no período de 16 a 31 de abril de 2003.	26
Figura 5: Distribuição de comprimento de eventos de precipitação na bacia amazônica segundo CMORPH entre os anos de 2003 e 2005.	27
Figura 6: Distribuição de velocidade de eventos de precipitação na bacia amazônica segundo CMORPH entre os anos de 2003 e 2005.	28
Figura 7: Histograma para velocidade de fase positiva com eventos acima de 1000 km de extensão horizontal entre os anos de 2003 e 2005.	29
Figura 8: Diagrama de Hovmöller de precipitação estimada pelo CMORPH entre os dias 16 e 31 de março de 2003. As cores indicam a taxa de chuva em mm h^{-1}	30
Figura 9: Pressão ao nível médio do mar em milibares no dia 20 de março de 2003.	31
Figura 10: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento zonal em m s^{-1} entre os dias 19 e 27 de março de 2003. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de leste, os positivos de oeste.	32
Figura 11: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento meridional m s^{-1} entre os dias 19 e 27 de março de 2003. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de norte, os positivos de sul.	33
Figura 12: Mapa da distribuição da radiação de onda longa emergente entre os dias 10 e 24 de março de 2003 para as longitudes de 90°W a 90°E e entre as latitudes de 10°N a 14°S	34
Figura 13: Diagrama de Hovmöller para a média diária entre as latitudes de 0 a 7°S da radiação de onda longa emergente entre os dias 18 e 31 de março de 2003, para as longitudes de 80°W a 40°W	35
Figura 14: Mapa de anomalia de radiação de onda longa emergente de 20 a 24 de março de 2003, entre as latitudes de 0 a 15°S e entre as longitudes de 90°W a 90°E em W m^{-2} . A linha em vermelho representa a propagação de uma anomalia entre as longitudes de 80°W e 40°W	36
Figura 15: Mapa de estimativa de chuva pelo CMORPH entre os dias 19 e 23 de março de 2003 para as latitudes de 0 a 20°S entre as longitudes de 80 a 35°W . As cores representam o acumulado de chuva diário.	38
Figura 16: Diagrama de Hovmöller de precipitação estimada pelo CMORPH entre os dias 01 e 15 de janeiro de 2004. As cores indicam a taxa de chuva em mm h^{-1}	39
Figura 17: Pressão ao nível médio do mar em milibares no dia 20 de março de 2003.	40
Figura 18: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento zonal em m s^{-1} entre os dias 12 e 16 de janeiro de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de leste, os positivos de oeste.	41
Figura 19: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento meridional m s^{-1} entre os dias 12 e 17 de janeiro de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de norte, os positivos de sul.	42
Figura 20: Mapa da distribuição da radiação de onda longa emergente entre os dias 12 e 16 de janeiro de 2004 para as longitudes de 90°W a 90°E e entre as latitudes de 10°N a 14°S	42
Figura 21: Diagrama de Hovmöller para a média diária entre as latitudes de 0 a 7°S da radiação de onda longa emergente entre os dias 05 e 17 de janeiro de 2004, para as longitudes de 80°W a 40°W	43

Figura 22: Mapa de anomalia de radiação de onda longa emergente de 12 a 15 de janeiro de 2004, entre as latitudes de 0° a 15°S e entre as longitudes de 90°W a 90°E em $W m^{-2}$. A linha em vermelho representa a propagação de uma anomalia entre as longitudes de 80°W e 40°W.	44
Figura 23: Mapa de estimativa de chuva pelo CMORPH entre os dias 12 e 15 de janeiro de 2004 para as latitudes de 0° a 20°S entre as longitudes de 80°W a 35°W. As cores representam o acumulado de chuva diário.	45
Figura 24: Diagrama de Hovmöller de precipitação estimada pelo CMORPH entre os dias 15 e 31 de janeiro de 2004. As cores indicam a taxa de chuva em $mm h^{-1}$	46
Figura 25: Pressão ao nível médio do mar em milibares no dia 16 de janeiro de 2004.	47
Figura 26: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento zonal $m s^{-1}$ entre os dias 12 e 19 de janeiro de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de leste, os positivos de oeste.	47
Figura 27: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento meridional $m s^{-1}$ entre os dias 12 e 19 de janeiro de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de norte, os positivos de sul.	48
Figura 28: Mapa da distribuição da radiação de onda longa emergente entre os dias 16 e 18 de janeiro de 2004 para as longitudes de 90°W a 90°E e entre as latitudes de 10°N a 14°S.	49
Figura 29: Diagrama de Hovmöller para a média diária entre as latitudes de 0° a 7°S da radiação de onda longa emergente entre os dias 18 e 31 de janeiro de 2004, para as longitudes de 80°W a 40°W.	49
Figura 30: Mapa de anomalia de radiação de onda longa emergente de 16 a 19 de janeiro de 2004, entre as latitudes de 0 a 15°S e entre as longitudes de 90°W a 90°E em Wm^{-2} . A linha em vermelho representa a propagação de uma anomalia entre as longitudes de 80°W e 40°W.	50
Figura 31: Diagrama de Hovmöller de precipitação estimada pelo CMORPH entre os dias 24 e 27 de fevereiro de 2004. As cores indicam a taxa de chuva em $mm h^{-1}$	51
Figura 32: Pressão ao nível médio do mar em milibares no dia 24 de fevereiro de 2004.	52
Figura 33: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento zonal em $m s^{-1}$ entre os dias 15 e 28 de fevereiro de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de leste, os positivos de oeste.	52
Figura 34: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento meridional $m s^{-1}$ entre os dias 23 e 28 de fevereiro de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de norte, os positivos de sul.	53
Figura 35: Mapa da distribuição da radiação de onda longa emergente entre os dias 24 e 27 de fevereiro de 2004 para as longitudes de 90°W a 90°E e entre as latitudes de 10°N a 14°S.	54
Figura 36: Diagrama de Hovmöller para a média diária entre as latitudes de 0 a 7°S da radiação de onda longa emergente entre os dias 21 de fevereiro e 02 de março de 2004, para as longitudes de 80°W a 40°W.	54
Figura 37: Mapa de anomalia de radiação de onda longa emergente de 24 a 27 de fevereiro de 2004, entre as latitudes de 0 a 15°S e entre as longitudes de 90°W a 90°E em $W m^{-2}$. A linha em vermelho representa a propagação de uma anomalia entre as longitudes de 80°W e 40°W.	55
Figura 38: Mapa de estimativa de chuva pelo CMORPH entre os dias 24 e 27 de fevereiro de 2004 para as latitudes de 0° a 20°S entre as longitudes de 80°W a 35°W. As cores representam o acumulado de chuva diário.	56
Figura 39: Diagrama de Hovmöller de precipitação estimada pelo CMORPH entre os dias 01 e 15 de abril de 2004. As cores indicam a taxa de chuva em $mm h^{-1}$	57
Figura 40: Pressão ao nível médio do mar em milibares no dia 09 de abril de 2004.	58

Figura 41: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento zonal $m s^{-1}$ entre os dias 09 e 13 de abril de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de leste, os positivos de oeste.....	59
Figura 42: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento meridional $m s^{-1}$ entre os dias 09 e 13 de abril de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de norte, os positivos de sul.	60
Figura 43: Mapa da distribuição da radiação de onda longa emergente entre os dias 09 e 13 de abril de 2004 para as longitudes de $90^{\circ}W$ a $90^{\circ}E$ e entre as latitudes de $10^{\circ}N$ a $14^{\circ}S$	60
Figura 44: Diagrama de Hovmöller para a média diária entre as latitudes de 0 a $7^{\circ}S$ da radiação de onda longa emergente entre os dias 05 e 13 de abril de 2004, para as longitudes de $80^{\circ}W$ a $40^{\circ}W$	61
Figura 45: Mapa de anomalia de radiação de onda longa emergente de 09 a 13 de abril de 2004, entre as latitudes de 0° a $15^{\circ}S$ e entre as longitudes de $90^{\circ}W$ a $90^{\circ}E$ em $W m^{-2}$. A linha em vermelho representa a propagação de uma anomalia entre as longitudes de $80^{\circ}W$ e $40^{\circ}W$	62
Figura 46: Mapa de estimativa de chuva pelo CMORPH entre os dias 09 e 12 de abril de 2004 para as latitudes de 0° a $20^{\circ}S$ entre as longitudes de $80^{\circ}W$ a $35^{\circ}W$. As cores representam o acumulado de chuva diário.	63
Figura 47: Diagrama de Hovmöller de precipitação estimada pelo CMORPH entre os dias 16 e 31 de outubro de 2004. As cores indicam a taxa de chuva em $mm h^{-1}$	65
Figura 48: Pressão ao nível médio do mar em milibares no dia 25 de outubro de 2004.....	66
Figura 49: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento zonal $m s^{-1}$ entre os dias 17 e 27 de outubro de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de leste, os positivos de oeste.....	66
Figura 50: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento meridional $m s^{-1}$ entre os dias 17 e 27 de outubro de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de norte, os positivos de sul.	67
Figura 51: Mapa da distribuição da radiação de onda longa emergente entre os dias 23 e 27 de outubro de 2004 para as longitudes de $90^{\circ}W$ a $90^{\circ}E$ e entre as latitudes de $10^{\circ}N$ a $14^{\circ}S$	68
Figura 52: Diagrama de Hovmöller para a média diária entre as latitudes de 0 a $7^{\circ}S$ da radiação de onda longa emergente entre os dias 23 e 27 de outubro de 2004, para as longitudes de $80^{\circ} W$ a $40^{\circ} W$	68
Figura 53: Mapa de anomalia de radiação de onda longa emergente de 23 a 27 de outubro de 2004, entre as latitudes de 0° a $15^{\circ}S$ e entre as longitudes de $90^{\circ}W$ a $90^{\circ}E$ em $W m^{-2}$. A linha em vermelho representa a propagação de uma anomalia entre as longitudes de $80^{\circ} W$ e $40^{\circ} W$	69
Figura 54: Mapa de estimativa de chuva pelo CMORPH entre os dias 23 e 27 de outubro de 2004 para as latitudes de 0° a $20^{\circ}S$ entre as longitudes de 80 a $35^{\circ}W$. As cores representam o acumulado de chuva diário.	70
Figura 55: Diagrama de Hovmöller de precipitação estimada pelo CMORPH entre os dias 16 e 31 de dezembro de 2004. As cores indicam a taxa de chuva em $mm h^{-1}$	72
Figura 56: Pressão ao nível médio do mar em milibares no dia 17 de dezembro de 2004.	72
Figura 58: Pressão ao nível médio do mar em milibares no dia 22 de dezembro de 2004.	73
Figura 57: Pressão ao nível médio do mar em milibares no dia 27 de dezembro de 2004.	74
Figura 59: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento zonal ms^{-1} entre os dias 01 e 31 de dezembro de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de leste, os positivos de oeste.....	75
Figura 60: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento meridional $m s^{-1}$ entre os dias 01 e 31 de dezembro de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de norte, os positivos de sul.	76

Figura 61: Mapa da distribuição da radiação de onda longa emergente entre os dias 17 e 19, 21 e 25, 25 e 29 de dezembro de 2004 para as longitudes de 90°W a 90°E e entre as latitudes de 10°N a 14°S.	77
Figura 62: Diagrama de Hovmöller para a média diária entre as latitudes de 0 a 7°S da radiação de onda longa emergente entre os dias 01 e 31 de dezembro de 2004, para as longitudes de 80°W a 40°W.	78
Figura 63: Mapa de anomalia de radiação de onda longa emergente de 17 a 19 de dezembro de 2004, entre as latitudes de 0° a 15°S e entre as longitudes de 90°W a 90°E em $W m^{-2}$. A linha em vermelho representa a propagação de uma anomalia entre as longitudes de 80°W e 40°W.	78
Figura 64: Mapa de anomalia de radiação de onda longa emergente de 21 a 24 de dezembro de 2004, entre as latitudes de 0 a 15°S e entre as longitudes de 90°W a 90°E em $W m^{-2}$. A linha em vermelho representa a propagação de uma anomalia entre as longitudes de 80°W e 50°W.	79
Figura 65: Mapa de anomalia de radiação de onda longa emergente de 25 a 28 de dezembro de 2004, entre as latitudes de 0 a 15°S e entre as longitudes de 90°W a 90°E em $W m^{-2}$. A linha em vermelho representa a propagação de uma anomalia entre as longitudes de 80°W e 40°W.	80
Figura 66: Mapa de estimativa de chuva pelo CMORPH entre os dias 15 e 18 de dezembro de 2004 para as latitudes de 0° a 20°S entre as longitudes de 80°W a 35°W. As cores representam o acumulado de chuva diário. A linha em vermelho representa a propagação do sistema entre as longitudes de 75°W e 50°W.	81
Figura 67: Mapa de estimativa de chuva pelo CMORPH entre os dias 21 e 24 de dezembro de 2004 para as latitudes de 0° a 20°S entre as longitudes de 80°W a 35°W. As cores representam o acumulado de chuva diário. A linha em vermelho representa a propagação do sistema entre as longitudes de 80°W a 45°W.	82
Figura 68: Mapa de estimativa de chuva pelo CMORPH entre os dias 25 e 28 de dezembro de 2004 para as latitudes de 0° a 20°S entre as longitudes de 80°W a 35°W. As cores representam o acumulado de chuva diário. A linha em vermelho representa a propagação do sistema entre as longitudes de 75°W e 45°W.	83
Figura 69: Diagrama de Hovmöller para precipitação estimada pelo CMORPH	89
Figura 70: Diagrama de Hovmöller para o vento médio zonal da Reanálise II	89
Figura 71: Diagrama de Hovmöller para precipitação estimada pelo CMORPH	90
Figura 72: Diagrama de Hovmöller para o vento médio zonal da Reanálise II	90
Figura 73: Diagrama de Hovmöller para precipitação estimada pelo CMORPH	91
Figura 74: Diagrama de Hovmöller para o vento médio zonal da Reanálise II	91
Figura 75: Diagrama de Hovmöller para precipitação estimada pelo CMORPH	92
Figura 76: Diagrama de Hovmöller para o vento médio zonal da Reanálise II	92
Figura 77: Diagrama de Hovmöller para precipitação estimada pelo CMORPH	93
Figura 78: Diagrama de Hovmöller para o vento médio zonal da Reanálise II	93
Figura 79: Diagrama de Hovmöller para precipitação estimada pelo CMORPH	94
Figura 80: Diagrama de Hovmöller para o vento médio zonal da Reanálise II	94
Figura 81: Diagrama de Hovmöller para precipitação estimada pelo CMORPH	95
Figura 82: Diagrama de Hovmöller para o vento médio zonal da Reanálise II	95
Figura 83: Diagrama de Hovmöller para precipitação estimada pelo CMORPH	96
Figura 84: Diagrama de Hovmöller para o vento médio zonal da Reanálise II	96

LISTA DE TABELAS

Tabela 1: Valores de estrutura vertical para ondas secas em uma atmosfera constante N

LISTA DE ABREVIATURAS

CMORPH: Center Morphing Technique

NCEP: National Centers for Environmental Prediction

NCAR: National Center for Atmospheric Research

NOAA: National Oceanic and Atmospheric Administration

1. INTRODUÇÃO

Os avanços tecnológicos possibilitaram uma grande evolução nos modelos de previsão do tempo. Cada vez com uma melhor resolução e com uma melhor descrição dos sistemas atuantes na atmosfera. Entretanto, a região tropical e equatorial ainda se mostram uma incógnita e com grandes disparidades principalmente em relação à variáveis de grande complexidade como a precipitação.

O agravante para os modelos meteorológicos nesta área se deve principalmente ao parâmetro de Coriolis que se aproxima de zero e as fontes diabáticas de calor que começam a não ser mais desprezíveis. Uma região de instabilidades predominantemente barotrópicas. Dessa forma a teoria das ondas equatoriais surgiu como um ótimo artifício para a solução desse problema.

Kelvin em 1879 manipulou as equações do movimento encontrando uma solução para ondas de gravidade equatorialmente confinadas. As ondas de Rossby e as mistas Rossby-Gravidade também podem ser encontradas da faixa em questão.

As estruturas observacionais das ondas de Kelvin possuem propagação de oeste e velocidades de fase entre 15 m s^{-1} e 20 m s^{-1} além de uma escala horizontal de 3300 a 6600 km, em condições de atmosfera seca. Seu período de propagação é inferior a 10 dias. Em média, as ondas de Kelvin têm um período entre 3 e 6 dias. Em Kiladis et al, 2009, estudos mais recentes mostram também que as ondas de Kelvin possuem uma velocidade de propagação menor em áreas do Oceano Índico, de 12 m s^{-1} a 15 m s^{-1} em condições atmosféricas úmidas ou misturadas.

Os eventos convectivos associados ao ciclo diurno local e sistemas que se encontram na escala de nuvens, se mostram de difícil previsibilidade. E neste caso as fontes diabáticas de

calor se mostram importantes. Em menores frequências, eventos de escala sinótica são capazes de organizar precipitação sobre a bacia amazônica.

Além disso, dados observacionais acurados em diversas regiões da faixa tropical ainda são de difícil obtenção. Dessa forma Joyce et al 2004 desenvolveram a técnica do CMORPH (Center Morphing Technique) que são estimativas de precipitação por meio de registros de satélite. Convertendo informações de refletividade em taxa de precipitação por meio de uma relação Z-R.

O trabalho seguinte utiliza as informações do CMORPH como entrada para a elaboração de diagramas de Hovmöller que mostram a evolução longitudinal e temporal da média latitudinal de uma grandeza, no caso em questão a taxa de precipitação. Tais diagramas são comumente utilizados para o estudo de propagação de ondas atmosféricas.

A região de interesse é a bacia amazônica (latitude de 0° S a 15° S e longitude de 40° W a 80° W) cenário dos maiores volumes anuais de precipitação do território brasileiro e de eventos de convecção intensa.

A faixa tropical ainda se mostra uma região com grande complexidade no âmbito da compreensão da dinâmica dos movimentos atmosféricos. Neste ponto a teoria das ondas atmosféricas é bastante utilizada para descrever tais eventos. Ondas equatoriais convectivamente acopladas já são bastante conhecidas devido os estudos feitos por Matsuno em 1966 como solução das equações de água rasa em um plano equatorial beta, conhecidas como Kelvin, Rossby equatorial, mistas Rossby-gravidade e gravito-inerciais.

O trabalho seguinte visa estabelecer uma relação entre as ondas de Kelvin, sistemas precipitantes com propagação de oeste e forçantes de escala sinótica presentes em alguns casos escolhidos entre os anos de 2003 e 2005.

2. METODOLOGIA

2.1 Ondas de Kelvin

Segundo os estudos do Lord Kelvin em 1879 e a revisão feita por Matsuno em 1966, partindo das equações para um fluido invíscido, com aproximação de água rasa linearizadas a partir de um estado básico. O parâmetro de Coriolis, f , é assumido para ser linearmente proporcional à distância do equador, isto é, a aproximação pelo plano beta. Tais equações são válidas para movimentos nos trópicos, são elas:

$$\frac{\partial u_l}{\partial t} - \beta_y v_l = \frac{\partial \phi_l}{\partial x} \quad (1)$$

$$\frac{\partial v_l}{\partial t} - \beta_y u_l = \frac{\partial \phi_l}{\partial y} \quad (2)$$

$$\frac{\partial \phi_l}{\partial t} + gh_e \left(\frac{\partial u_l}{\partial x} + \frac{\partial v_l}{\partial y} \right) = 0 \quad (3)$$

Onde ϕ é o geopotencial e u é a velocidade de onda zonal.

Admitindo a solução do tipo onda:

$$\begin{pmatrix} u_t \\ v_t \\ \phi_t \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} \hat{u}(y) \\ \hat{v}(y) \\ \hat{\phi}(y) \end{pmatrix} \exp[i(kx - \omega t)] \quad (4)$$

Ao executar as devidas operações e substituições de termos chegamos a seguinte equação diferencial de segunda ordem em \hat{v} :

$$\frac{d^2 \hat{v}}{dy^2} + \left(\frac{\omega^2}{gh_e} - k^2 - \frac{k}{\omega} \beta - \frac{\beta^2 y^2}{gh_e} \right) \hat{v} = 0 \quad (5)$$

Onde k é o número de onda zonal, ω é a frequência, v é a velocidade do vento meridional, h_e é a profundidade de uma camada de fluido não perturbada, g é a aceleração da gravidade.

Como bem sabemos, as soluções de 5 decaem com o afastamento do equador. Dessa forma o termo entre parênteses deve satisfazer a seguinte condição:

$$\frac{\sqrt{gh_e}}{\beta} \left(\frac{\omega^2}{gh_e} - k^2 - \frac{k}{\omega} \beta \right) = 2n + 1 \quad (6)$$

$$n = 0, 1, 2, \dots$$

A equação 6 estabelece uma relação entre ω e k , para cada inteiro positivo n , o que define desta forma a relação de dispersão horizontal para as ondas.

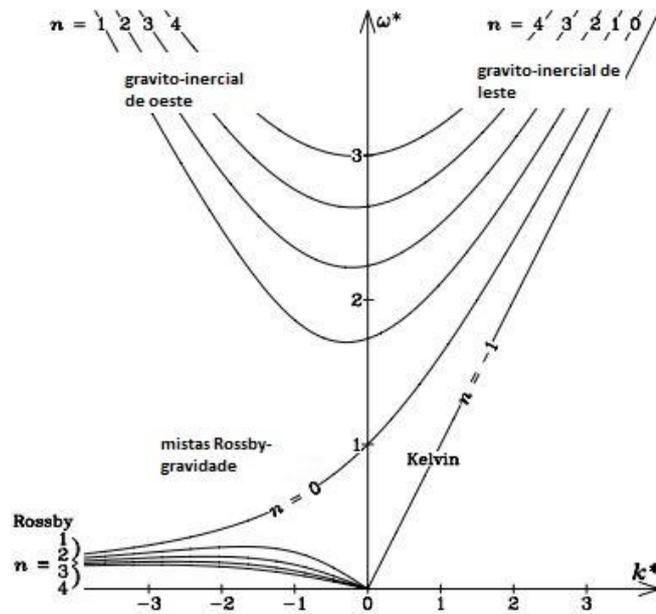


Figura 1: Curvas de dispersão das ondas equatoriais. Extraído de Kiladis et al, 2009.

A velocidade de fase das ondas de Kelvin é $c = \sqrt{gh_e}$. O valor de g é fixo, mas o valor atribuído à h_e pode variar conforme as condições locais.

Tabela 1: Valores de estrutura vertical para ondas secas em uma atmosfera constante N . Adaptado de Kiladis et al, 2009

h_e	L_z (km)	$\sqrt{gh_e}$ (m/s)	Re (graus de latitude)
$H = 7,3$ km, $dT_\theta/dz = -7,0$ K km⁻¹ (troposfera)			
10	6,0	9,9	6,0
20	8,5	14,0	7,1
50	13,4	22,1	9,0
100	27,9	44,3	12,7
200	47,5	70,0	15,9
$H = 6,1$ km, $dT_\theta/dz = +2,5$ K km⁻¹ (baixa estratosfera)			
10	2,6	9,9	6,0
20	3,7	14,0	7,1
50	5,8	22,1	9,0
100	8,3	31,3	10,7
200	11,8	44,3	12,7
500	18,9	70,0	15,9

A partir da tabela 1 é possível verificar a ação de ondas de Kelvin em diversos níveis de profundidade. Uma onda que aparentemente se organiza em níveis superficiais pode ter uma extensão vertical até os altos níveis atmosféricos.

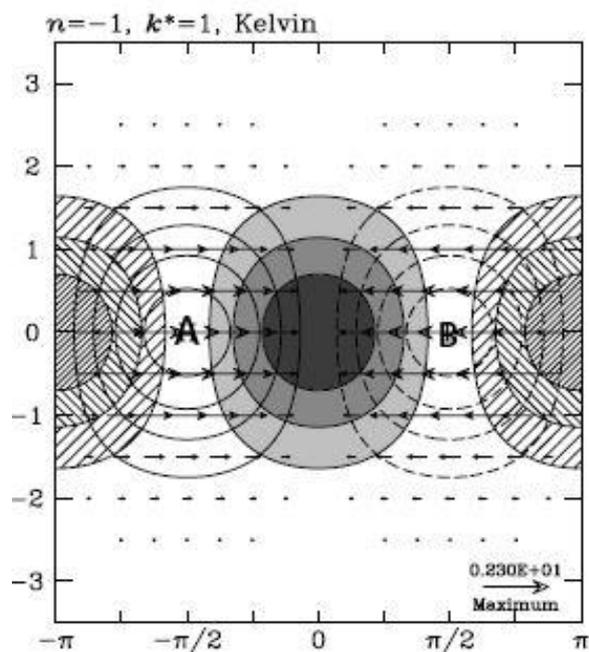


Figura 2: Diagrama de propagação das Ondas de Kelvin. Extraído de Kiladis et al, 2009.

Nas pesquisas de Kiladis e colaboradores, o seguinte diagrama foi elaborado para uma melhor compreensão na distribuição dos fenômenos ondulatórios. Na propagação sucessiva de áreas de baixa e alta pressão atmosférica, são organizados os sistemas precipitantes em regiões de confluência de ar e umidade.

O modelo matemático indica o confinamento das ondas de Kelvin na faixa equatorial tropical, uma vez que o decaimento ocorre com uma exponencial negativa relacionada com a latitude, ou seja, conforme maior a latitude menor a possibilidade da existência de uma onda de Kelvin.

Na Fig. 3 também é possível ver as ondas de Kelvin confinados em movimentos de oeste. Não existe propagação de ondas de Kelvin de leste, uma condição imposta pelo próprio modelo matemático utilizado em sua elaboração.

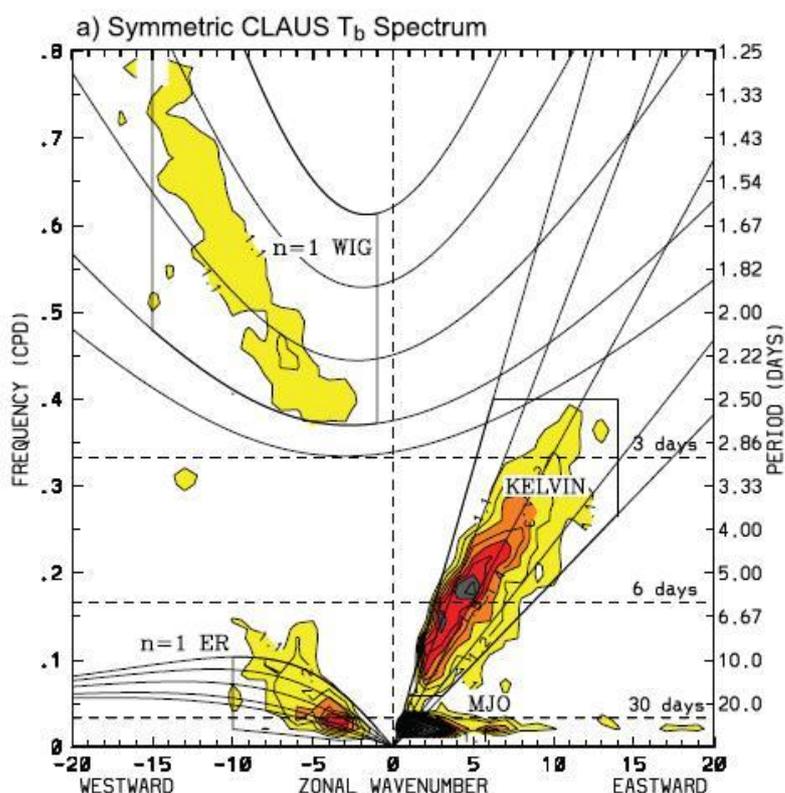


Figura 3: Diagrama de fase de ondas atmosféricas. Extraído de Kiladis et al, 2009.

2.2 Mecanismos de disparo das ondas de Kelvin

As ondas e Kelvin são responsáveis por transportes de regiões de convecção intensa e são capazes de provocar temporais. Os últimos estudos sobre as ondas de Kelvin relevam uma forte evidência que de os sistemas que as disparam estão nos extratropicos. Straub and Kiladis, 2003, encontraram a convecção no oeste do Pacífico é preferencialmente precedida por trens de Ondas de Rossby extratropicais que encerram sua propagação sobre o Oceano Índico. Leibmann et al, 2009 também verificou a intensificação da pressão ao nível do mar em propagação de baixas para o norte vinda dos extratropicos na América do Sul, formando ciclones extratropicais que avançam pelos Andes e organizam uma convecção profunda sobre a Amazônia.

2.3 Efeitos das ondas de Kelvin

Kiladis, 2009 cita as pesquisas de Dunkeryon e Crum, 1995 que mostram uma forte interação entre as ondas de Kelvin e as Oscilações de Madden-Julian. Sabe-se que as ondas de Kelvin se originam sobre a América do Sul e se propagam sobre a África e no Oceano Índico aparentemente organizadas pela OMJ.

As revisões feitas no trabalho de Kiladis mostram que as ondas de Kelvin têm uma grande influência sobre a organização de sistemas precipitantes na Indonésia, na faixa do Atlântico da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), na América do Sul e na África. Straub et. al., 2006 mostra que as ondas de Kelvin estão relacionadas com os regimes de monções sobre o sul do mar da China.

Dessa forma é possível verificar que as ondas de Kelvin possuem uma grande influência sobre o tempo e o clima em áreas equatoriais e tropicais, seu desenvolvimento e propagação organiza uma convecção profunda em algumas áreas impactando diretamente no regime de precipitação.

2.4 CMORPH (Climate Prediction Center Morphing Method)

Para o estudo de propagação dos sistemas precipitantes sobre a bacia amazônica o trabalho seguinte utilizou os dados de estimativa do CMORPH, Joyce et al, 2004. A técnica utiliza as imagens dos satélites meteorológicos Meteosat e GOES no canal do infravermelho como entrada para modelos físicos e matemáticos e posterior conversão em taxa de precipitação. Análogo às estimativas de chuva proporcionada pelos radares meteorológicos.

No entanto, o modelo proposto utiliza a temperatura da nuvem como uma forma de estimativa da quantidade de chuva que esta contém. Sabemos que topos de nuvens do tipo Cumulonimbus são bastante frias, desta forma o cálculo irá estimar que estas nuvens possuam uma grande concentração de água que irão acarretar em taxas de precipitação muito elevadas.

Porém, as nuvens do tipo Cirrus, Cirrostratus e Cirrocumulus se formam a altitudes elevadas na atmosfera. Sua composição é basicamente de gelo, e desta forma também possuem temperaturas muito baixas. Essa condição dá origem ao que chamados de “contaminação por Cirrus”, isto é, o modelo proposto irá estimar que composições de nebulosidade que tenham Cirrus deverão ter mais água acumulada a ponto de gerar precipitação do que é observado de fato.

Outro problema para a aquisição de dados é a resolução espacial e temporal do método. Enquanto nos radares meteorológicos a resolução temporal pode ter escala de até minutos e a especial escala de metros, o método CMORPH possui uma resolução espacial de 8 km e temporal de 30 minutos. Alguns sistemas precipitantes associados à evolução do ciclo diurno podem ter período de precipitação inferior à escala temporal e espacial do que o sistema de medição proposto.

2.5 Diagrama de Hovmöller

Desenvolvido pelo meteorologista Ernest Aabo Hovmöller em 1949, o Diagrama de Hovmöller é muito utilizado na plotagem de dados meteorológicos para a compreensão do desenvolvimento de ondas atmosféricas.

O eixo da abscissa contém a latitude ou longitude, na ordenada a evolução temporal e os dados que o compõem são uma média latitudinal ou longitudinal da grandeza em estudo.

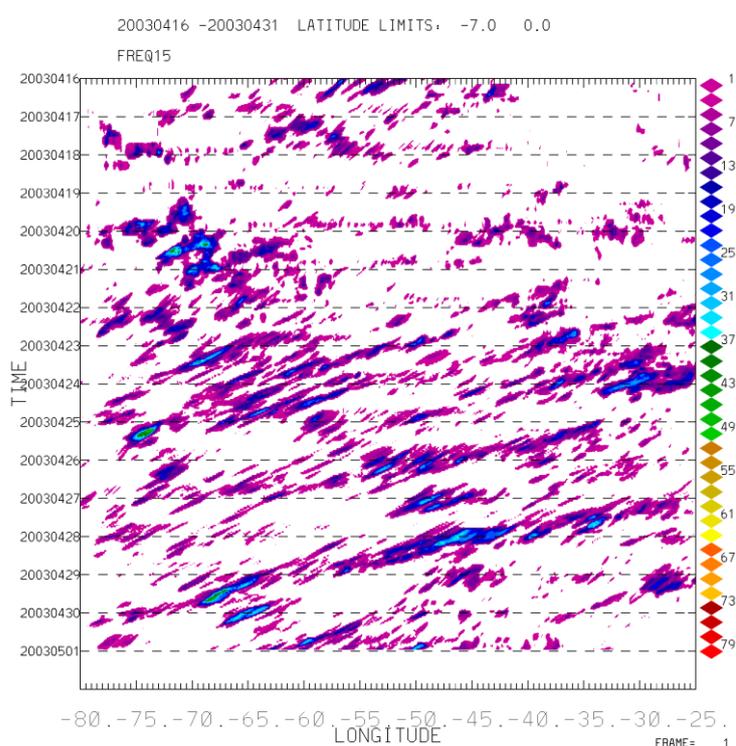


Figura 4: Exemplo de diagrama de Hovmöller com os dados do CMORPH no período de 16 a 31 de abril de 2003.

Os diagramas utilizados nesta pesquisa utilizam a metodologia de Carbone e Tuttle, 2008, na qual foi elaborado um programa para o cálculo da velocidade de fase dos sistemas de propagação além da plotagem de diagramas de Hovmöller com a entrada dos dados de estimativa de precipitação pelo CMORPH.

3. ANÁLISE E RESULTADOS

3.1 Estatísticas

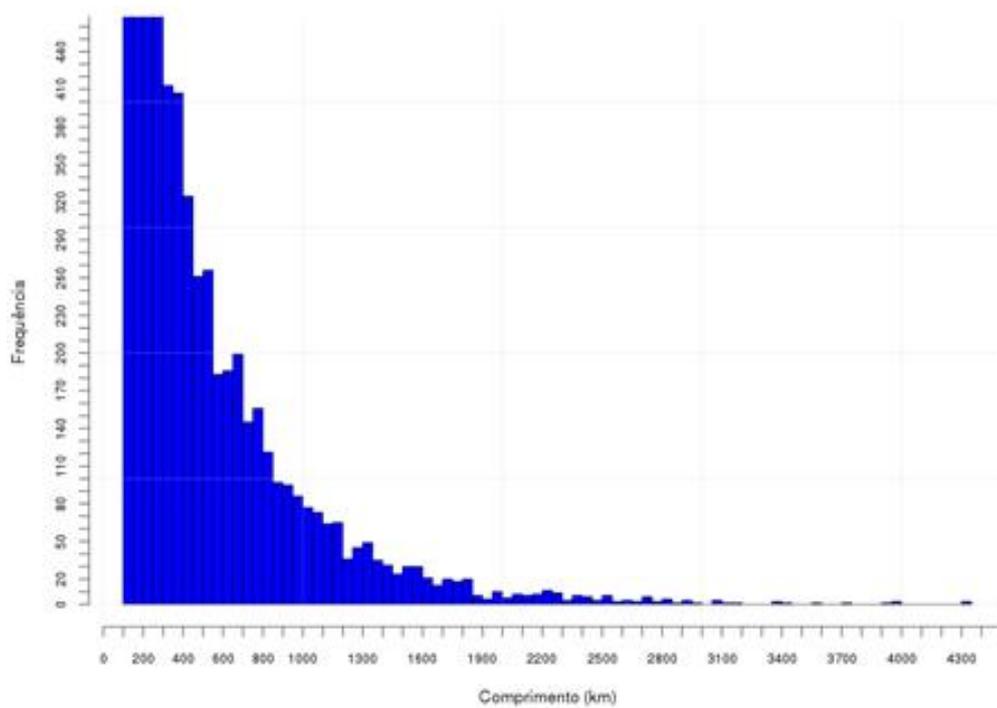


Figura 5: Distribuição de comprimento de eventos de precipitação na bacia amazônica segundo CMORPH entre os anos de 2003 e 2005.

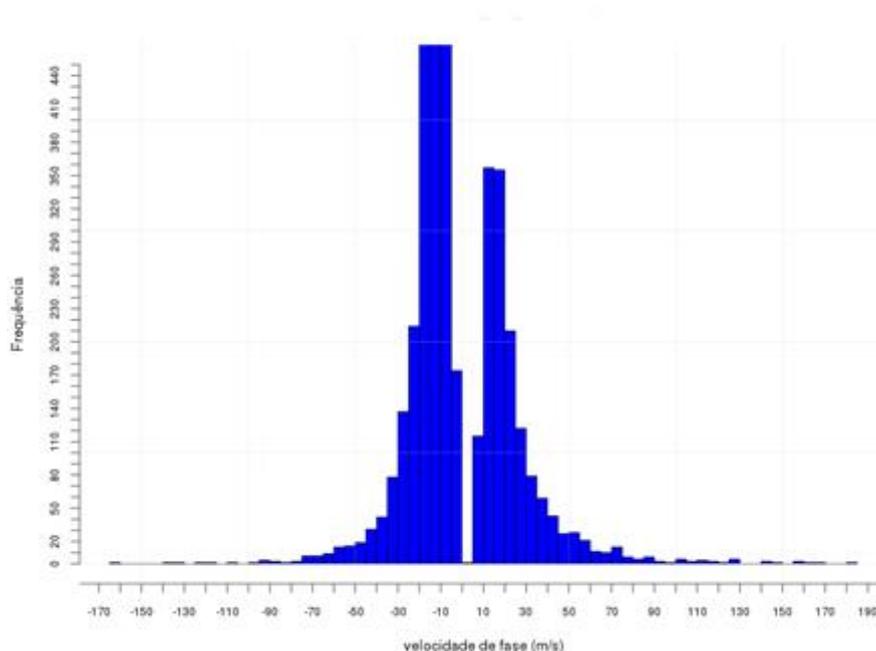


Figura 6: Distribuição de velocidade de eventos de precipitação na bacia amazônica segundo CMORPH entre os anos de 2003 e 2005.

Os histogramas de comprimento e velocidade de fase zonal dos sistemas na bacia amazônica indicam que o predomínio na região é de sistemas com velocidade negativa e com tamanhos inferiores a 1000 km de extensão horizontal. Essa condição já era esperada levando em consideração o ciclo diurno que é responsável por sistemas precipitantes com curto período de duração e que não possuem um suporte dinâmico para se deslocar por grandes distâncias. No entanto, verifica-se pelos mesmos gráficos que os eventos precipitantes com deslocamento de oeste e maiores do que 1000 km ocorrem com uma menor frequência.

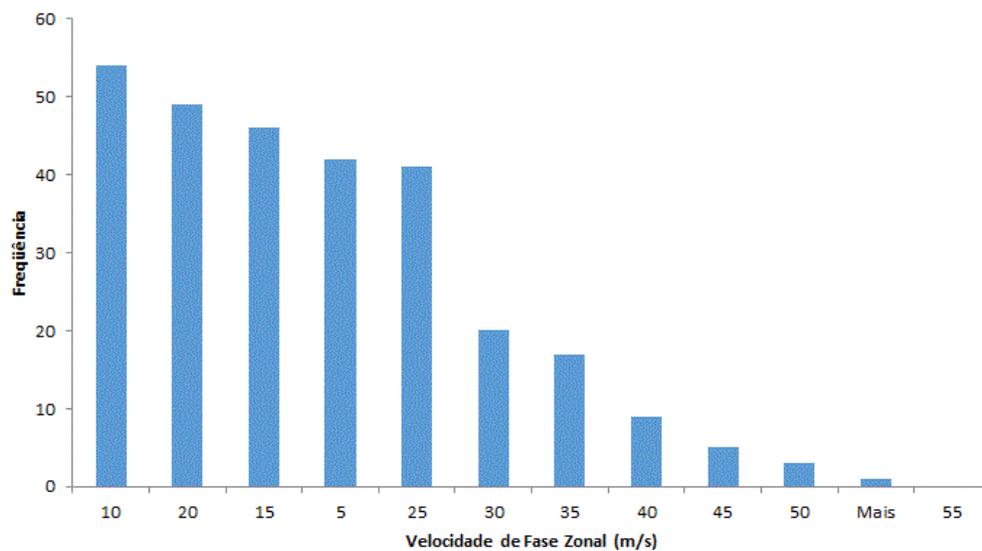


Figura 7: Histograma para velocidade de fase positiva com eventos acima de 1000 km de extensão horizontal entre os anos de 2003 e 2005.

A Fig. 7 mostra que o predomínio para sistemas de grande escala com velocidade de fase positiva está na faixa de até 10 m s^{-1} . As ondas de Kelvin têm velocidade de fase máxima de 20 m s^{-1} que também podem ser observadas no histograma.

3.2 Estudo de Casos

- 19 a 24 de março de 2003

A Fig. 8 mostra um sistema de duração de aproximadamente 4 dias, entre 19 e 23 de março de 2003. O sistema se propaga de oeste da longitude de 75° W até 40° W, ao efetuar a conversão a propagação se dá em aproximadamente 3900 km o que é compatível com a extensão das ondas de Kelvin.

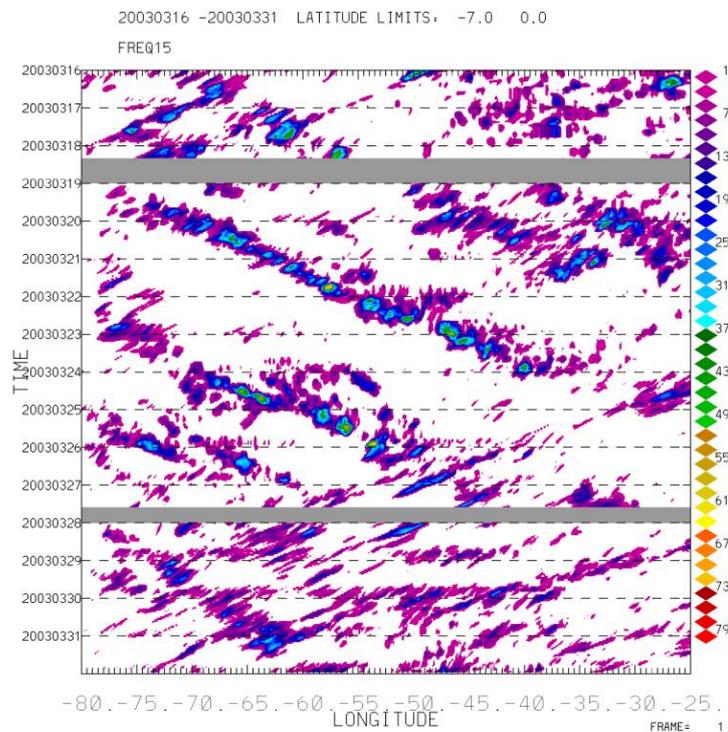


Figura 8: Diagrama de Hovmöller de precipitação estimada pelo CMORPH entre os dias 16 e 31 de março de 2003. As cores indicam a taxa de chuva em mm h^{-1} .

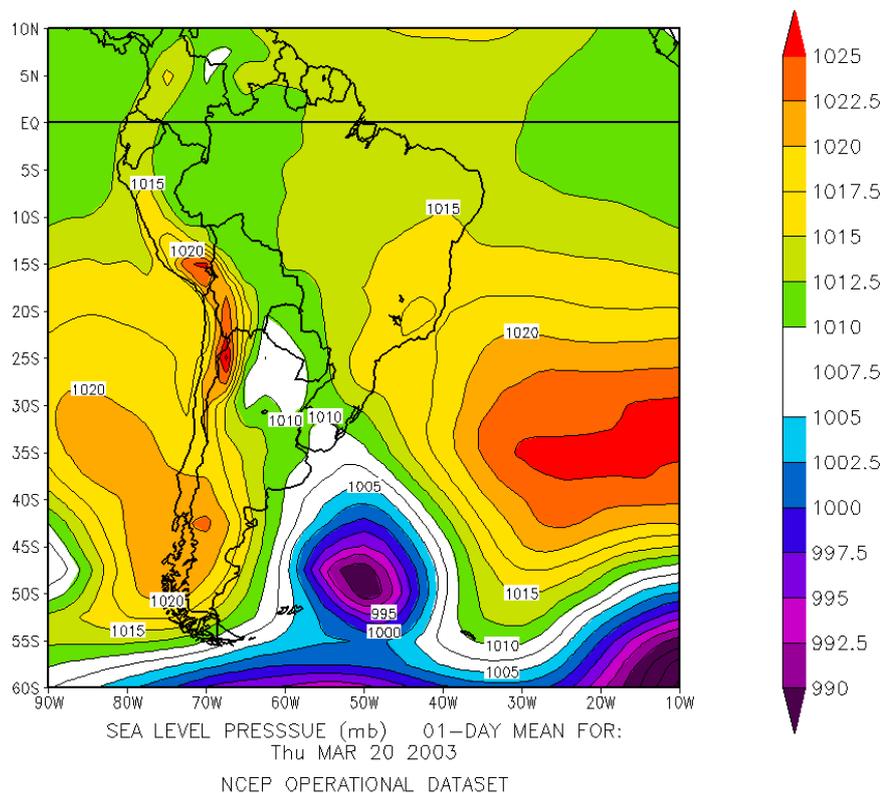


Figura 9: Pressão ao nível médio do mar em milibares no dia 20 de março de 2003.

Na Fig. 9 é possível verificar a existência de um ciclone extratropical com centro de baixa de 995hPa, que atua organizando o fluxo de ventos de sul como pode ser visto no diagrama de Hovmöller para o vento meridional, Fig.11.

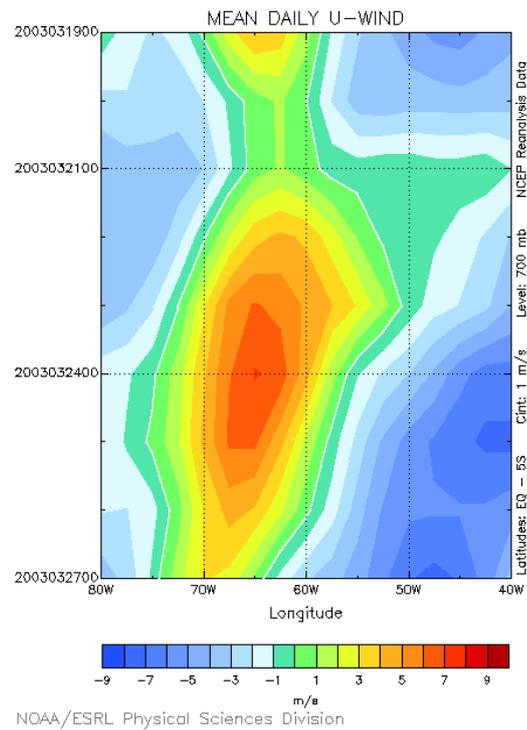


Figura 10: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento zonal em $m s^{-1}$ entre os dias 19 e 27 de março de 2003. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de leste, os positivos de oeste.

Dessa forma há a presença tanto do fluxo de ventos zonais de oeste, Fig. 10, que favorecem a propagação das ondas de Kelvin quanto o disparo dos extratropicais ao gerar uma forçante de sul. O período de propagação também é inferior a 10 dias.

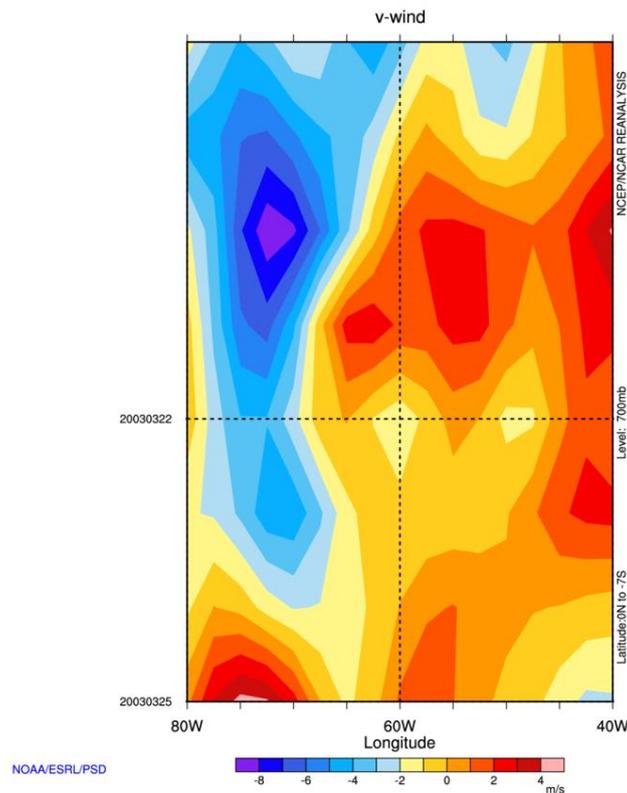


Figura 11: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento meridional ms^{-1} entre os dias 19 e 27 de março de 2003. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de norte, os positivos de sul.

A Fig. 12 mostra o padrão de radiação de onda longa emergente e mostra valores da ordem de 200 W m^{-2} , sobre a bacia amazônica, indicando a presença de nebulosidade com grande desenvolvimento vertical. O mesmo padrão se repete na faixa equatorial e tropical africana. Nas áreas equatoriais e tropicais do Oceano Atlântico os valores aumentam indicando que não há a presença de muitas nuvens. Dessa forma é possível verificar a presença de centros de baixa pressão atmosférica e alta pressão atmosférica se propagando com um trem de onda. Há uma forma de linha também entre a África equatorial e o norte da América do Sul, que fica na faixa tropical. Esta linha de convecção é a Zona de Convergência Intertropical.

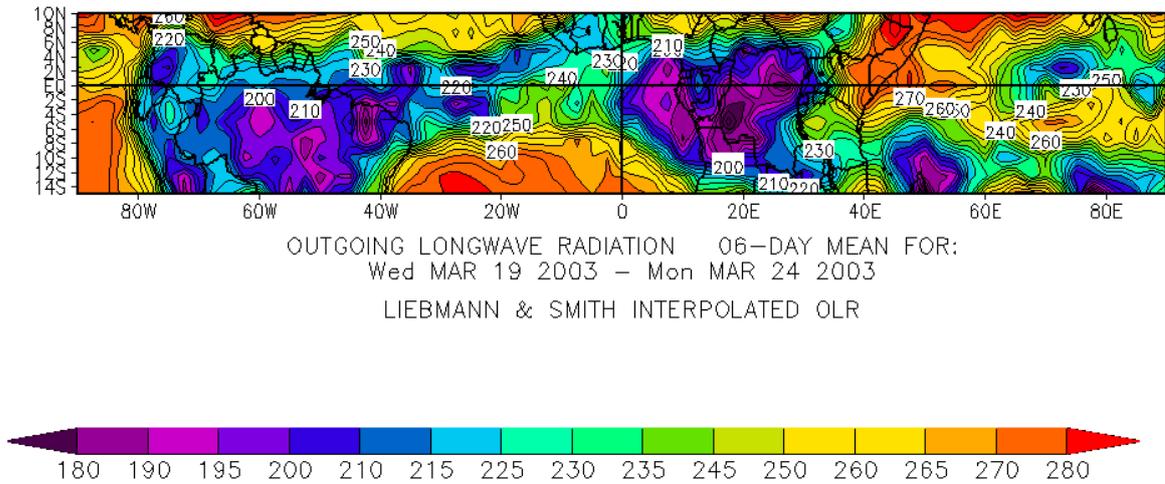


Figura 12: Mapa da distribuição da radiação de onda longa emergente entre os dias 10 e 24 de março de 2003 para as longitudes de 90°W a 90°E e entre as latitudes de 10°N a 14°S.

Os mesmos padrões ondulatórios para a propagação entre os dias 19 e 23 de março de 2003, são observados no diagrama de Hovmöller de onda longa emergente, na Fig. 13. Há uma organização evidente entre os dias 19 ao dia 23 de março de 2003. Os valores negativos indicam a presença de convecção que absorve a radiação de onda longa emergente.

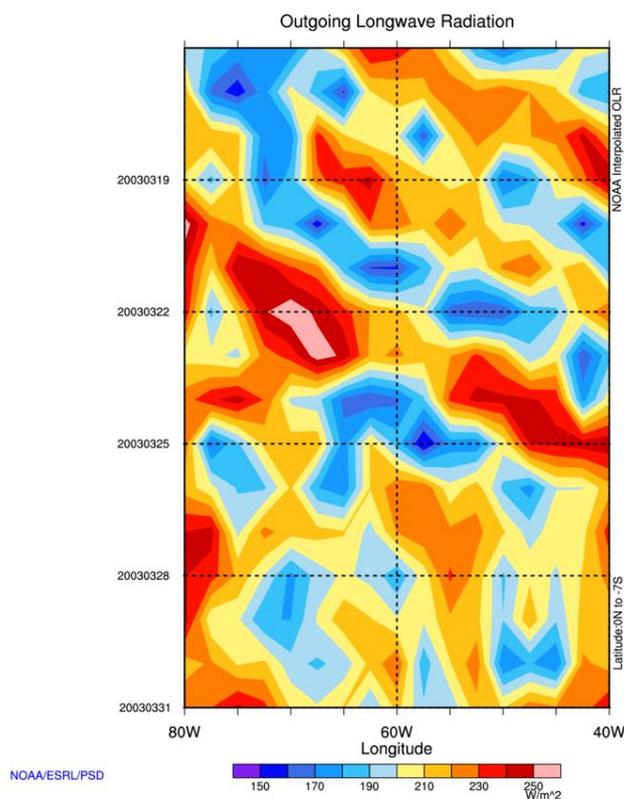


Figura 13: Diagrama de Hovmöller para a média diária entre as latitudes de 0 a 7°S da radiação de onda longa emergente entre os dias 18 e 31 de março de 2003, para as longitudes de 80°W a 40°W.

Na Fig. 13 também é possível verificar o padrão de deslocamento de uma onda atmosférica. O padrão também envolve um grande fator convectivo nos valores baixos observados nos tons em azul, sucedidos de um fator seco bastante forte. As propagações de sistemas úmidos e secos mostram um padrão que pode ser configurado de uma onda atmosférica.

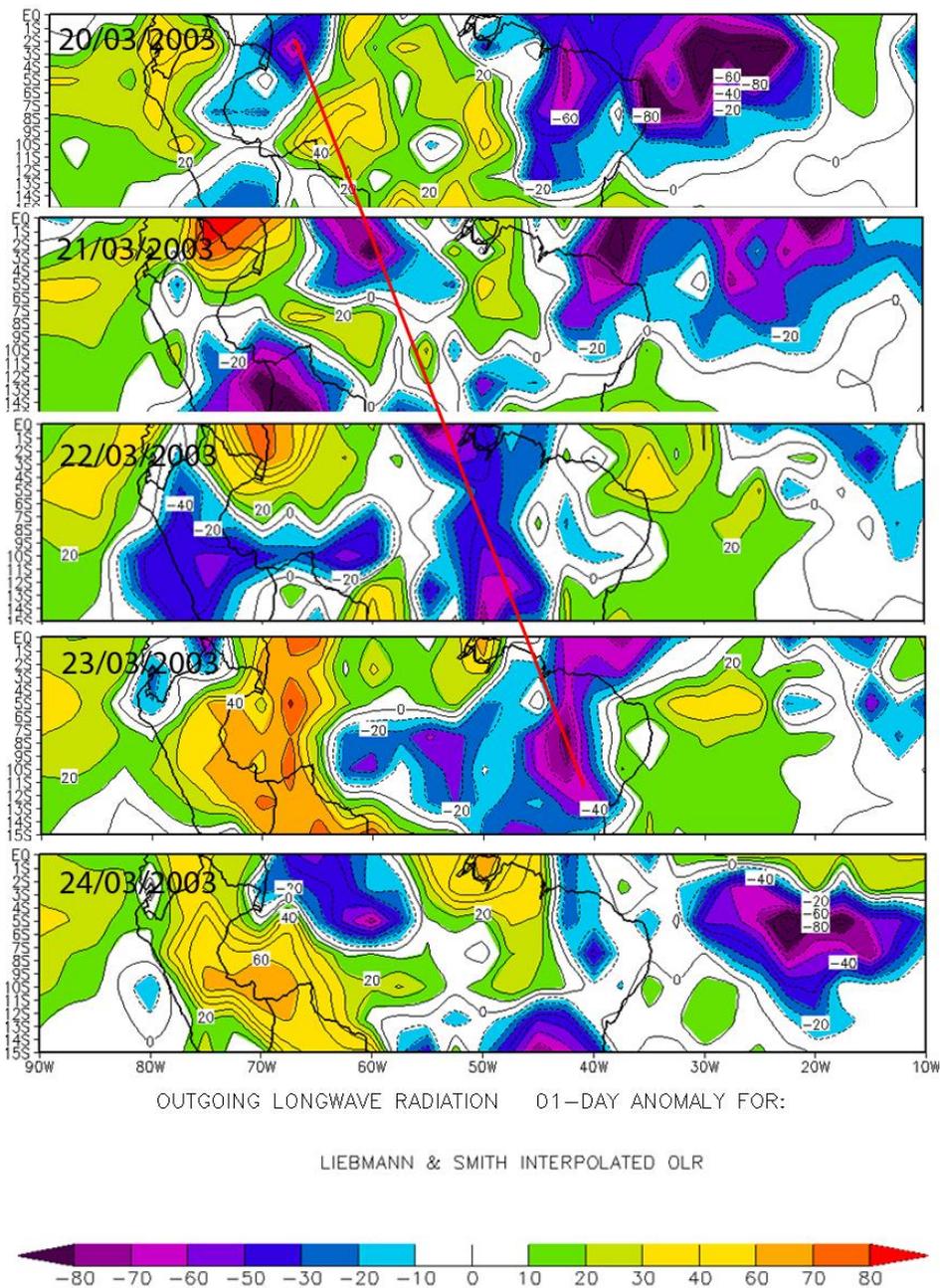


Figura 14: Mapa de anomalia de radiação de onda longa emergente de 20 a 24 de março de 2003, entre as latitudes de 0 a 15°S e entre as longitudes de 90°W a 90°E em $W m^{-2}$. A linha em vermelho representa a propagação de uma anomalia entre as longitudes de 80°W e 40°W.

Isso indica uma propagação de oeste associada à convecção na faixa da bacia amazônica. Na Fig. 14, que mostra a anomalia de onda longa emergente é possível ver a propagação de oeste do sistema convectivo formado em latitudes equatoriais e longitude de 70°W no dia 20 de março. Ao avançar para longitudes menores o sistema se intensifica e

provoca um desenvolvimento convectivo intenso até o dia 23 no qual o sistema se encontra sobre 40°W. No dia 24 de março não há mais a presença do sistema convectivo.

O cálculo da velocidade de fase zonal é de $11,4 \text{ m s}^{-1}$, que é muito próxima dos valores médios de propagação das ondas de Kelvin no Oceano Índico, onde estas são mais lentas.

Entre os dias 24 e 27 de março de 2003 também é possível verificar a existência de outro sistema com propagação de oeste na Fig. 8. No entanto, ao calcular a velocidade de fase zonal é encontrado o valor de $7,6 \text{ m s}^{-1}$ que se mostra incompatível com a faixa das ondas de Kelvin inclusive sobre áreas do Oceano Índico. O padrão de propagação também é observado no diagrama de Hovmöller para a radiação de onda longa emergente, mas o deslocamento se dá dessa vez entre as longitudes de 70° W e 50° W, em um período de tempo e espaço menores.

Tanto a precipitação estimada pelo CMORPH, Fig. 15, quanto a anomalia de onda longa emergente, Fig. 14, mostram o avanço do sistema precipitante. A propagação ocorre de oeste em ambos os casos, mas o detalhamento é melhor na imagem fornecida pelo CMORPH, além disso é possível verificar o avanço de um segundo sistema logo após a propagação do de maior duração.

O segundo sistema, entre os dias 24 e 27, tem intensidade e duração menor. O fato da propagação ocorrer em uma área mais instável na maior parte da coluna de ar, após a passagem de um sistema precipitante, pode contribuir para uma instabilidade atmosférica menor.

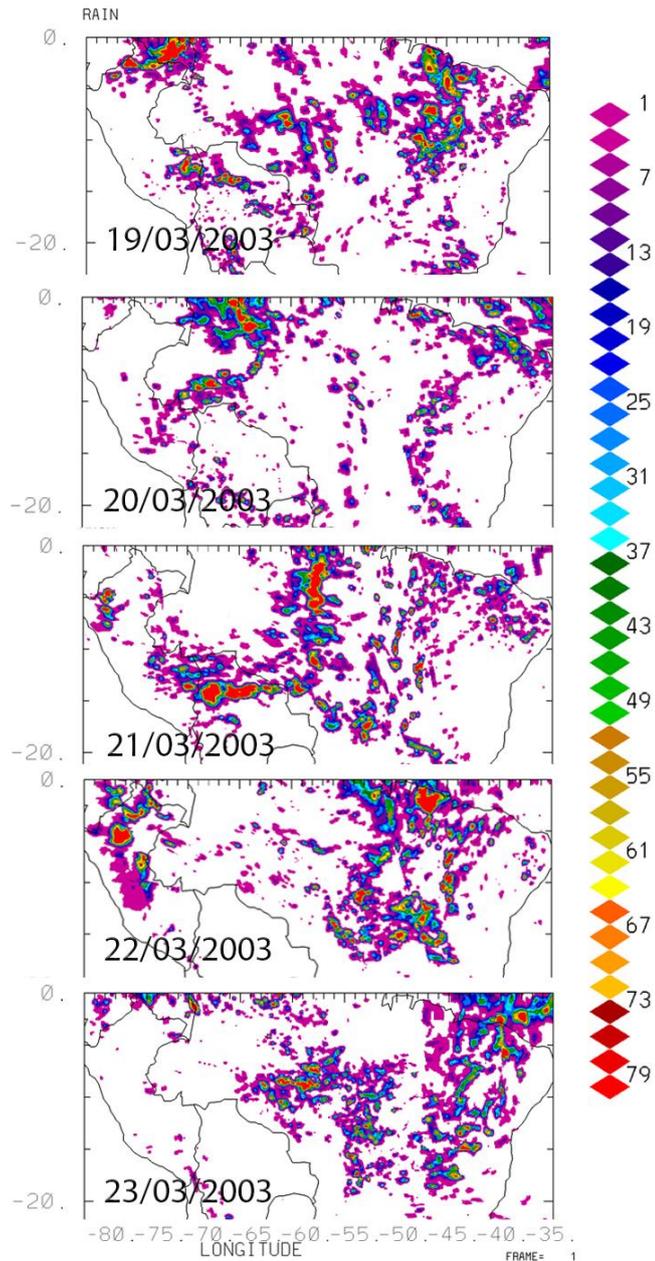


Figura 15: Mapa de estimativa de chuva pelo CMORPH entre os dias 19 e 23 de março de 2003 para as latitudes de 0 a 20°S entre as longitudes de 80 a 35°W. As cores representam o acumulado de chuva diário.

- 12 a 15 de janeiro de 2004

A Fig. 16 mostra o diagrama de Hovmöller para a precipitação estimada pelo CMORPH. Nota-se a presença de um sistema com propagação de oeste entre os dias 12 e 15 de janeiro de 2004. O período de propagação é inferior a 10 dias.

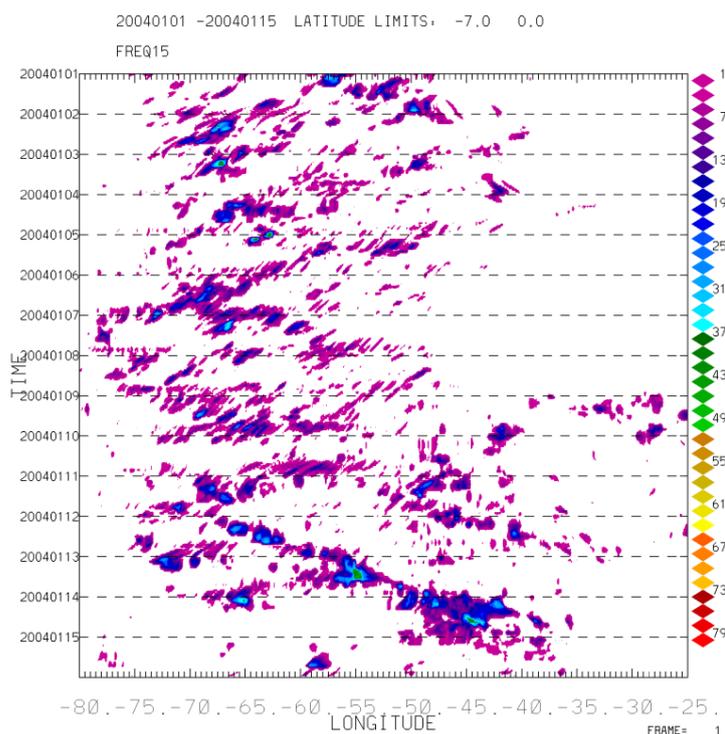


Figura 16: Diagrama de Hovmöller de precipitação estimada pelo CMORPH entre os dias 01 e 15 de janeiro de 2004. As cores indicam a taxa de chuva em mm h^{-1} .

A extensão de propagação zonal é de 3300 km que é compatível com as ondas de Kelvin. A propagação ocorre da longitude de 70° W para 40° W. Na Fig. 17 há a presença de um sistema de baixa pressão atmosférica de 1010 hPa no Atlântico Sul entre as latitudes de 15° S e 25° S, isto é, não está nos extratropicos. Dessa forma a forçante não vem de um ciclone extratropical como no estudo de caso anterior.

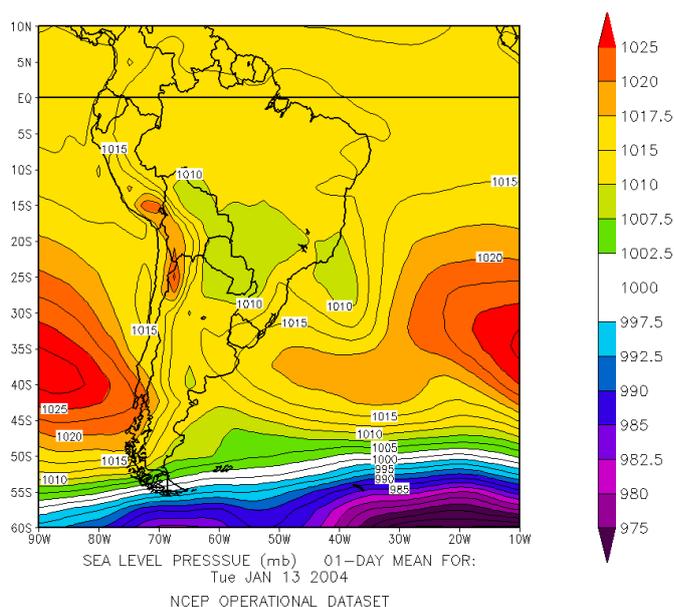


Figura 17: Pressão ao nível médio do mar em milibares no dia 20 de março de 2003.

No diagrama de Hovmöller para o vento zonal é possível verificar a forçante de oeste, Fig. 17. Já o diagrama para o vento meridional, Fig. 19, mostra a presença de uma forçante de norte em 80°W. A sustentação da forçante de sul perde sua intensidade pela ausência de um sistema nos extratropicos que favoreça a organização da onda de Kelvin. A Fig. 18 também mostra a presença de uma forçante de oeste por meio dos ventos positivos registrados entre as longitudes de 70° W e 80° W.

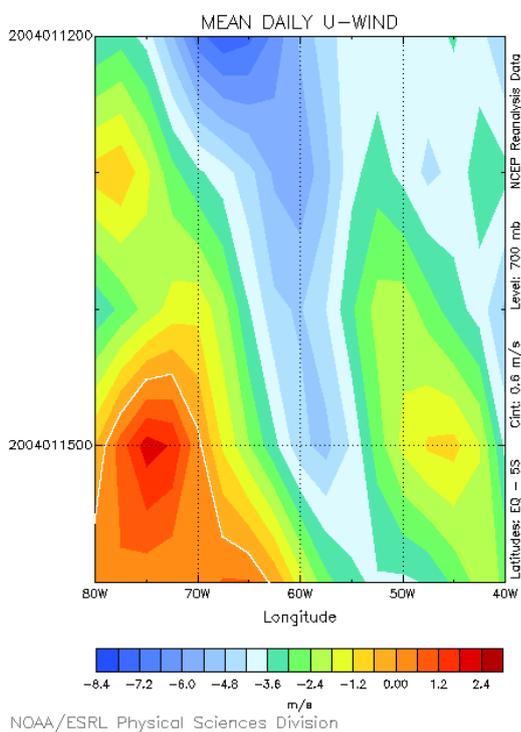


Figura 18: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento zonal em ms^{-1} entre os dias 12 e 16 de janeiro de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de leste, os positivos de oeste.

No entanto, a Fig. 20 ainda apresenta um padrão de convecção sobre a bacia amazônica e sobre áreas da faixa equatorial da África, análogo ao mesmo diagrama gerado para o evento de março de 2003. Porém não há uma presença clara da Zona de Convergência Intertropical. O diagrama de Hovmöller para a radiação de onda longa emergente mostra também um padrão de propagação de oeste entre os dias 12 e 15 de janeiro de 2004.

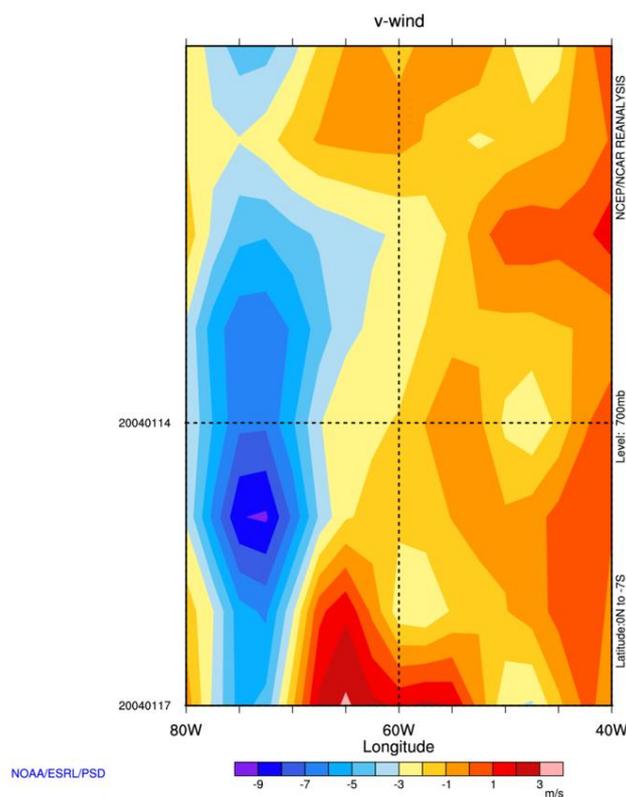


Figura 19: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento meridional $m s^{-1}$ entre os dias 12 e 17 de janeiro de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de norte, os positivos de sul.

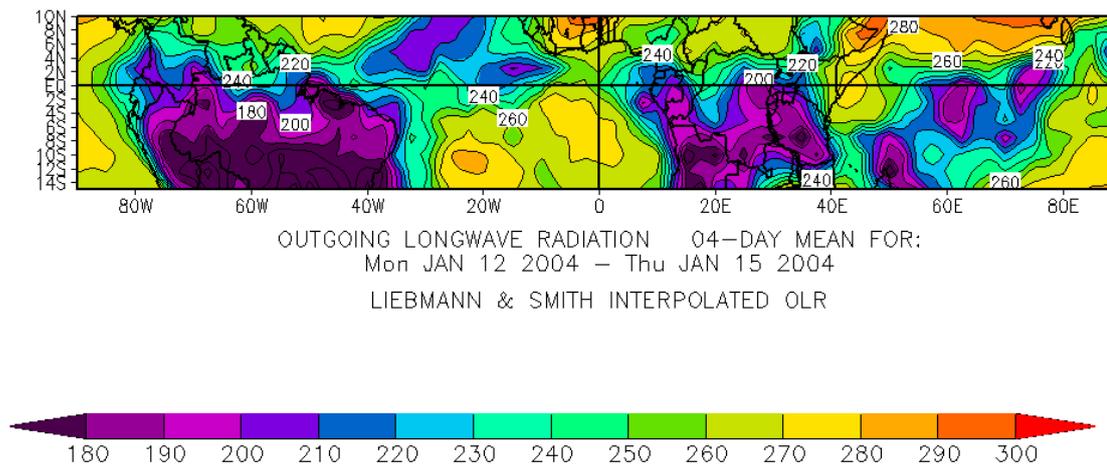


Figura 20: Mapa da distribuição da radiação de onda longa emergente entre os dias 12 e 16 de janeiro de 2004 para as longitudes de $90^{\circ}W$ a $90^{\circ}E$ e entre as latitudes de $10^{\circ}N$ a $14^{\circ}S$.

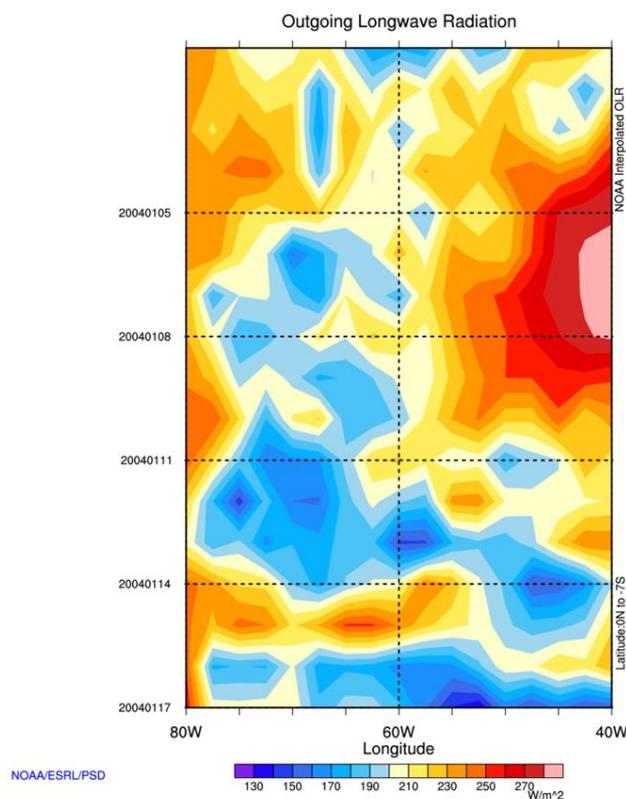


Figura 21: Diagrama de Hovmöller para a média diária entre as latitudes de 0 a 7°S da radiação de onda longa emergente entre os dias 05 e 17 de janeiro de 2004, para as longitudes de 80°W a 40°W.

O período do evento é de aproximadamente 3 dias, equivalente ao período proposto para as ondas de Kelvin. O cálculo da velocidade de fase zonal chega ao valor de $11,2 \text{ m s}^{-1}$ o que novamente é muito próximo da faixa de $12,0 \text{ m s}^{-1}$ a $15,0 \text{ m s}^{-1}$ das velocidades de propagação das ondas de Kelvin sobre o Oceano Índico.

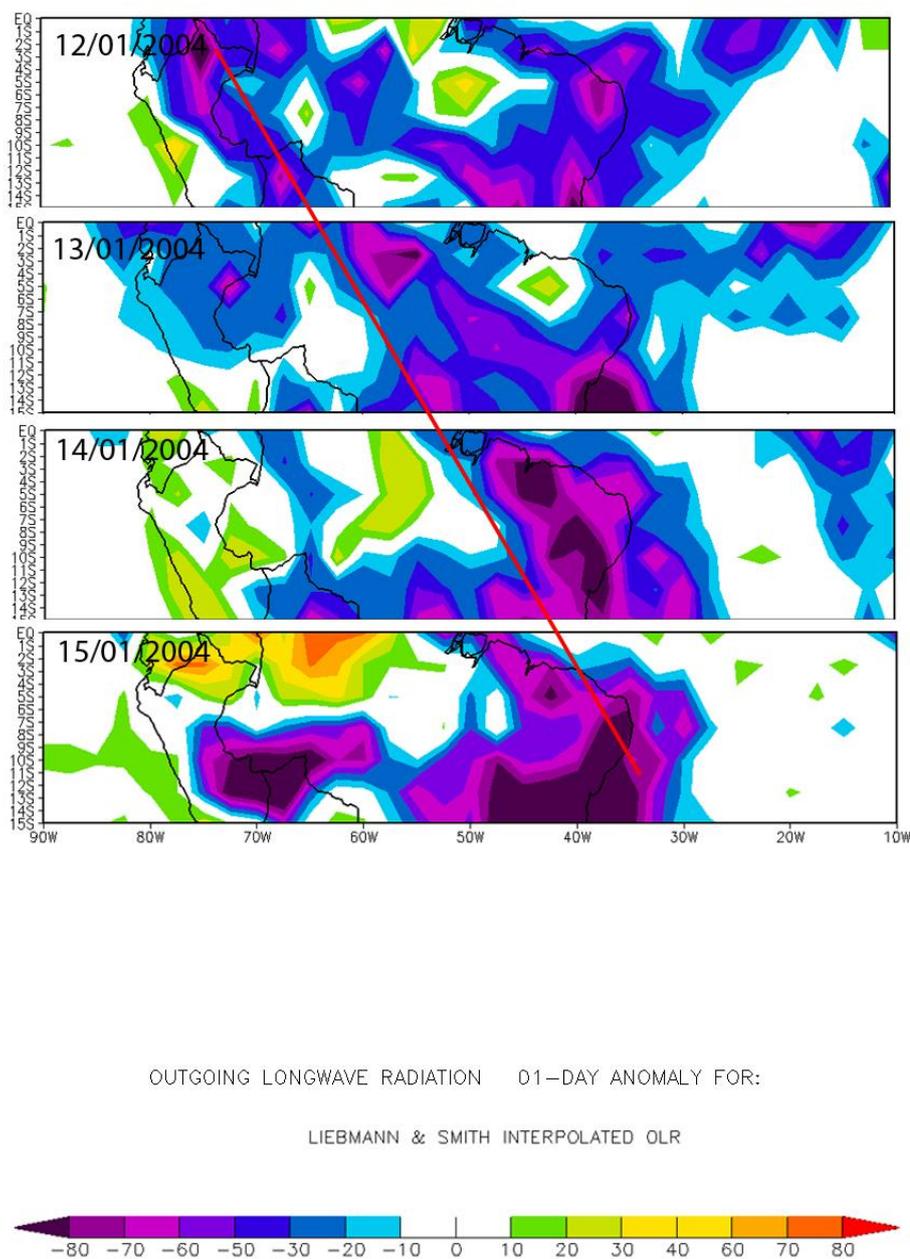


Figura 22: Mapa de anomalia de radiação de onda longa emergente de 12 a 15 de janeiro de 2004, entre as latitudes de 0° a 15° S e entre as longitudes de 90° W a 90° E em $W m^{-2}$. A linha em vermelho representa a propagação de uma anomalia entre as longitudes de 80° W e 40° W.

O diagrama de anomalia de radiação de onda longa emergente, Fig. 22, mostra o avanço do sistema de uma forma muito mais organizada do que a observada pelo CMOPRH, Fig. 23. Mesmo sem uma organização tão explícita, é possível ver uma propagação de sistemas precipitantes de oeste.

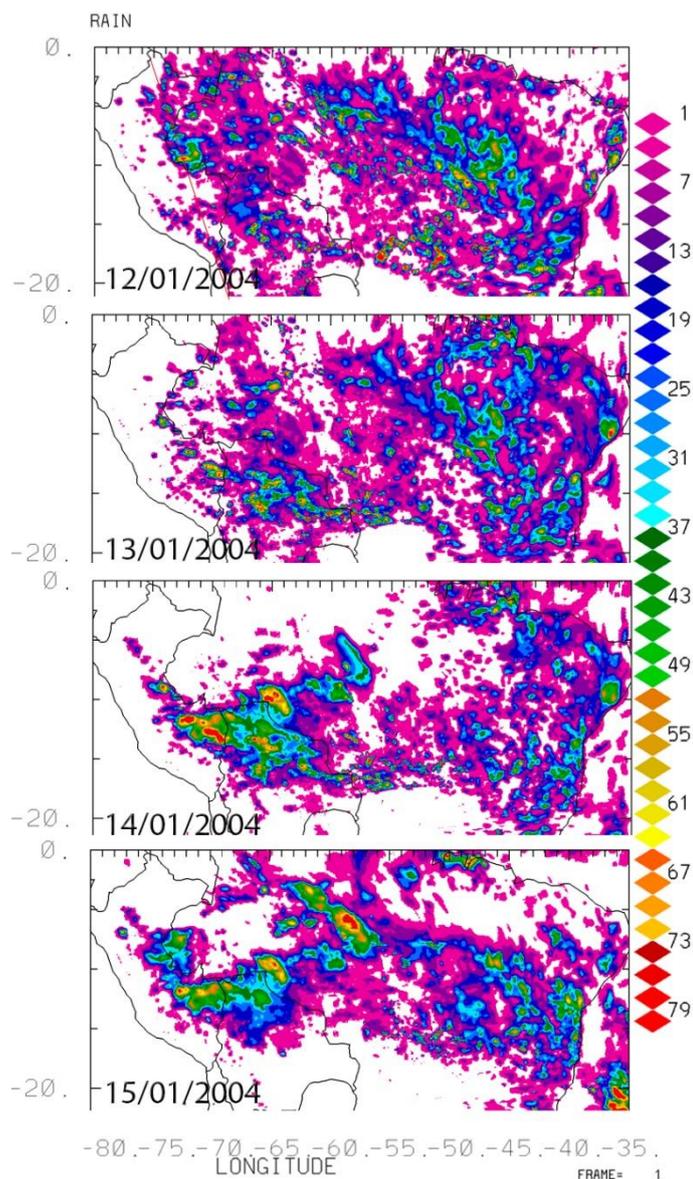


Figura 23: Mapa de estimativa de chuva pelo CMORPH entre os dias 12 e 15 de janeiro de 2004 para as latitudes de 0° a 20°S entre as longitudes de 80°W a 35°W. As cores representam o acumulado de chuva diário.

Novamente a precisão e resolução da propagação e precipitação é melhor na imagem gerada pelo CMORPH. Tanto o posicionamento da precipitação quanto a taxa são melhores representadas. Deve ser lembrado que as resoluções também são diferentes.

- 16 a 18 de janeiro de 2004

Na Fig. 24, o diagrama de Hovmöller mostra a propagação de um sistema nas áreas de interesse entre os dias 16 a 18 de janeiro de 2004. Na Fig. 25, é possível também ver um sistema de baixa pressão atmosférica de 1010 hPa, entre 15° S e 25° S. Mais uma vez não é observada a presença de um ciclone extratropical.

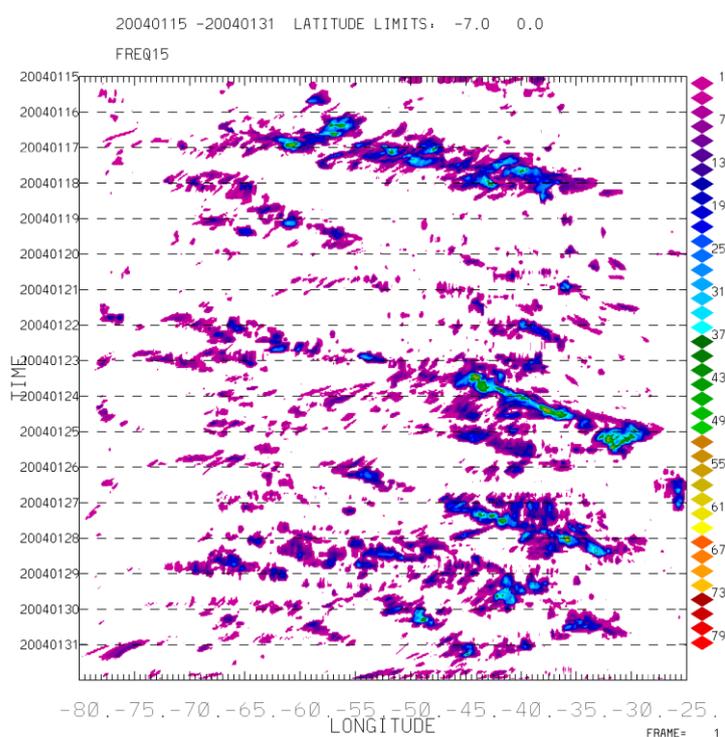


Figura 24: Diagrama de Hovmöller de precipitação estimada pelo CMORPH entre os dias 15 e 31 de janeiro de 2004. As cores indicam a taxa de chuva em mm h⁻¹.

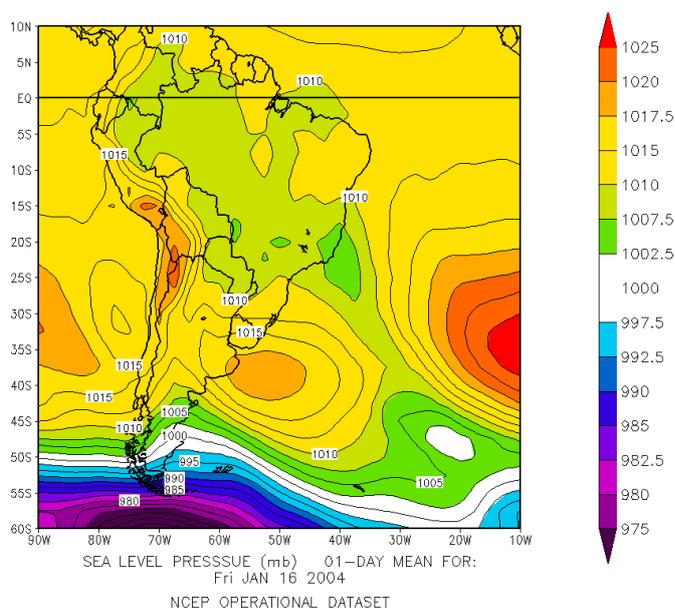


Figura 25: Pressão ao nível médio do mar em milibares no dia 16 de janeiro de 2004.

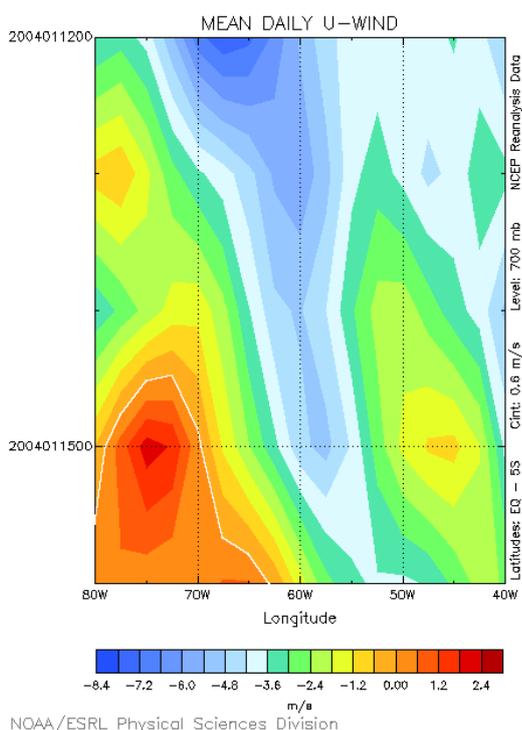


Figura 26: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento zonal $m s^{-1}$ entre os dias 12 e 19 de janeiro de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de leste, os positivos de oeste.

O diagrama de Hovmöller para precipitação estimada pelo CMORPH mostra um sistema muito rápido se propagando pela região da bacia amazônica entre os dias 16 e 18 de janeiro de 2004. A diagrama de Hovmöller para o vento meridional, Fig. 27, mostra a presença de ventos

de norte. No diagrama de Hovmöller para a radiação de onda longa emergente não há uma organização da onda da mesma forma dos demais casos.

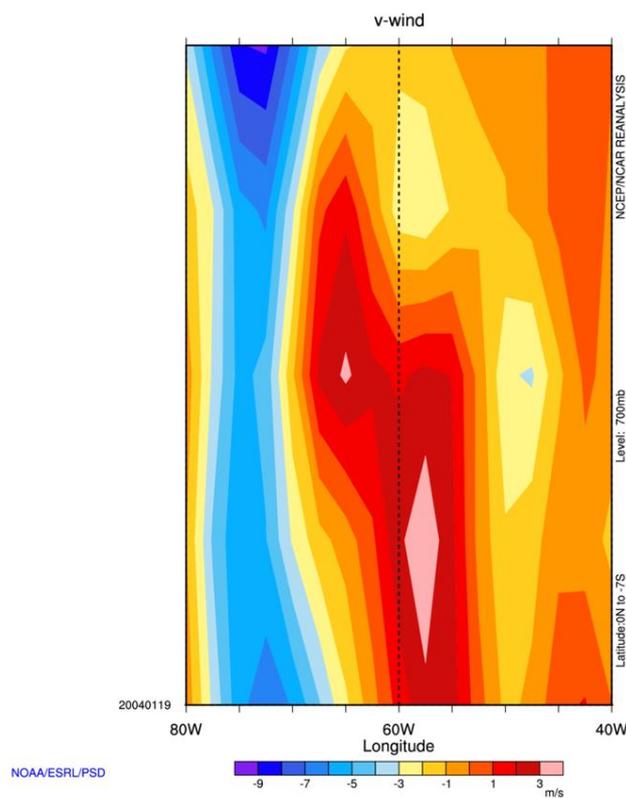


Figura 27: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento meridional $m s^{-1}$ entre os dias 12 e 19 de janeiro de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de norte, os positivos de sul.

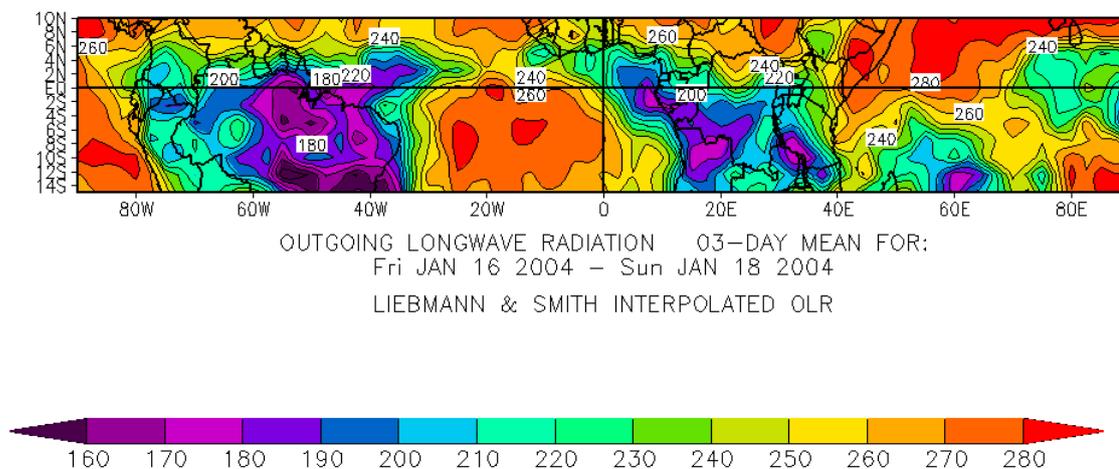


Figura 28: Mapa da distribuição da radiação de onda longa emergente entre os dias 16 e 18 de janeiro de 2004 para as longitudes de 90°W a 90°E e entre as latitudes de 10°N a 14°S.

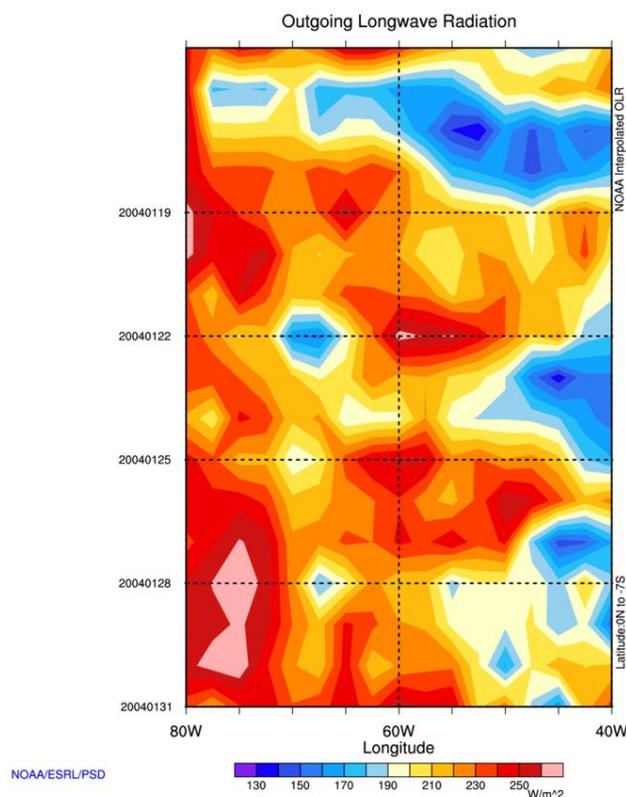


Figura 29: Diagrama de Hovmöller para a média diária entre as latitudes de 0° a 7°S da radiação de onda longa emergente entre os dias 18 e 31 de janeiro de 2004, para as longitudes de 80°W a 40°W.

O diagrama de vento zonal médio diário para o mesmo período mostra que entre as longitudes de 70° a 80°W há valores positivos que indicam um favorecimento na propagação de sistemas de oeste. Os valores de vento zonal chegam aos 2,4 m/s.

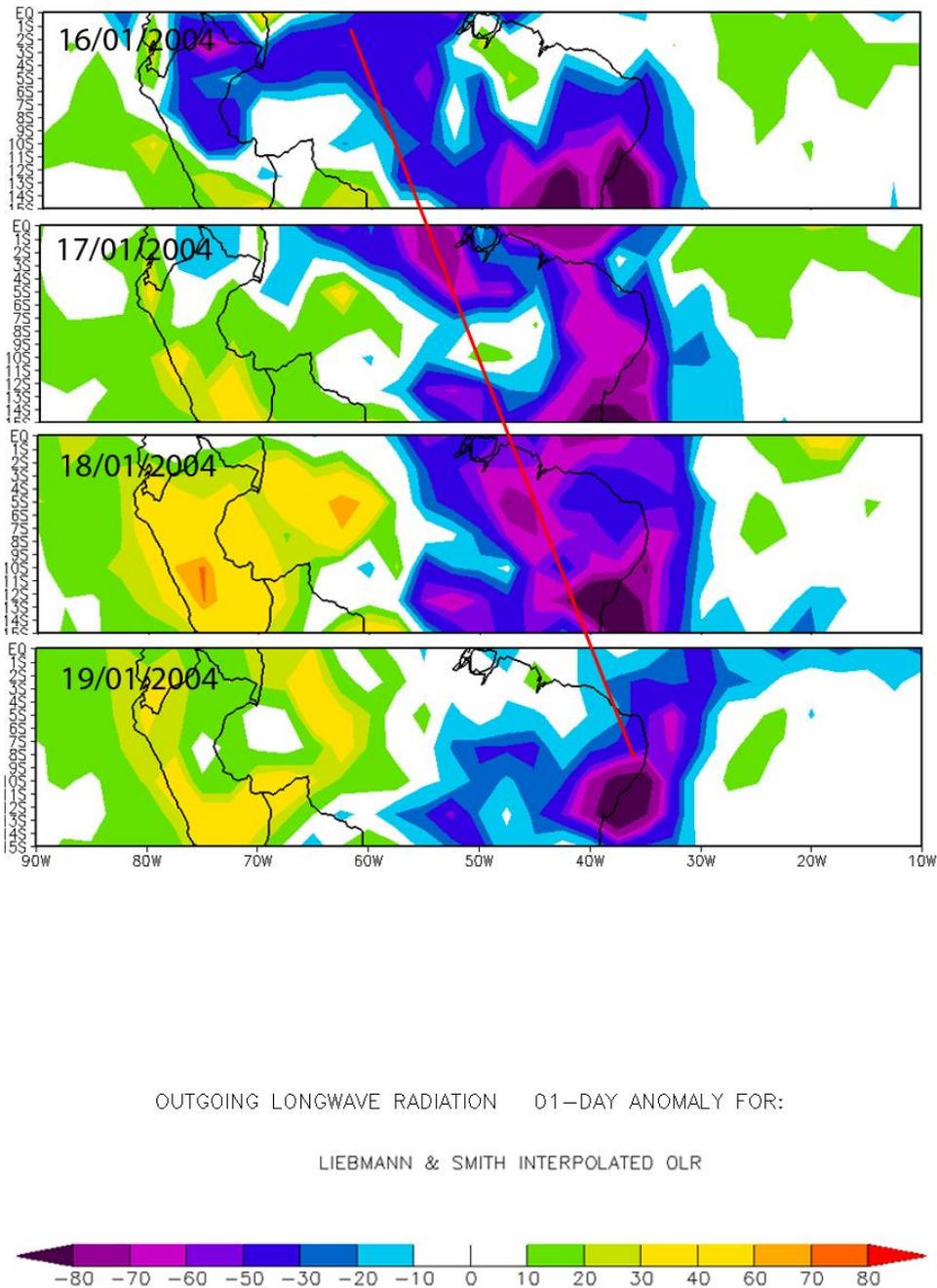


Figura 30: Mapa de anomalia de radiação de onda longa emergente de 16 a 19 de janeiro de 2004, entre as latitudes de 0 a 15°S e entre as longitudes de 90°W a 90°E em Wm^{-2} . A linha em vermelho representa a propagação de uma anomalia entre as longitudes de 80°W e 40°W.

Calculando a velocidade de onda zonal é obtido o valor de $22,5 \text{ m s}^{-1}$ que não é compatível com as velocidades propostas para as ondas de Kelvin. Trata-se de um sistema muito veloz que possui propagação de oeste, a velocidade da onda e o tempo de duração do evento não indicam a presença deste tipo de onda.

- 24 a 27 de fevereiro de 2004

A Fig. 31 mostra a presença de alguns sistemas com deslocamento de oeste. O foco será no evento que ocorre entre os dias 24 e 27 de fevereiro de 2004, que possui uma organização mais clara e um período de propagação maior do que os demais.

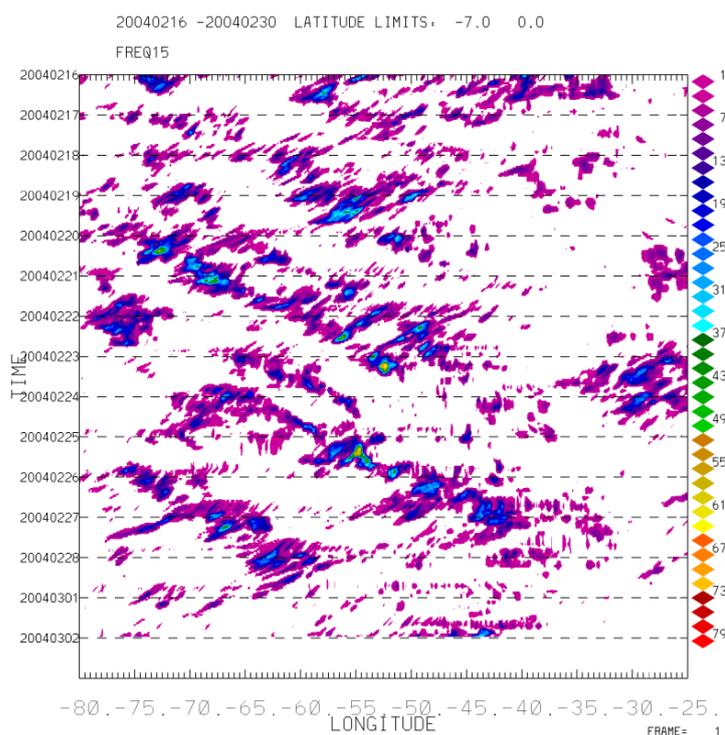


Figura 31: Diagrama de Hovmöller de precipitação estimada pelo CMORPH entre os dias 24 e 27 de fevereiro de 2004. As cores indicam a taxa de chuva em mm h^{-1} .

Na Fig. 32, que representa o campo de pressão superficial, é possível ver a presença de um ciclone extratropical com centro de baixa em torno de 35° S no Oceano Atlântico. A intensidade é de 1008 hPa.

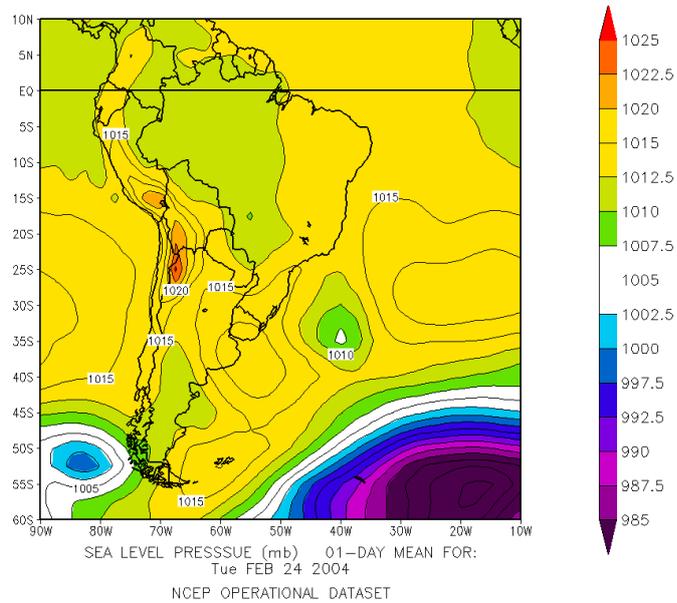


Figura 32: Pressão ao nível médio do mar em milibares no dia 24 de fevereiro de 2004.

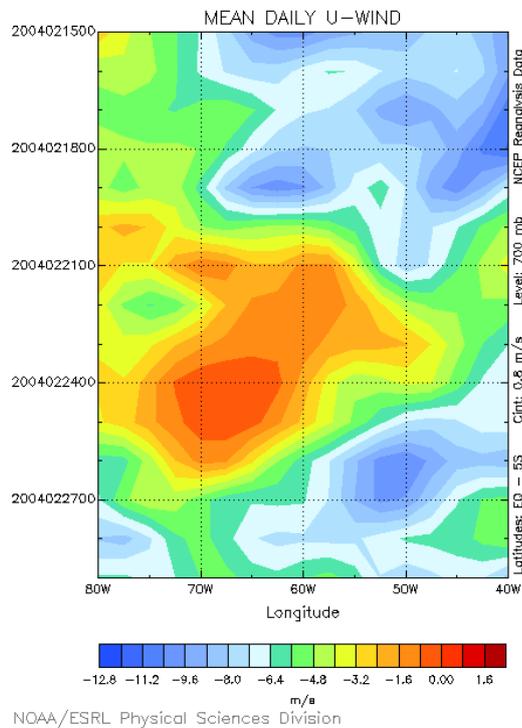


Figura 33: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento zonal em $m s^{-1}$ entre os dias 15 e 28 de fevereiro de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de leste, os positivos de oeste.

Os diagramas de precipitação e de vento médio zonal também indicam um sentido de propagação de oeste. Na Fig. 34 é possível também observar a presença de uma forçante de sul em 80° W e 60° W que é estabelecida pela presença do sistema de baixa pressão atmosférica observada na Fig. 32.

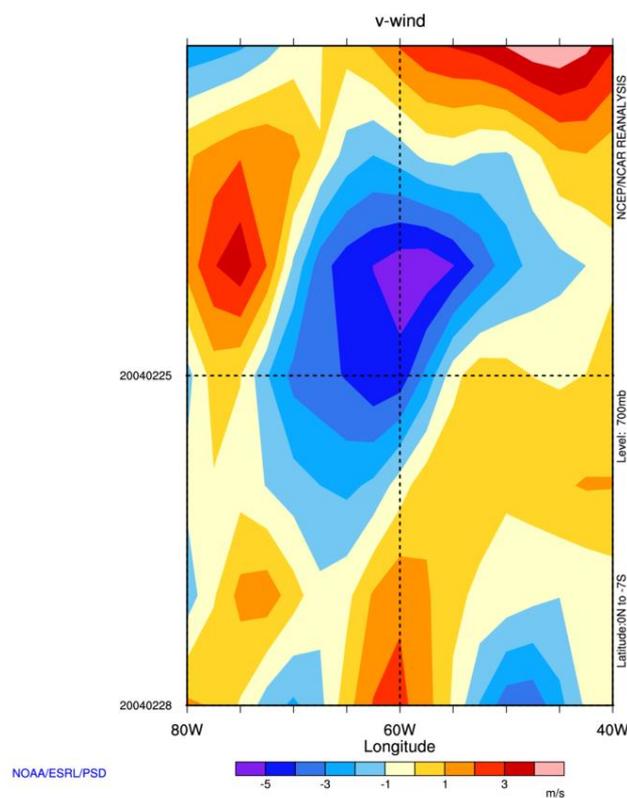


Figura 34: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento meridional $m s^{-1}$ entre os dias 23 e 28 de fevereiro de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de norte, os positivos de sul.

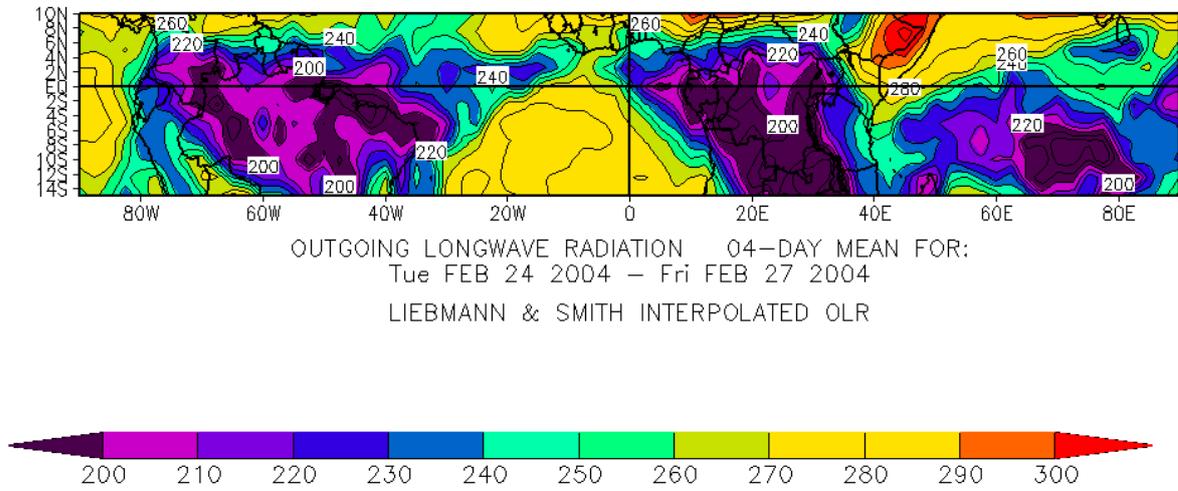


Figura 35: Mapa da distribuição da radiação de onda longa emergente entre os dias 24 e 27 de fevereiro de 2004 para as longitudes de 90°W a 90°E e entre as latitudes de 10°N a 14°S .

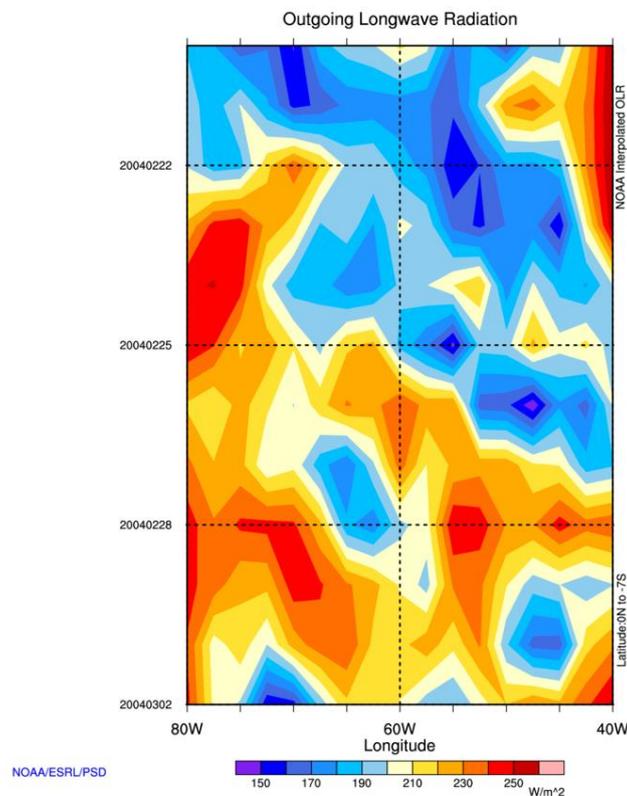


Figura 36: Diagrama de Hovmöller para a média diária entre as latitudes de 0 a 7°S da radiação de onda longa emergente entre os dias 21 de fevereiro e 02 de março de 2004, para as longitudes de 80°W a 40°W .

No cálculo da velocidade de propagação zonal chega-se ao valor de $12,1 \text{ m s}^{-1}$ que é compatível com as velocidades propostas nos estudos de ondas de Kelvin para o caso úmido em situações observadas sobre o Oceano Índico.

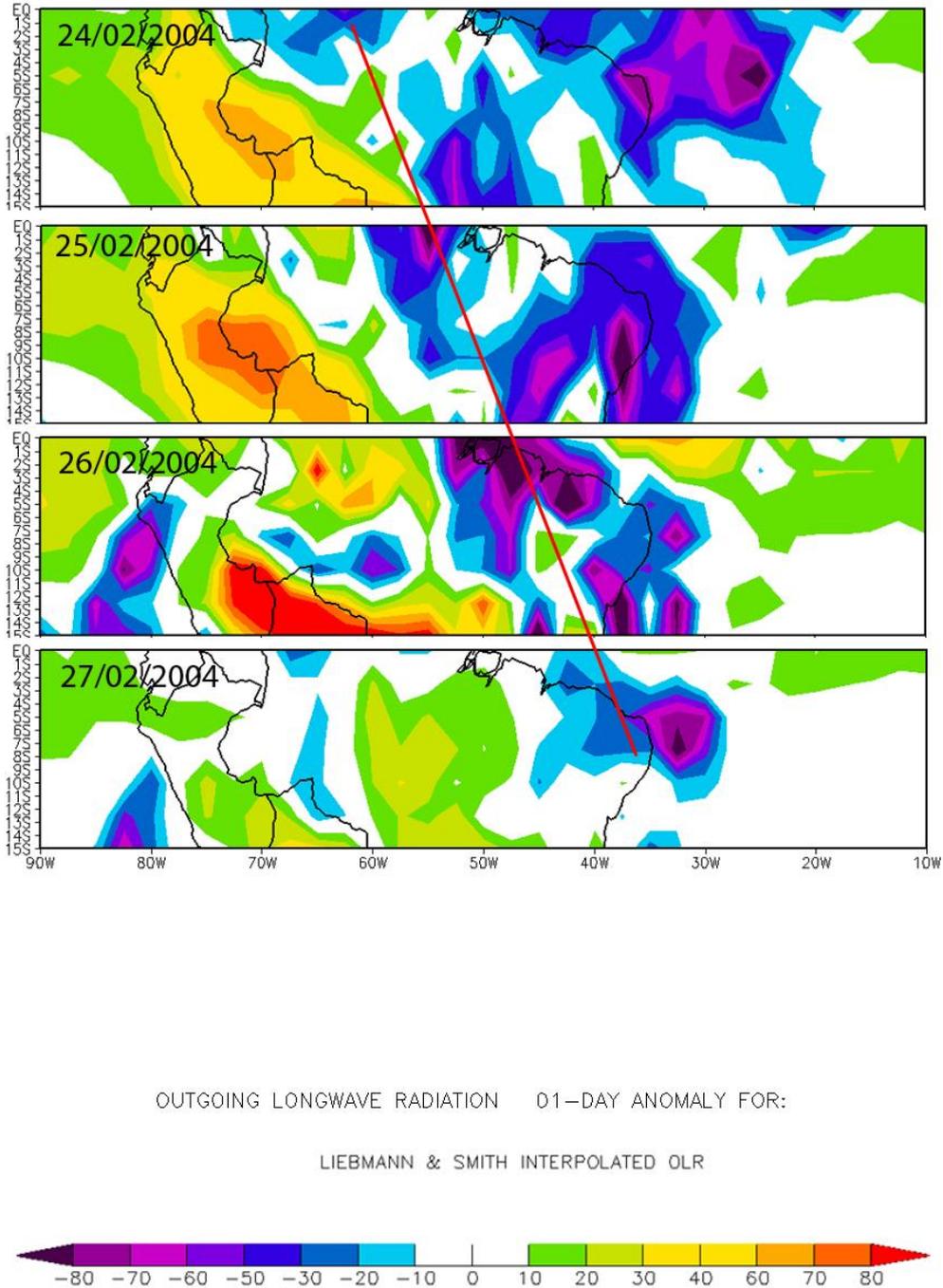


Figura 37: Mapa de anomalia de radiação de onda longa emergente de 24 a 27 de fevereiro de 2004, entre as latitudes de 0 a 15°S e entre as longitudes de 90°W a 90°E em W m^{-2} . A linha em vermelho representa a propagação de uma anomalia entre as longitudes de 80°W e 40°W.

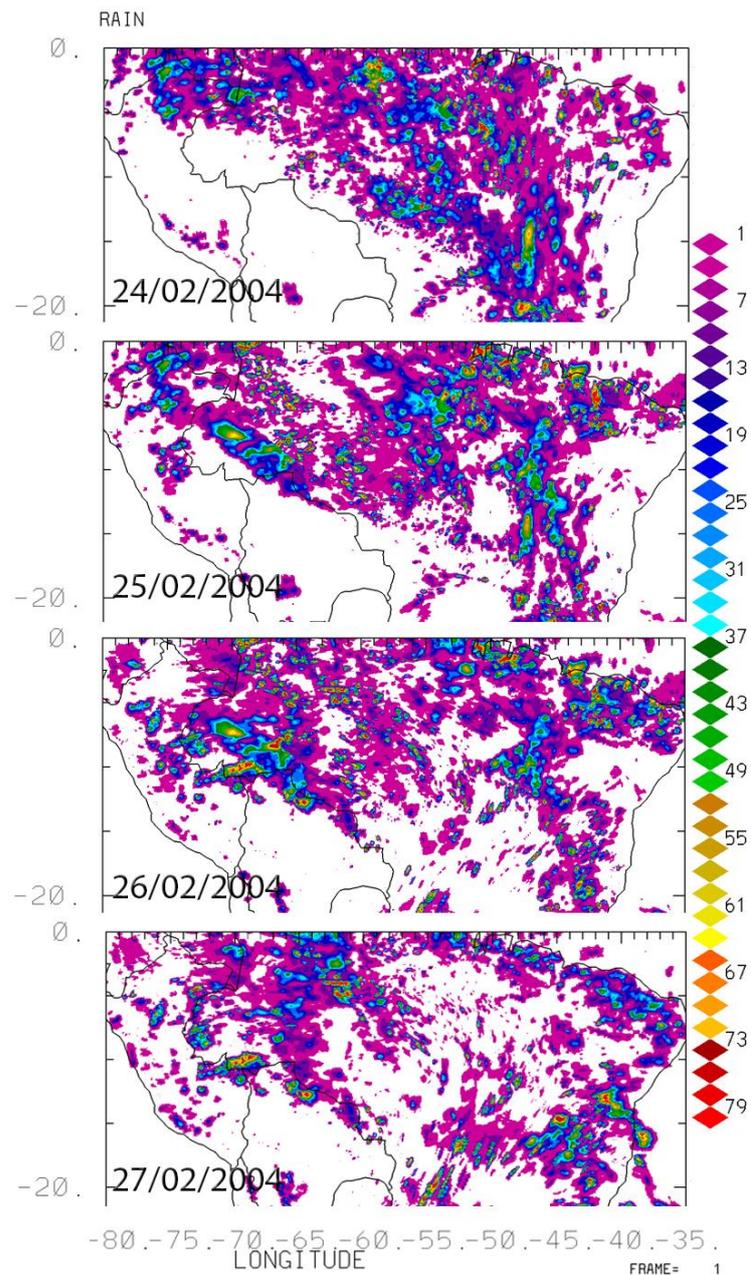


Figura 38: Mapa de estimativa de chuva pelo CMORPH entre os dias 24 e 27 de fevereiro de 2004 para as latitudes de 0° a 20°S entre as longitudes de 80°W a 35°W. As cores representam o acumulado de chuva diário.

Na Fig. 38 é possível ver a propagação de um sistema de oeste para leste, da mesma forma que a Fig. 37 que mostra o mesmo avanço de uma área com baixos valores de radiação de onda longa emergente, que indica a presença de nebulosidade. No entanto, é possível notar também que o detalhamento do CMORPH para a precipitação é muito maior do que o campo de radiação de onda longa emergente disponibilizada pela reanálise 2 do NCEP.

- 09 a 13 de abril de 2004

A Fig. 39 mostra o diagrama de Hovmöller para a precipitação estimada pelo CMORPH, é possível verificar a presença de um sistema com deslocamento de oeste entre os dias 9 e 13 de abril de 2004.

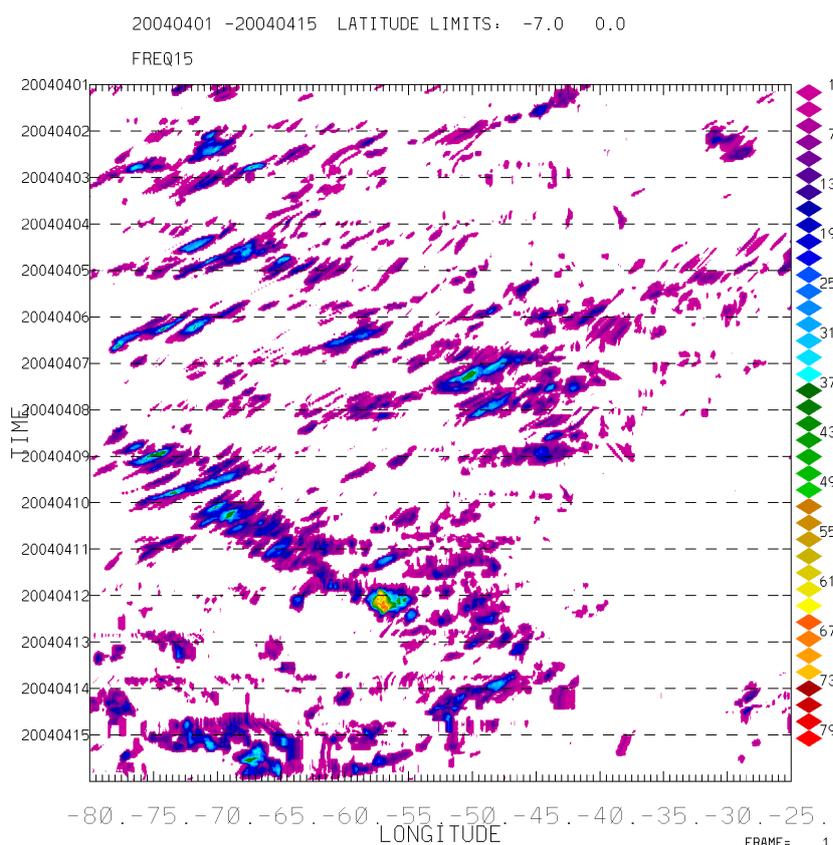


Figura 39: Diagrama de Hovmöller de precipitação estimada pelo CMORPH entre os dias 01 e 15 de abril de 2004. As cores indicam a taxa de chuva em mm h^{-1} .

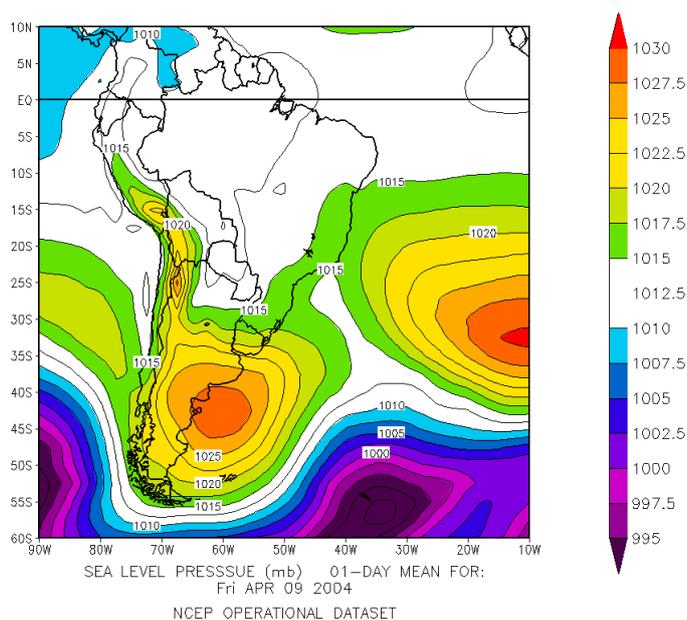


Figura 40: Pressão ao nível médio do mar em milibares no dia 09 de abril de 2004.

Na Fig. 40, é possível observar a presença de uma baixa pressão nos extratropicais. Entretanto, este ciclone extratropical está envolto por duas altas pressões atmosféricas, uma posicionada no Oceano Atlântico Sul e outra no cone sul com centro no litoral da Argentina em latitudes de aproximadamente 45° S.

A Fig. 41 representa o diagrama de Hovmöller para a média da velocidade zonal do vento, que indica a presença somente de valores negativos no período de deslocamento. Entretanto, a partir do dia 10 de abril é possível perceber uma redução na intensidade dos ventos de leste, o que pode favorecer a propagação e oeste, indicando a presença de uma forçante.

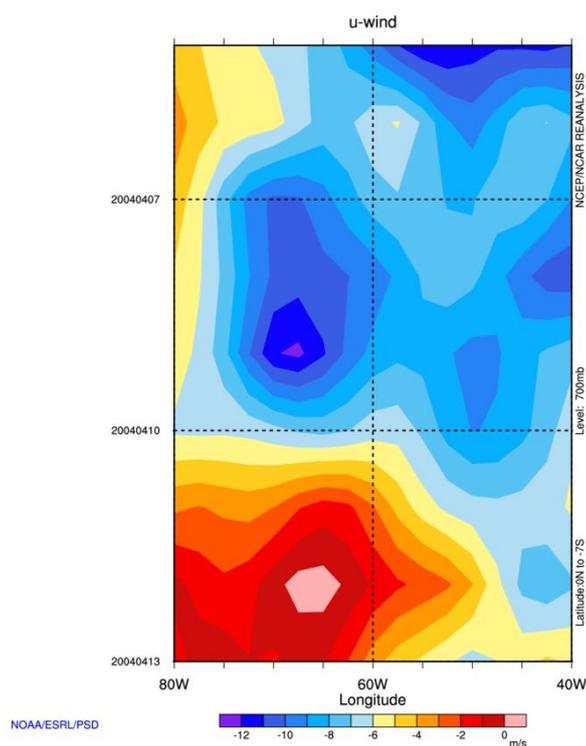


Figura 41: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento zonal $m s^{-1}$ entre os dias 09 e 13 de abril de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de leste, os positivos de oeste.

Apesar da presença do ciclone extratropical observado na Fig. 40, o diagrama de Hovmöller para o vento meridional, Fig. 42, não mostra a presença de uma forçante de sul que poderia também indicar a ação de uma força vinda dos extratropicos com a finalidade da organização dos sistemas precipitantes.

Essa situação pode ter influência diretamente na ausência de ventos de oeste observada na Fig. 41, uma vez que a forçante observada nos extratropicos pode não estar diretamente ligada com a propagação do sistema.

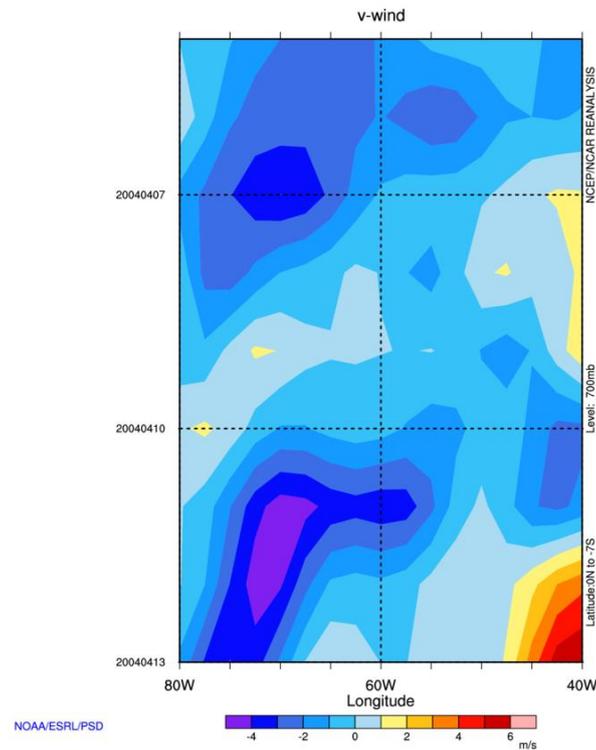


Figura 42: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento meridional $m s^{-1}$ entre os dias 09 e 13 de abril de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de norte, os positivos de sul.

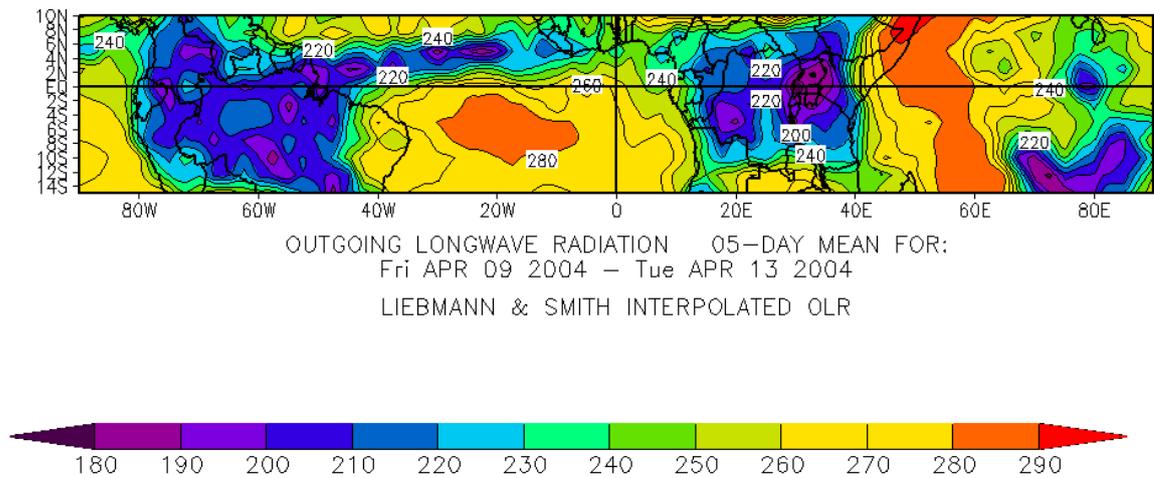


Figura 43: Mapa da distribuição da radiação de onda longa emergente entre os dias 09 e 13 de abril de 2004 para as longitudes de $90^{\circ}W$ a $90^{\circ}E$ e entre as latitudes de $10^{\circ}N$ a $14^{\circ}S$.

A Fig. 43 mostra duas áreas com valores mais baixos sobre a bacia amazônica e na África Central, o que indica a presença de sistemas precipitantes. Um outro suporte de convecção é observado em latitudes equatoriais, é a presença da Zona de Convergência Intertropical de forma bem marcada com convecção intensa.

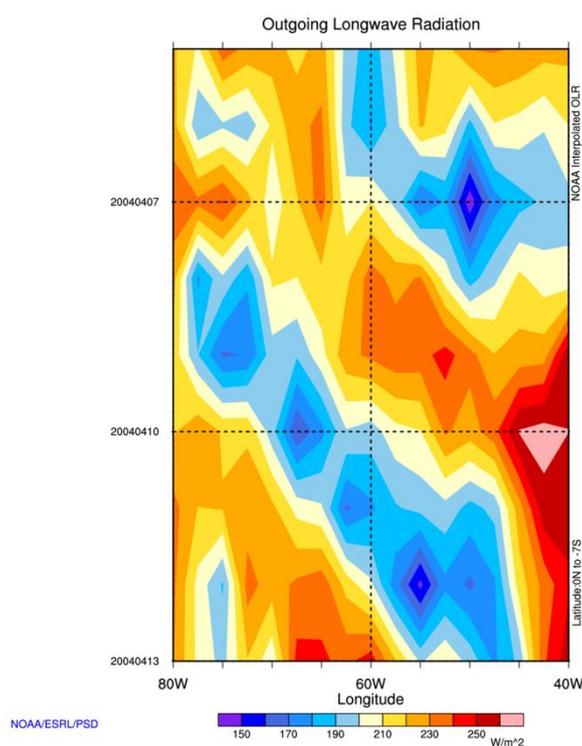


Figura 44: Diagrama de Hovmöller para a média diária entre as latitudes de 0 a 7°S da radiação de onda longa emergente entre os dias 05 e 13 de abril de 2004, para as longitudes de 80°W a 40°W.

A Fig. 44 também mostra a propagação de um sistema de oeste entre os dias 9 e 13 de abril de 2004. O padrão é observado de forma análoga ao mesmo diagrama com os dados do CMORPH, inclusive a área compreendida da propagação entre as longitudes de 80° W e 50° W.

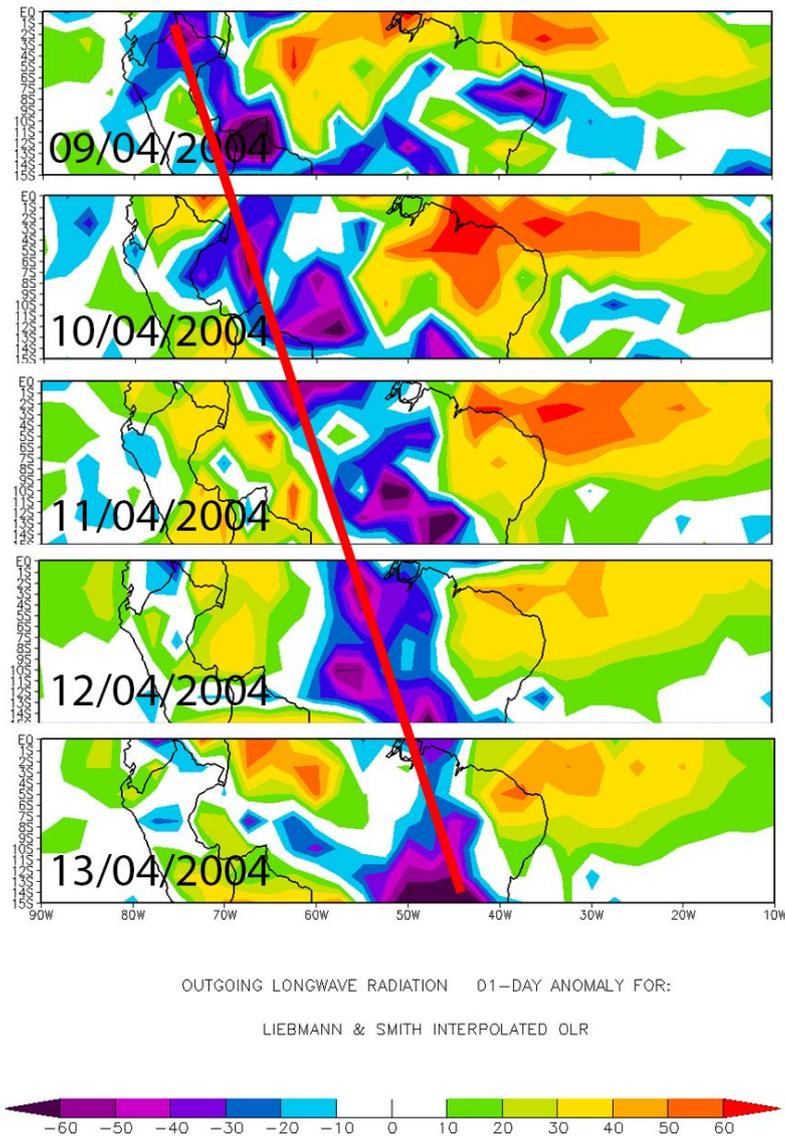


Figura 45: Mapa de anomalia de radiação de onda longa emergente de 09 a 13 de abril de 2004, entre as latitudes de 0° a 15°S e entre as longitudes de 90°W a 90°E em $W m^{-2}$. A linha em vermelho representa a propagação de uma anomalia entre as longitudes de 80°W e 40°W.

A Fig. 45 mostra a anomia de radiação de onda longa emergente entre os dias 9 e 13 de abril de 2004 mostram o avanço dos sistemas precipitantes da longitude de 80° W para a longitude 50° W.

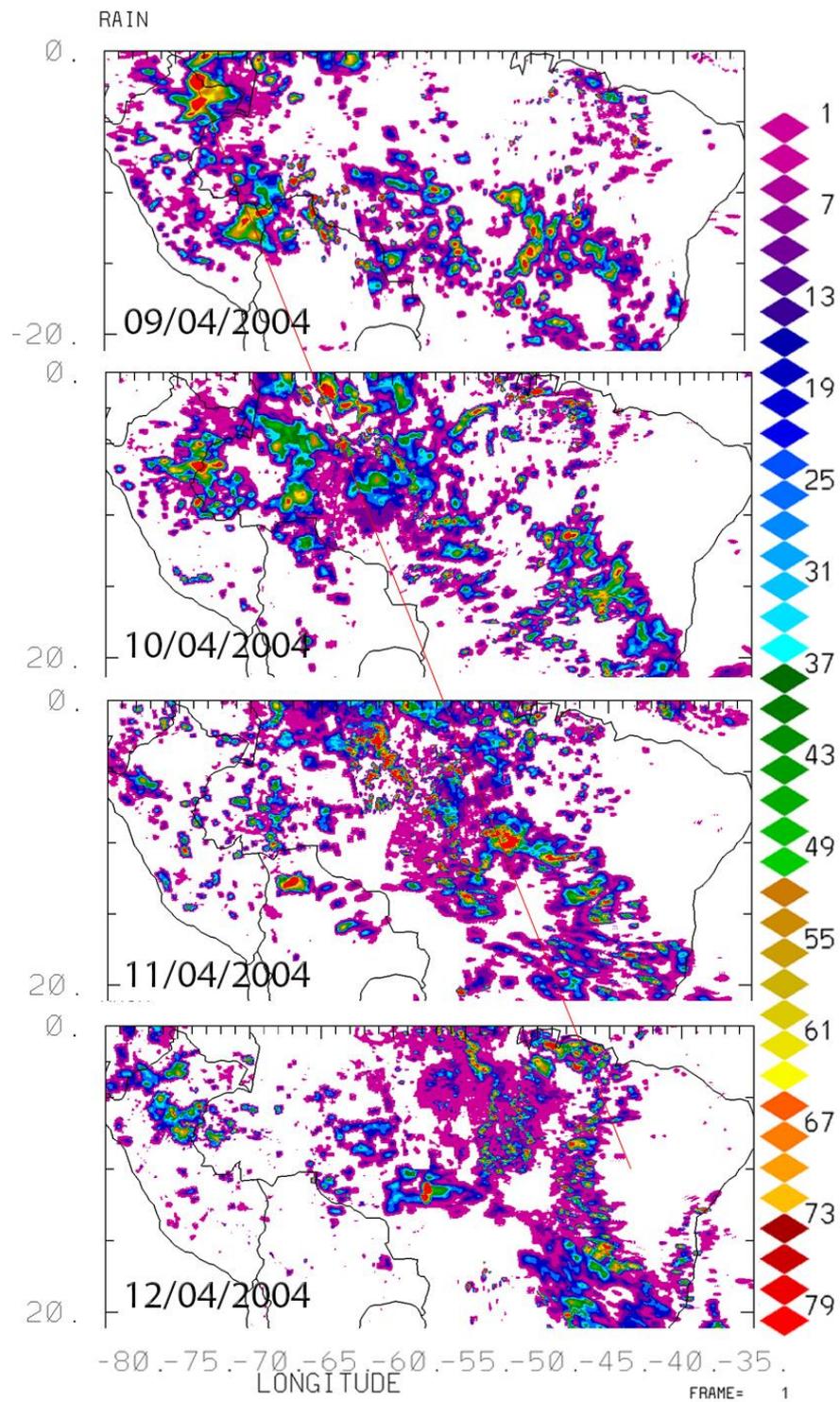


Figura 46: Mapa de estimativa de chuva pelo CMORPH entre os dias 09 e 12 de abril de 2004 para as latitudes de 0° a 20°S entre as longitudes de 80°W a 35°W. As cores representam o acumulado de chuva diário.

Os diagramas de propagação chuva estimada pelo CMORPH, Fig. 46, mostram o avanço do sistema precipitante. A resolução é maior do que a observada com os dados da reanálise, mas também possuem um início em 80° W e fim em 50° W. Entretanto, na imagem que representa a condição dos sistemas no dia 11 de abril de 2004 é possível perceber a maior organização de precipitação. O cálculo da velocidade de propagação de onda zonal indica valores de $9,6 \text{ m s}^{-1}$ que não está na faixa de velocidade proposta pelas ondas de Kelvin.

- 23 a 27 de outubro de 2004

Com o auxílio da Fig. 47 é possível identificar uma propagação de oeste entre os dias 23 e 27 de outubro de 2004. O deslocamento ocorre entre as longitudes de 80° W e 50° W. O diagrama mostra um sistema bem organizado com propagação de oeste, a intensidade estimada da precipitação possui valores da ordem dos 30 mm h^{-1} .

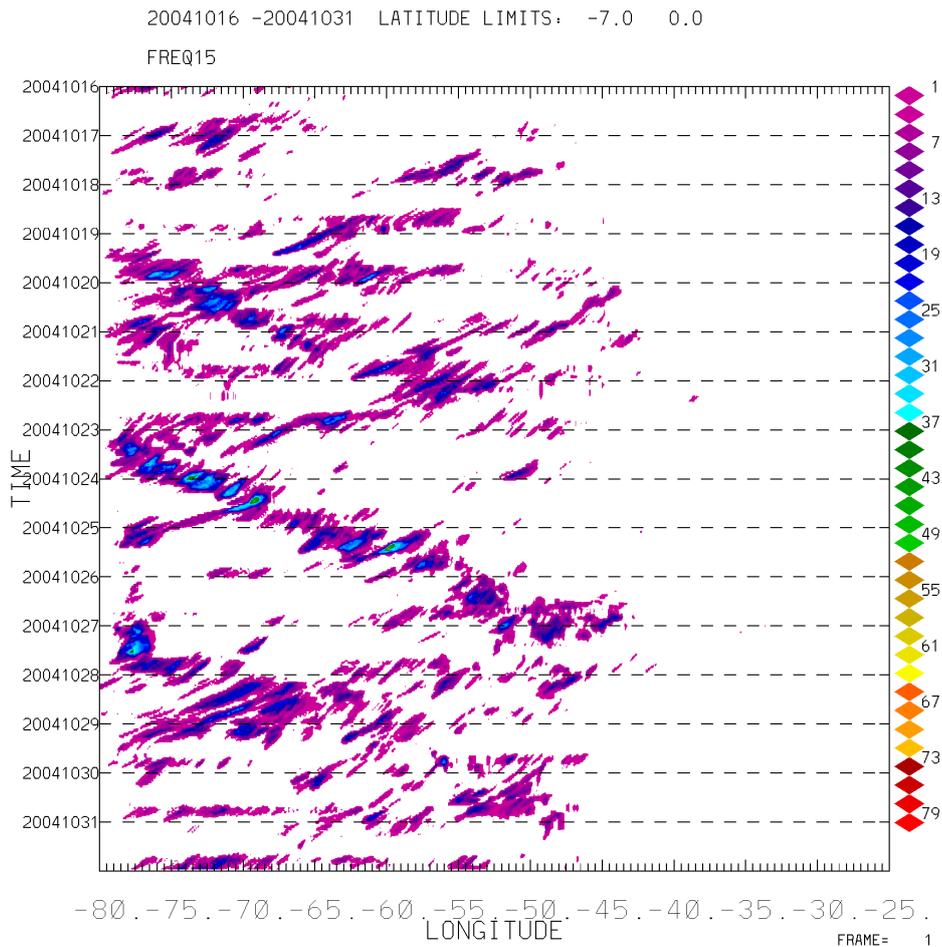


Figura 47: Diagrama de Hovmöller de precipitação estimada pelo CMORPH entre os dias 16 e 31 de outubro de 2004. As cores indicam a taxa de chuva em mm h^{-1} .

A Fig. 48 mostra a presença de um ciclone extratropical com centro de pressão de 978 hPa posicionado sobre o Oceano Atlântico Sul e posicionado na latitude de 55° S. As organizações observadas nos trópicos tanto na forçante zonal quanto na meridional devem estar relacionadas à presença de tal ciclone.

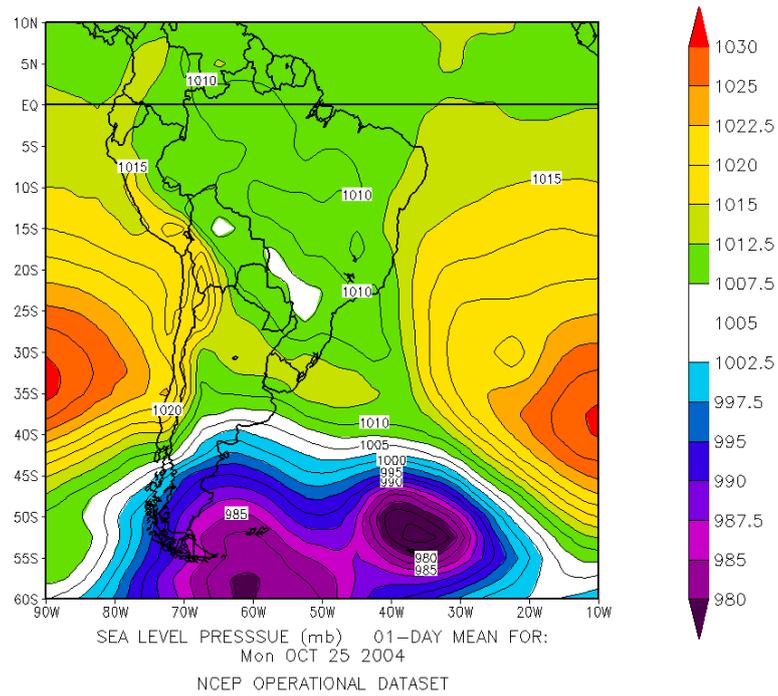


Figura 48: Pressão ao nível médio do mar em milibares no dia 25 de outubro de 2004.

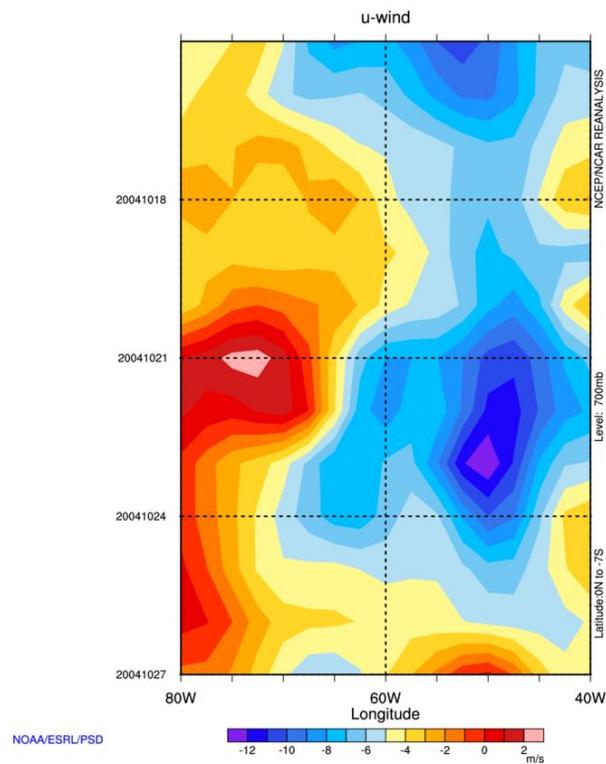


Figura 49: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento zonal $m s^{-1}$ entre os dias 17 e 27 de outubro de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de leste, os positivos de oeste.

No diagrama de Hovmöller para a média do vento zonal é possível verificar valores positivos, que indicam vento de oeste, a partir do dia 21 entre as longitudes de 80° W e 70° W. Na mesma imagem, Fig. 49, é possível ver entre as longitudes de 60° W e 40° W grandes valores negativos que indicam uma propagação de leste.

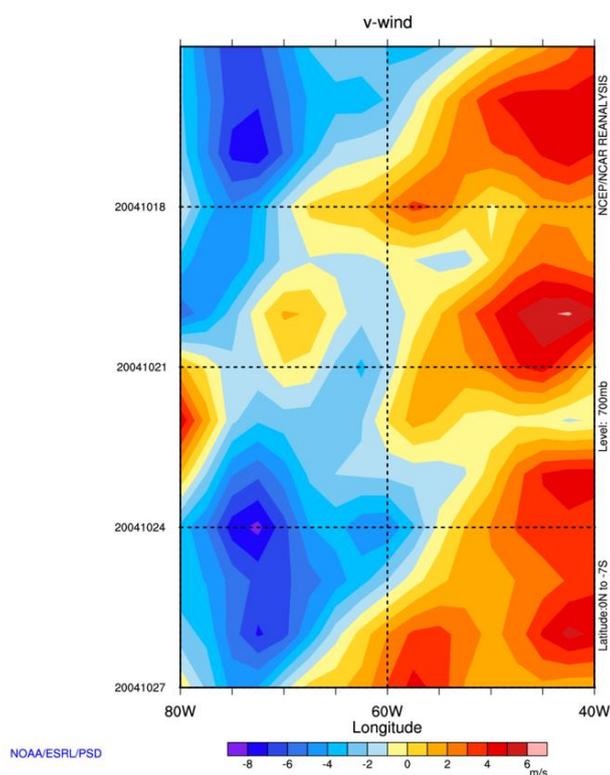


Figura 50: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento meridional $m s^{-1}$ entre os dias 17 e 27 de outubro de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de norte, os positivos de sul.

Já no diagrama de Hovmöller para o vento meridional não é observado uma forçante de sul persistente durante o período entre as longitudes de 60° W e 80° W. Bem diferente dos valores entre as longitudes de 40° W a 60° W onde as velocidades são positivas e indicam a presença de uma forçante de sul.

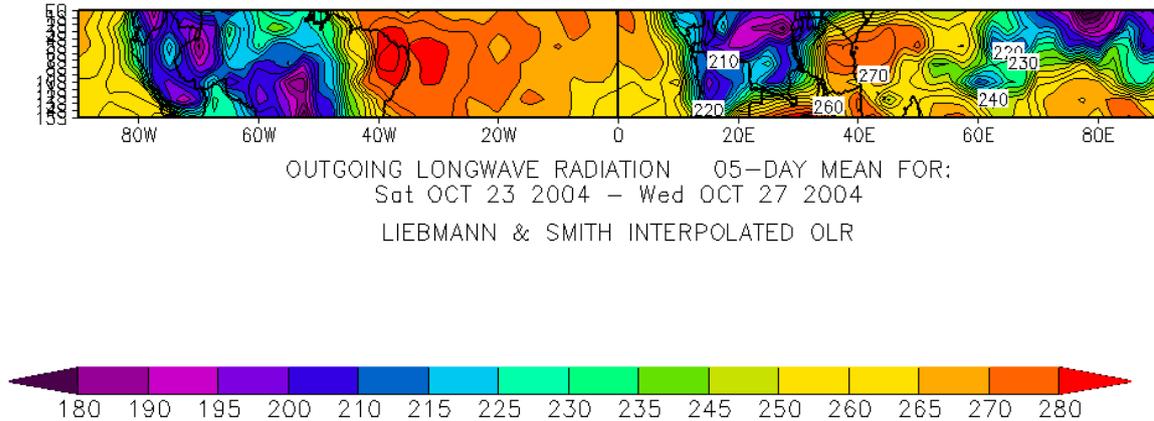


Figura 51: Mapa da distribuição da radiação de onda longa emergente entre os dias 23 e 27 de outubro de 2004 para as longitudes de 90°W a 90°E e entre as latitudes de 10°N a 14°S.

Na Fig. 51 é possível também perceber o mesmo padrão de valores mais baixos de radiação de onda longa emergente sobre a região que compreende a bacia amazônica e a África Central.

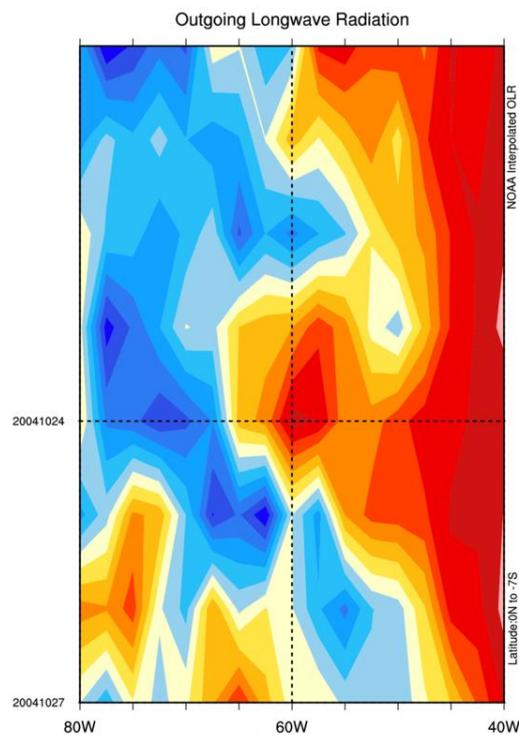


Figura 52: Diagrama de Hovmöller para a média diária entre as latitudes de 0 a 7°S da radiação de onda longa emergente entre os dias 23 e 27 de outubro de 2004, para as longitudes de 80° W a 40° W.

O diagrama de Hovmöller para a radiação de onda longa emergente, Fig. 52, mostra um padrão muito bem definido de propagação de oeste entre os dias 23 e 27 de outubro de 2004. O início da propagação se dá na longitude de 80°W e termina aproximadamente sobre a longitude de 50°W .

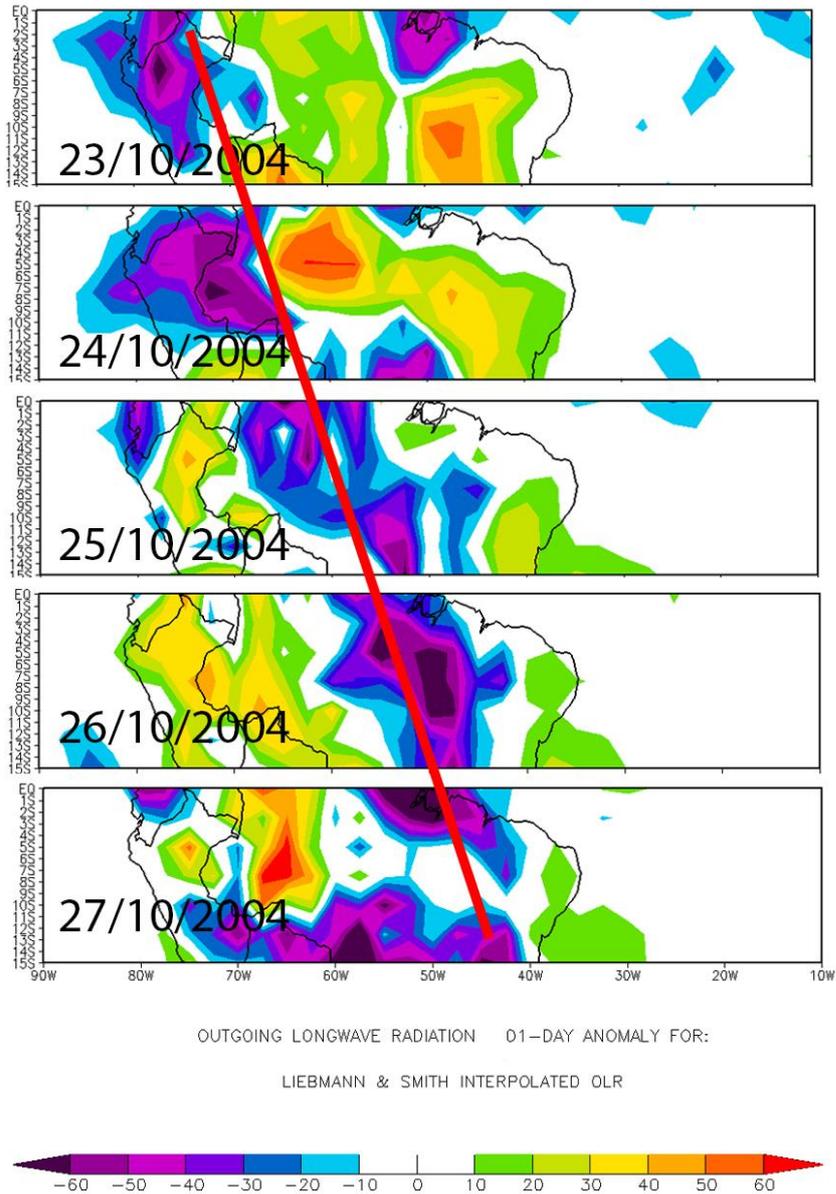


Figura 53: Mapa de anomalia de radiação de onda longa emergente de 23 a 27 de outubro de 2004, entre as latitudes de 0° a 15°S e entre as longitudes de 90°W a 90°E em W m^{-2} . A linha em vermelho representa a propagação de uma anomalia entre as longitudes de 80°W e 40°W .

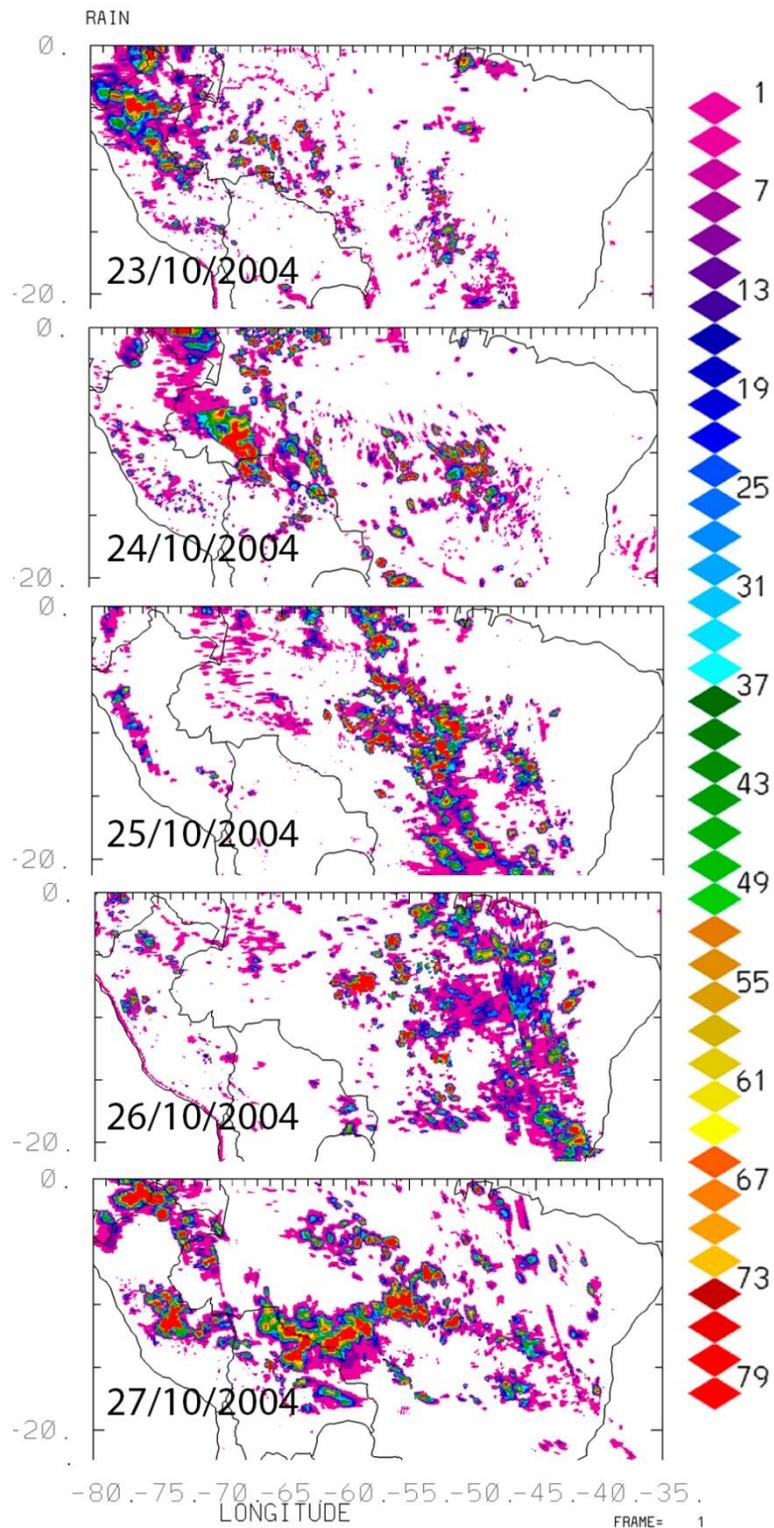


Figura 54: Mapa de estimativa de chuva pelo CMORPH entre os dias 23 e 27 de outubro de 2004 para as latitudes de 0° a 20°S entre as longitudes de 80 a 35°W. As cores representam o acumulado de chuva diário.

Na evolução temporal da anomalia de radiação de onda longa emergente, Fig. 53, é possível ver o deslocamento dos valores mais baixos de 80°W até aproximadamente 45°W. A Fig. 54 também mostra a evolução temporal mas da precipitação estimada pelo CMORPH. É possível notar diferenças entre a radiação de onda longa e precipitação estimada, apesar de ambas começaram a propagação do sistema precipitante de oeste em 80°W e finalizarem em 45°W, nota-se que nos dados do CMORPH o sistema chega em 45°W um dia antes do que nos dados de radiação de onda longa emergente. Calculando a velocidade de propagação zonal o valor de 8,9 m s⁻¹ é encontrado.

- segunda quinzena de dezembro de 2004

A segunda quinzena do mês de dezembro de 2004 mostra a presença de três sistemas com propagação de oeste. O primeiro entre os dias 17 e 19 de dezembro, o segundo entre os dias 21 e 25 e finalmente o terceiro entre os dias 25 e 28. Os sistemas com propagação de oeste possuem velocidades, períodos e comprimentos diferentes.

Na Fig. 55 é possível observar a propagação de tais sistemas bem organizados e também com valores de precipitação estimada que podem chegar aos 60 mm h⁻¹.

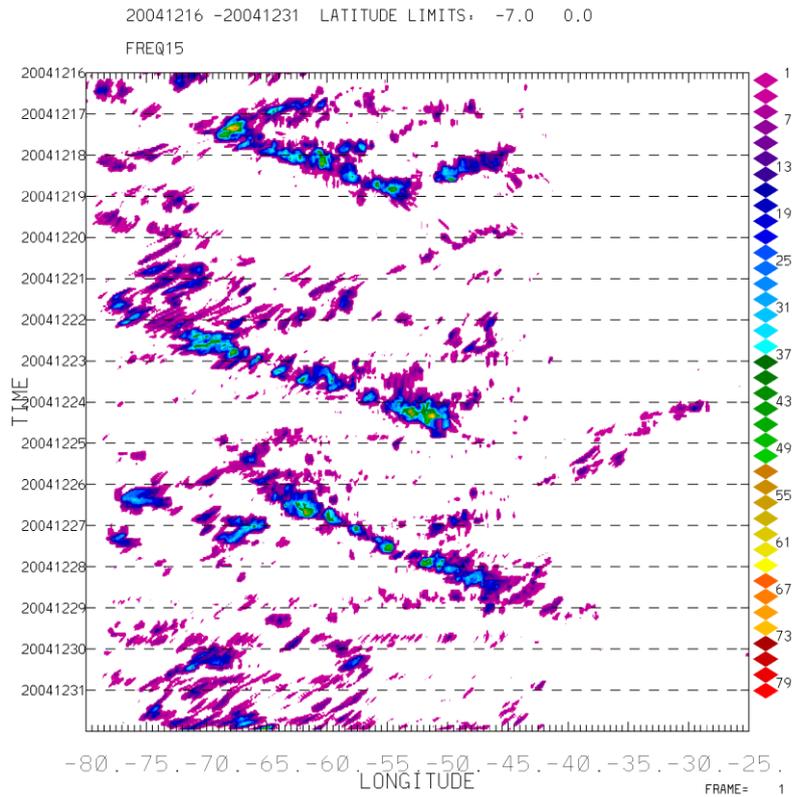


Figura 55: Diagrama de Hovmöller de precipitação estimada pelo CMORPH entre os dias 16 e 31 de dezembro de 2004. As cores indicam a taxa de chuva em mm h^{-1} .

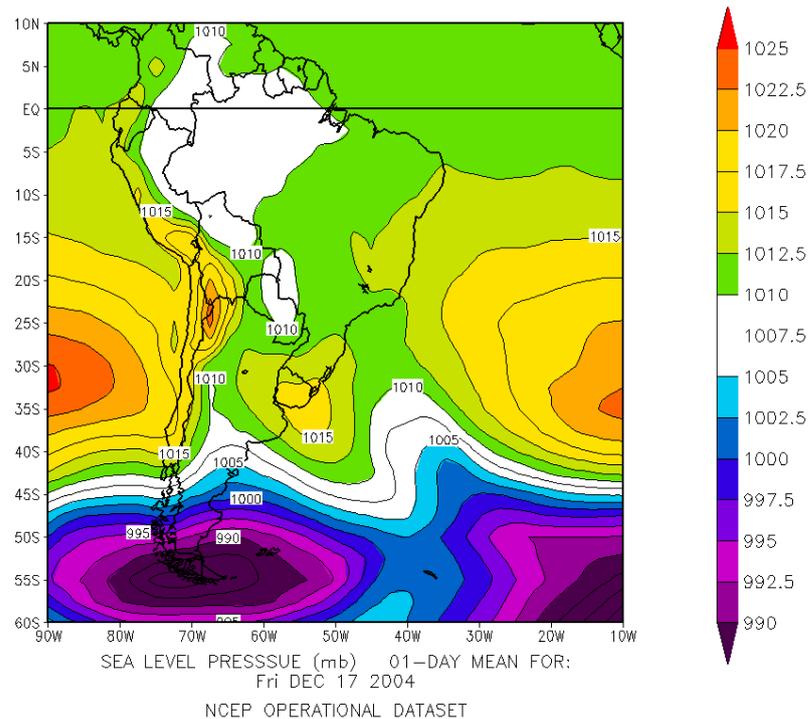


Figura 56: Pressão ao nível médio do mar em milibares no dia 17 de dezembro de 2004.

Na Fig. 56 é possível observar a presença de um sistema de baixa pressão atmosférica entre o Paraguai e oeste de Mato Grosso do Sul, no Oceano Atlântico Sul na latitude de 35°S é possível ver a presença de um cavado.

O mapa de pressão no dia 22 de dezembro, Fig. 57, mostra a presença de uma baixa pressão atmosférica com centro em 20°W e 45°S. O sistema está em alto mar. Já o mapa do dia 27 de dezembro mostra a presença de um sistema de baixa pressão intensificado em alto mar e outro na costa da Região Sul.

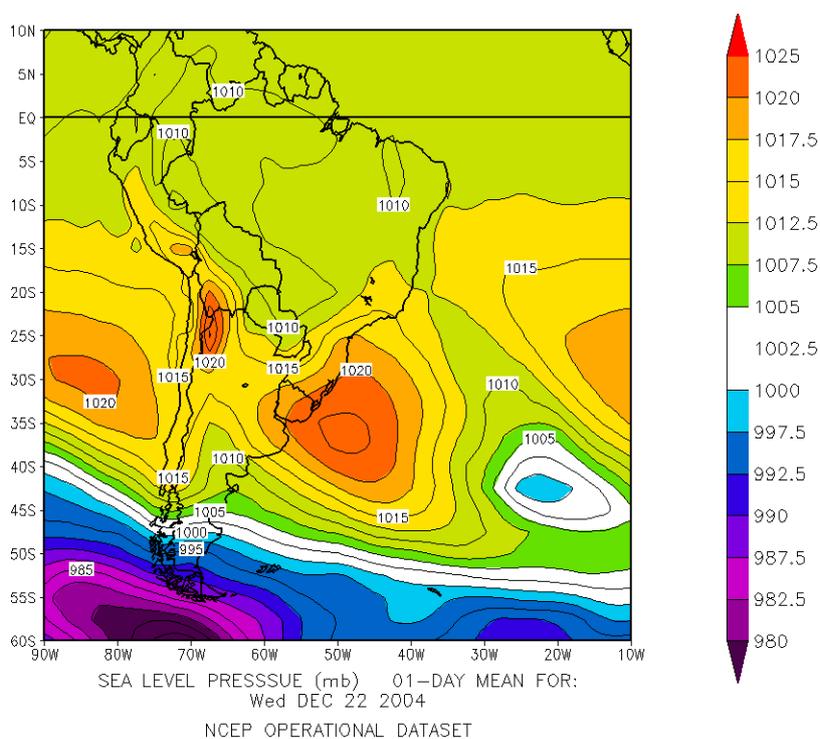


Figura 57: Pressão ao nível médio do mar em milibares no dia 22 de dezembro de 2004.

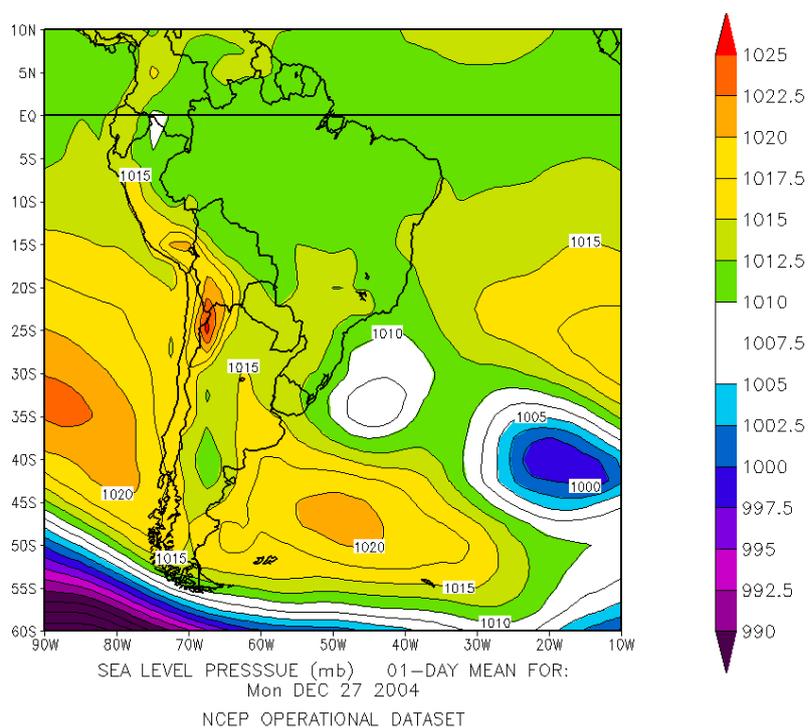


Figura 58: Pressão ao nível médio do mar em milibares no dia 27 de dezembro de 2004.

O diagrama de Hovmöller para o vento zonal mostra a presença de valores positivos nos três casos, indicando uma propagação de oeste. As maiores velocidades são observadas entre os dias 25 e 28 próximos às longitudes de 70°W e 60°W.

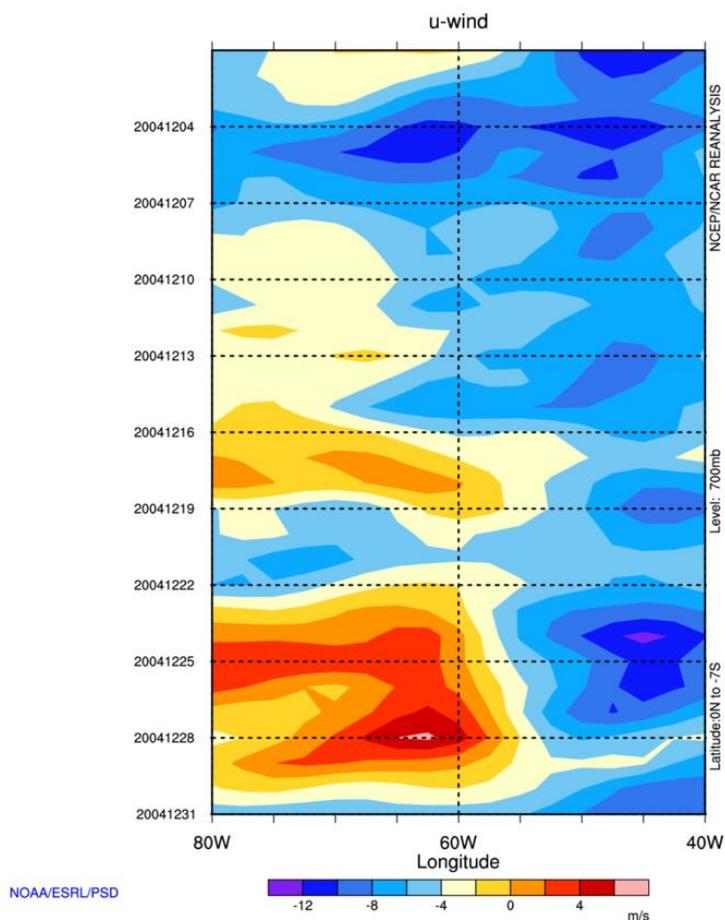


Figura 59: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento zonal ms^{-1} entre os dias 01 e 31 de dezembro de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de leste, os positivos de oeste.

No diagrama para o vento meridional, Fig. 60, é possível verificar que apenas entre as longitudes 40°W e 60°W há valores positivos indicando uma força de sul.

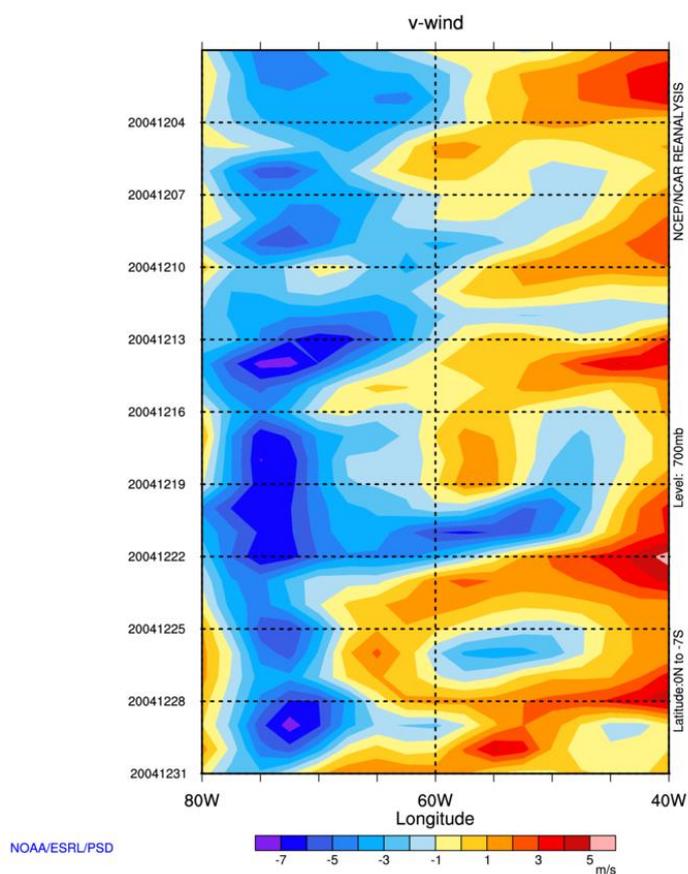


Figura 60: Diagrama de Hovmöller para a média diária do vento meridional $m s^{-1}$ entre os dias 01 e 31 de dezembro de 2004. As cores representam a intensidade do vento, os valores negativos representam o vento de norte, os positivos de sul.

A média da radiação de onda longa emergente, Fig. 61, mostra também os padrões de valores menores sobre as áreas continentais e valores maiores sobre as áreas oceânicas. Há também a presença de uma faixa convectiva sobre a região tropical e equatorial do Atlântico que confirma a presença da Zona de Convergência Intertropical.

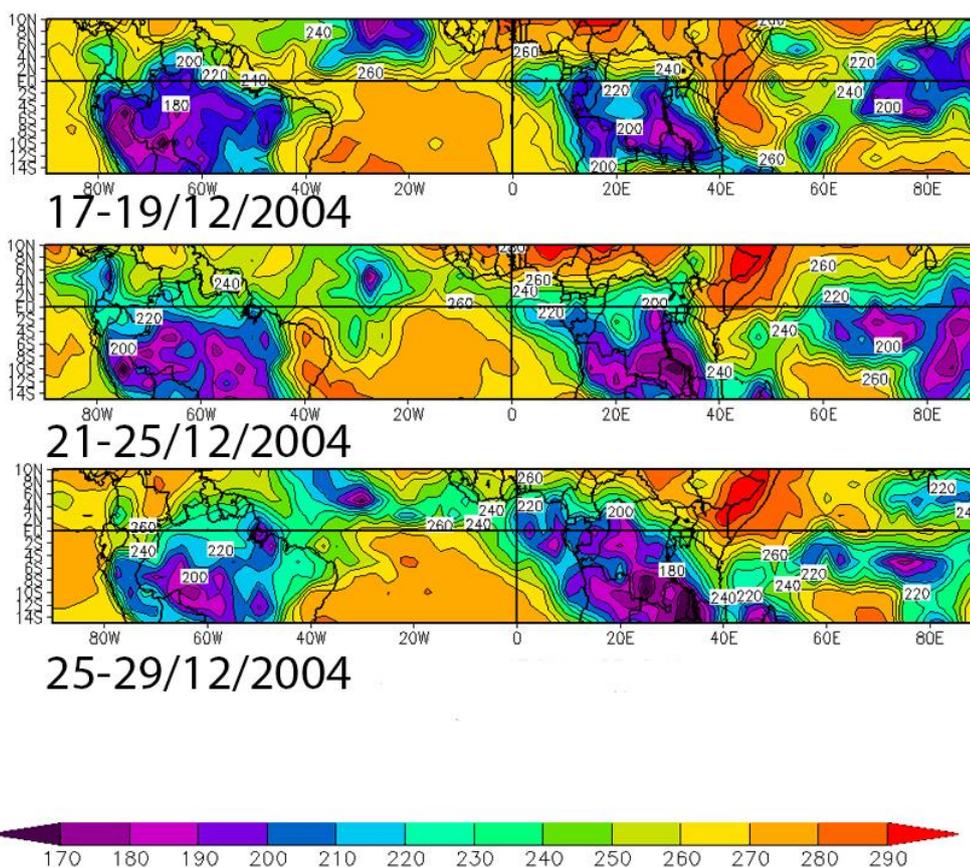


Figura 61: Mapa da distribuição da radiação de onda longa emergente entre os dias 17 e 19, 21 e 25, 25 e 29 de dezembro de 2004 para as longitudes de 90°W a 90°E e entre as latitudes de 10°N a 14°S.

A Fig. 62 também mostra o padrão de propagação dos três sistemas precipitantes. O padrão mais organizado ocorre entre os dias 22 e 25 de dezembro. O que aparenta ter a menor organização ocorre entre os dias 25 e 28 de dezembro. Ao longo dos três períodos é possível verificar a presença da Zona de Convergência Intertropical entre o equador e a latitude de 10°N.

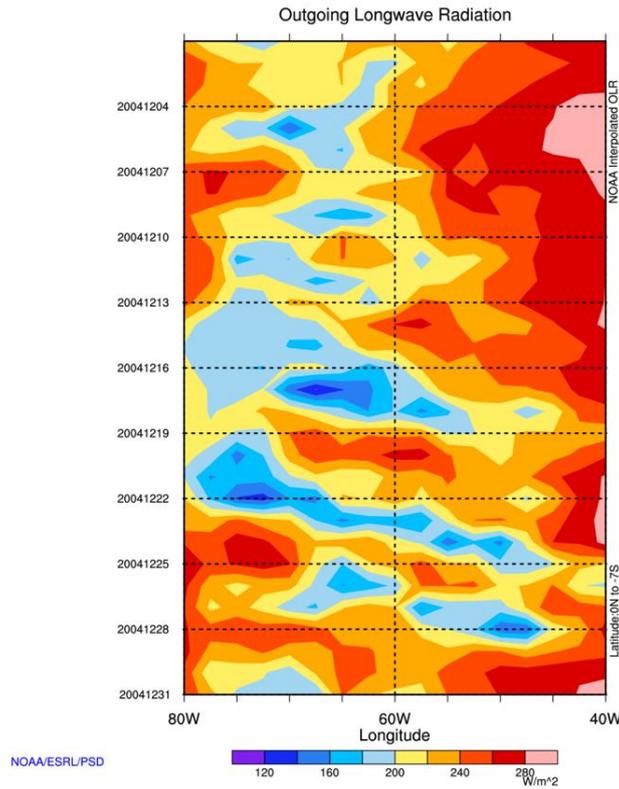


Figura 62: Diagrama de Hovmöller para a média diária entre as latitudes de 0 a 7°S da radiação de onda longa emergente entre os dias 01 e 31 de dezembro de 2004, para as longitudes de 80°W a 40°W.

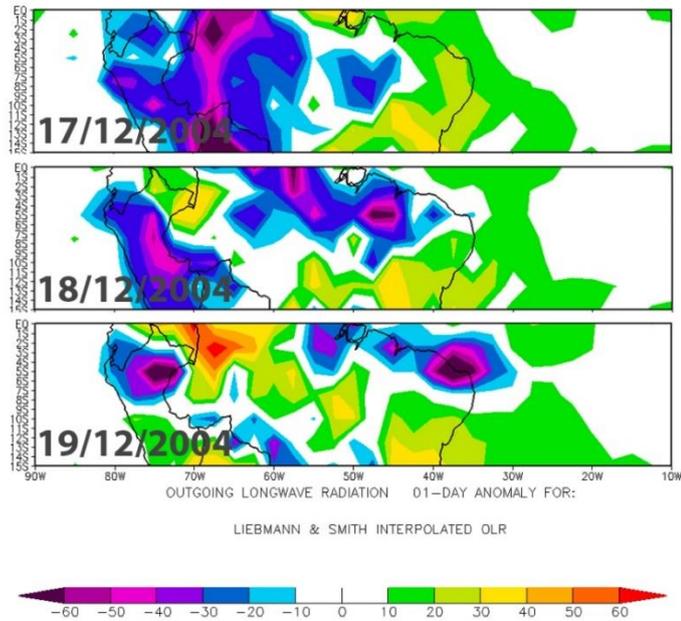


Figura 63: Mapa de anomalia de radiação de onda longa emergente de 17 a 19 de dezembro de 2004, entre as latitudes de 0° a 15°S e entre as longitudes de 90°W a 90°E em $W m^{-2}$. A linha em vermelho representa a propagação de uma anomalia entre as longitudes de 80°W e 40°W.

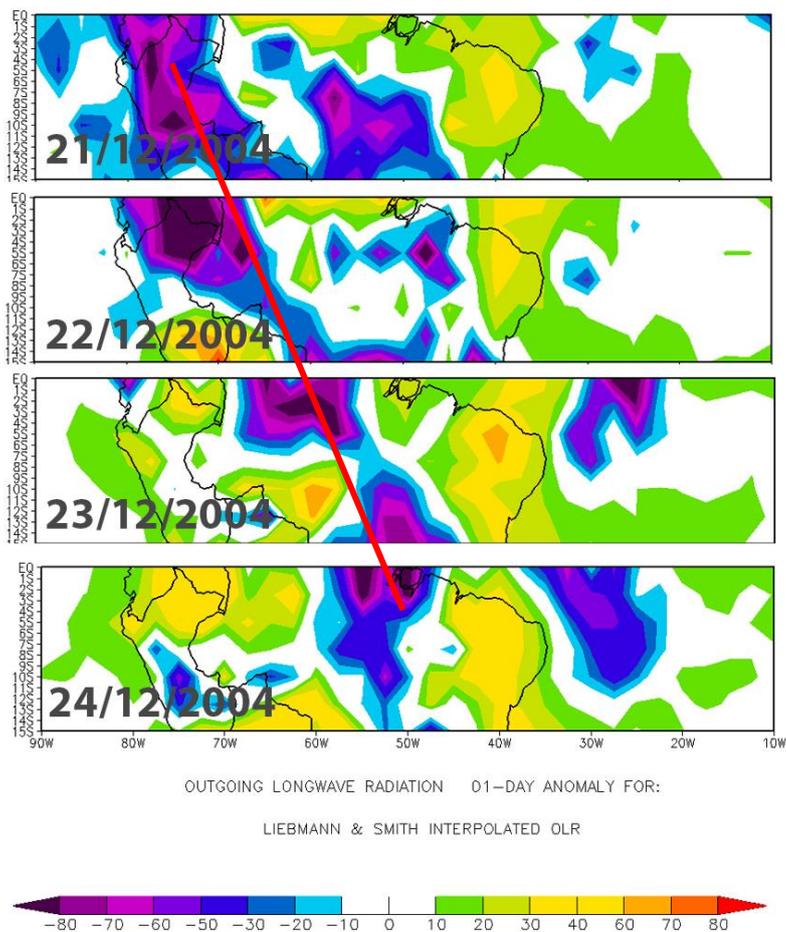


Figura 64: Mapa de anomalia de radiação de onda longa emergente de 21 a 24 de dezembro de 2004, entre as latitudes de 0 a 15°S e entre as longitudes de 90°W a 90°E em $W m^{-2}$. A linha em vermelho representa a propagação de uma anomalia entre as longitudes de 80°W e 50°W.

A Fig. 63 mostra a anomalia da radiação de onda longa entre os dias 17 e 19 de dezembro de 2004. A propagação não ocorre de uma forma tão organizada quanto outros sistemas estudados ao longo da pesquisa.

A Fig. 64 mostra a propagação de um sistema convectivo entre os dias 22 e 24 de dezembro. O início se dá em longitudes próximas aos 70°W e termina em 50°W, e já mostra uma melhor organização da propagação entre as longitudes citadas.

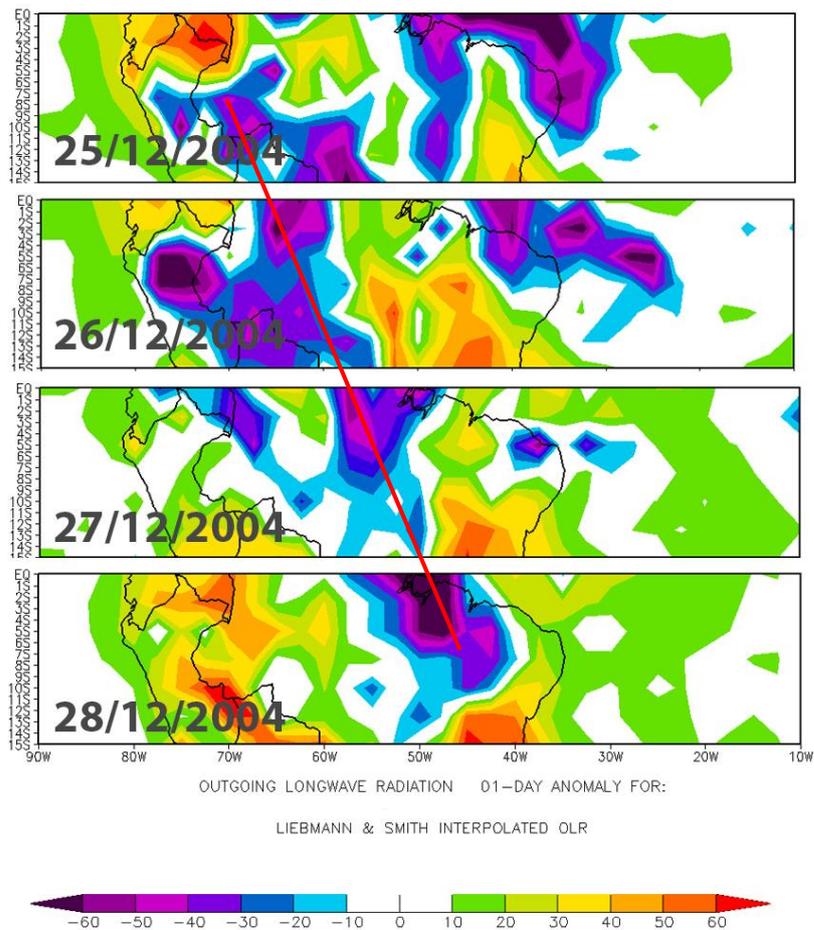


Figura 65: Mapa de anomalia de radiação de onda longa emergente de 25 a 28 de dezembro de 2004, entre as latitudes de 0 a 15°S e entre as longitudes de 90°W a 90°E em $W m^{-2}$. A linha em vermelho representa a propagação de uma anomalia entre as longitudes de 80°W e 40°W.

O sistema mais organizado do mês de dezembro de 2004 também é o que possui a propagação mais clara de oeste no diagrama de anomalia de onda longa emergente, Fig. 65.

No diagrama de estimativa de acumulado de precipitação diária pelo CMORPH, a organização do sistema entre os dias 17 e 19 é mais clara. Com uma maior resolução e intensificação no processo de propagação é possível verificar o transporte que ocorre entre as longitudes de 75°W até 50°W.

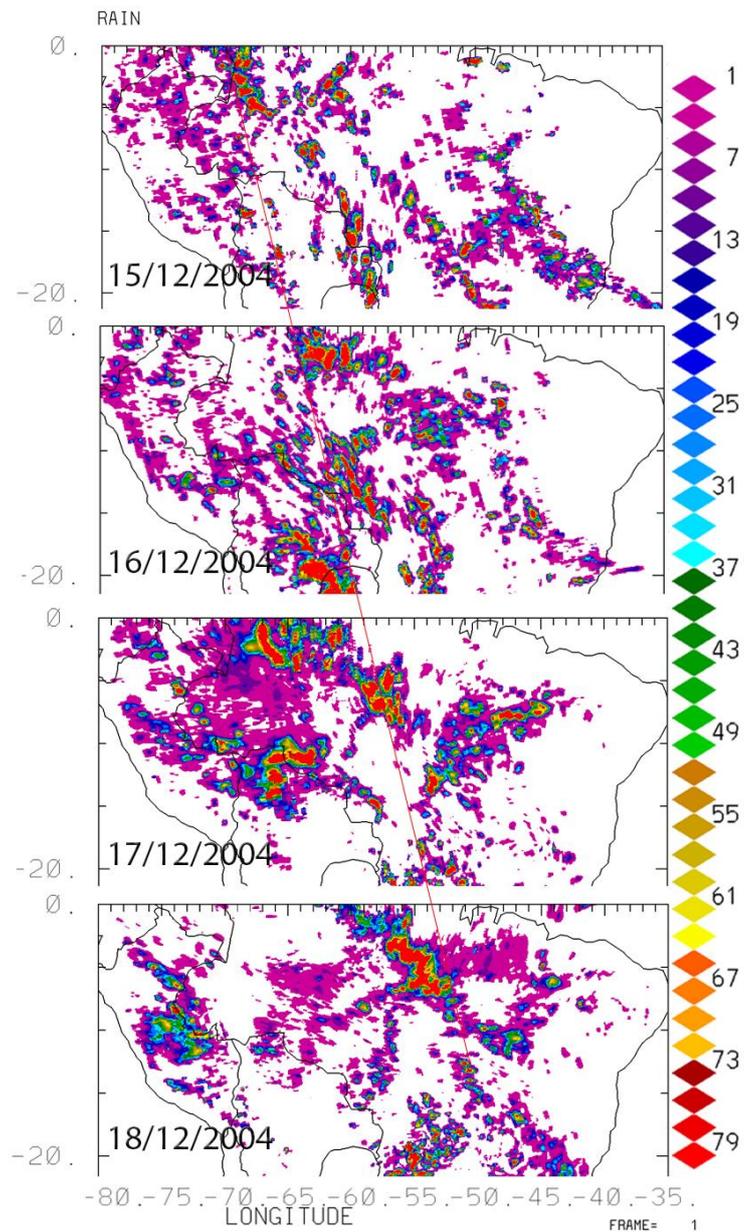


Figura 66: Mapa de estimativa de chuva pelo CMORPH entre os dias 15 e 18 de dezembro de 2004 para as latitudes de 0° a 20°S entre as longitudes de 80°W a 35°W. As cores representam o acumulado de chuva diário. A linha em vermelho representa a propagação do sistema entre as longitudes de 75°W e 50°W.

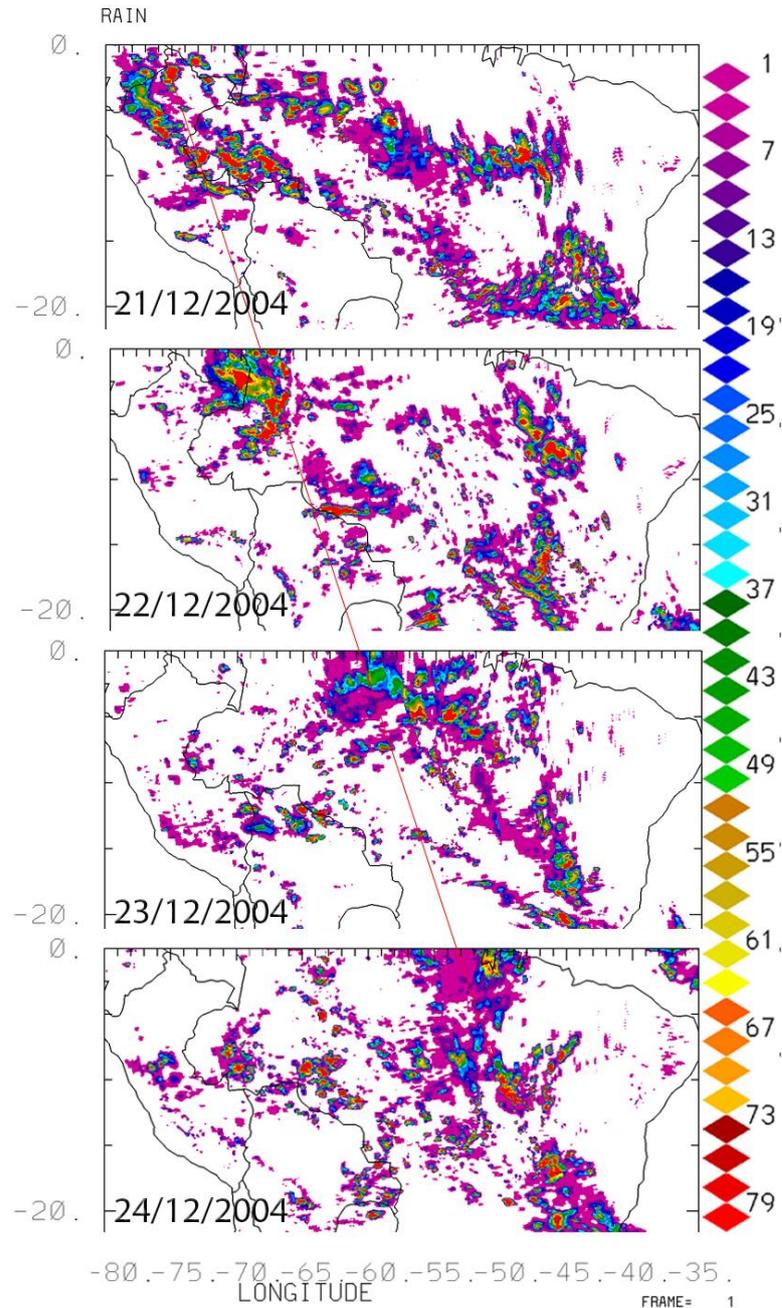


Figura 67: Mapa de estimativa de chuva pelo CMORPH entre os dias 21 e 24 de dezembro de 2004 para as latitudes de 0° a 20°S entre as longitudes de 80°W a 35°W. As cores representam o acumulado de chuva diário. A linha em vermelho representa a propagação do sistema entre as longitudes de 80°W a 45°W.

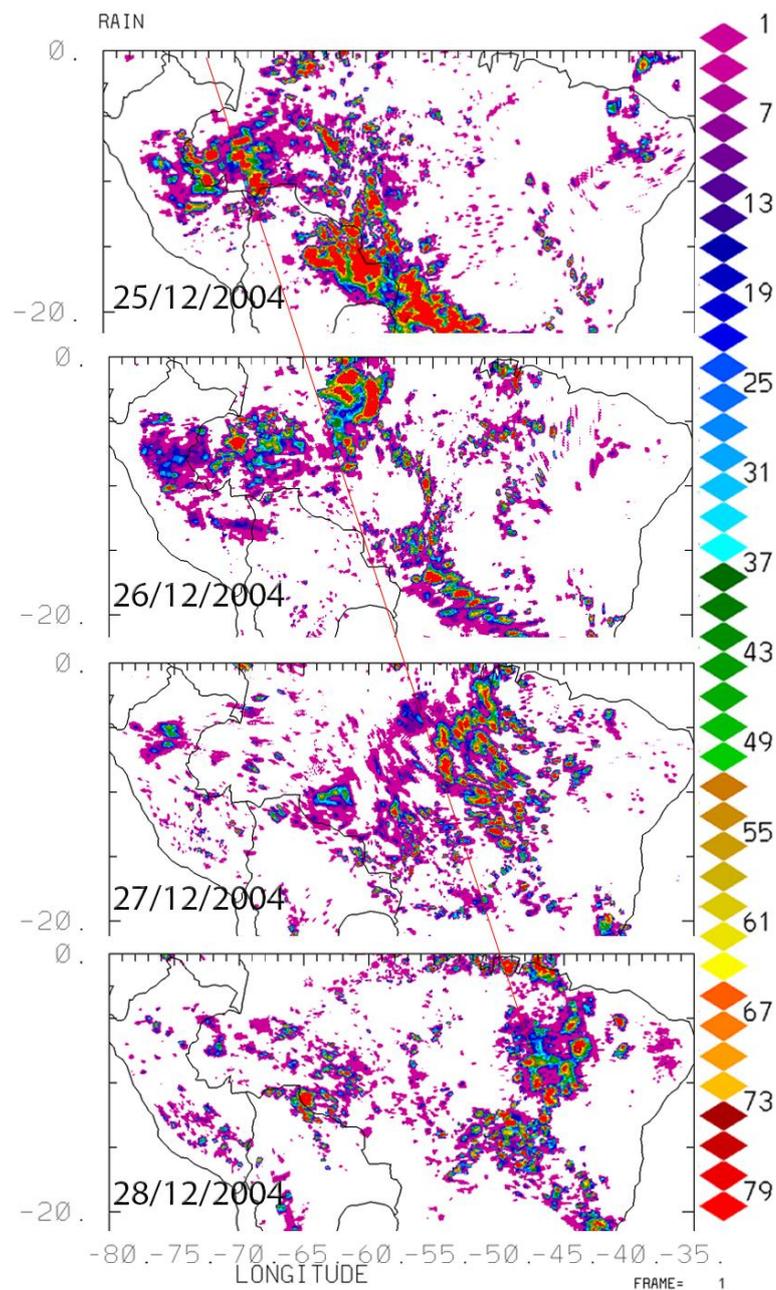


Figura 68: Mapa de estimativa de chuva pelo CMORPH entre os dias 25 e 28 de dezembro de 2004 para as latitudes de 0° a 20°S entre as longitudes de 80°W a 35°W. As cores representam o acumulado de chuva diário. A linha em vermelho representa a propagação do sistema entre as longitudes de 75°W e 45°W.

Os dois sistemas seguintes são observados com uma organização que vai até 45°W, ambos saem da longitude de 80°W. As velocidades de fase calculadas são respectivamente de 6,4 m s⁻¹, 9,7 m s⁻¹ e finalmente 7,2 m s⁻¹. Nos três casos não temos valores compatíveis com as ondas de Kelvin em situação de atmosfera seca ou úmida.

4. CONCLUSÕES

No período compreendido entre os anos de 2003 e 2005 foram encontrados um total de 11 casos com propagação de oeste que podem sofrer as influências de uma onda de Kelvin. Para uma melhor compreensão das situações meteorológicas presentes, foram analisados os campos de pressão, vento meridional, vento zonal e radiação de onda longa emergente. As propagações de ondas de Kelvin podem acontecer com velocidades diferentes no caso seco e no caso úmido segundo Kiladis et al, 2009.

Considerando o caso seco, apenas uma situação tem velocidade de fase com valor compatível. É o caso de 16 a 18 de janeiro de 2004, com velocidade de fase calculada em $22,5 \text{ m s}^{-1}$. O valor extrapola o limite máximo da faixa de $15,0 \text{ m s}^{-1}$ a $20,0 \text{ m s}^{-1}$ em $2,5 \text{ m s}^{-1}$. No entanto, contaminações por Cirrus e a provável incerteza no sistema de medição pode fazer com que o sistema em questão seja compatível com a faixa de onda de Kelvin no caso da atmosfera seca dentro de uma curva gaussiana. O campo de pressão em superfície mostra a presença de um ciclone extratropical distante da costa do Brasil, há a presença de um sistema de baixa pressão atmosférica entre as latitudes de 15° S a 25° S , mas o sistema se encontra bastante enfraquecido. As altas velocidades também podem ter relação com a configuração enfraquecida de uma Zona de Convergência Intertropical (ZCIT).

No caso para o regime de ondas de Kelvin em situações de ar úmido, similar aos estudos para o Oceano Índico, em três casos foram encontrados valores compatíveis. Primeiramente, o caso de 19 a 24 de março de 2003 no qual a velocidade de fase chega aos $11,4 \text{ m s}^{-1}$. Neste caso há a presença de uma forçante de sul no diagrama de Hovmöller para o vento meridional, o mapa de pressão em superfície indica a presença de um ciclone extratropical como agente que organiza esta força. O diagrama de onda longa emergente mostra a presença de uma forte ZCIT o que favorece a condição úmida e pode atrasar um pouco a propagação da onda de Kelvin,

uma vez que o vento associado à este sistema sopra de leste. O segundo caso é observado entre 12 e 15 de janeiro de 2004 uma velocidade de propagação de $11,0 \text{ m s}^{-1}$. Não há a presença de um ciclone extratropical, entretanto um sistema de baixa pressão atmosférica na costa do Brasil entre latitudes de 15° S a 25° S pode influenciar na forçante de sul, mas o diagrama de Hovmöller do vento meridional não mostra uma forçante bem definida sobre as longitudes de interesse. E o caso de 24 a 27 de fevereiro tem velocidade de fase de $12,1 \text{ m s}^{-1}$. Há a presença de um ciclone extratropical como agente da força de sul, a ZCIT tem seu máximo entre o equador e 10° N . Dentre todos os casos, este é o mais favorável a presença de uma onda de Kelvin no caso úmido.

Outros dois casos obtiveram resultados não compatíveis tanto com o caso seco quanto o úmido, são eles 9 a 13 de abril de 2004 e 21 a 25 de dezembro de 2004. Em ambos a velocidade de fase calculada foi de $9,6 \text{ m s}^{-1}$. Há a presença de um ciclone extratropical que traz ventos de sul para a área de interesse. Os diagramas de Hovmöller para a radiação de onda longa emergente mostram a presença de sistemas muito bem organizados. E a ZCIT se encontra entre o equador e 10° N de latitude.

Sendo assim, há condições para a formação de ondas de Kelvin tanto na condição seca quanto úmida, entretanto não ocorrem com tanta frequência na situação seca. As condições para a presença da situação úmida dependem diretamente do posicionamento e da intensidade da Zona de Convergência Intertropical. A situação de padrões nos quais a presença dos fatores que organizam as ondas de Kelvin na situação úmida e velocidades incompatíveis também foram observadas.

Sabe-se também que há uma forte relação entre a presença das ondas de Kelvin e das oscilações de Madden-Julian, Kiladis et. al, 2009. Para propostas futuras e uma melhor compreensão dos sistemas precipitantes sobre a bacia amazônica, propõe-se então um estudo mais aprofundado em tais relações.

5. BIBLIOGRAFIA

ASNANI, G.C. Tropical Meteorology, 2005. Indian Institute of Tropical Meteorology.
BOTT & ZDUNKOWSKI, Andreas and Wilford. Dynamics of the Atmosphere A Course in Theoretical Meteorology 1st edition, 2003. Cambridge University Press.

CARBONE, R. E., J. D. TUTTLE, 2008: Rainfall Occurrence in the U.S. Warm Season: The Diurnal Cycle. *J. of Climate*, 21, 4132-4146.

COTTON & ANTHES, William R. and Richard A. Storm and Cloud Dynamics, 1989. Academic Press Inc.

GRUBER, A AND V. LEVIZZANI, 2008: Assessment of Global Precipitation Products. WCRP Series Report No. 128 and WMO TD-No. 1430, 55 pp.

HOLTON, James. An Introduction to Dynamic Meteorology 4 th edition, 2004. Elsevier Academic Press.

HUFFMAN, G.J., R.F. ADLER, D.T. BOLVIN, G. GU, E.J. NELKIN, K.P. BOWMAN, Y. HONG, E.F. STOCKER, D.B. WOLFF, 2007: The TRMM Multi-satellite Precipitation Analysis: Quasi-Global, Multi-Year, Combined-Sensor Precipitation Estimates at Fine Scale. *J. Hydrometeor.*, 8(1), 38-55.

JANOWIAK, J.E., V. E. KOUSKY, and R. J. Joyce, 2005: Diurnal cycle of precipitation determined from the CMORPH high spatial and temporal resolution global precipitation analyses. *J. of Geophys Res.*, VOL. 110, D23105, Doi:10.1029/2005JD006156.

JOYCE, R. J., J. E. JANOWIAK, P. A. ARKIN, and P. XIE, 2004: CMORPH: A method that produces global precipitation estimates from passive microwave and infrared data at high spatial and temporal resolution. *J. Hydromet.*, 5, 487-503.

KANAMITSU, et. al., 2002: NCEP-DOE AMIP-II Reanalysis (R-2). *Bulletin of the American Meteorological Society*.

KEENAN, T.D., R. E. Carbone, 2008: Propagation and diurnal evolution of warm season cloudiness in the Australian and Maritime Continent Region. *Mon. Wea. Rev.*,

136, 973-994.

KILADIS, et. al., 2008: Convectively Coupled Equatorial Waves. American Geophysical Union.

KOUSKY, V. E., JANOWIAK, J. E., and Robert J. JOYCE, R. J., 2006: The diurnal cycle of precipitation over South America based on CMORPH. Proceedings of 8 ICSHMO, Foz do Iguaçu, Brazil, INPE, 1113-1116.

KUBOTA, T., S. SHIGE, H. HASHIZUME, K. AONASHI, N. TAKAHASHI, S. SETO, M. HIROSE, Y. N. TAKAYABU, K. NAKAGAWA, K. IWANAMI, T. USHIO, M. KACHI, AND K. OKAMOTO, 2007: Global Precipitation Map using Satellite borne Microwave Radiometers by the GSMaP Project: Production and Validation. IEEE Trans. Geosci. Remote Sens. 45, 2259-2275.

LAING, A G. AND J. M. FRITSCH, 1997: The global population of mesoscale convective complexes. Q. J. R. Meteorol. Soc., 123, 389-405.

LAING, A.G., R. E. CARBONE, V. LEVIZZANI, J. D. TUTTLE, 2008: The propagation and Diurnal Cycles of Deep Convection in northern tropical Africa. Quart. J. Roy. Meteor. Soc., Online 5 March, 134, 93-109.

LEVIZZANI, V., BAUER, P., TURK, F. JOSEPH 2007: Measuring Precipitation from Space. EURAINSAT and the Future. Series: Advances in Global Change Research , Vol. 28, XXVI, 722 p. ISBN: 978-1-4020-5834-9

LIU, C. AND E. J. ZIPSER, 2008: Diurnal cycles of precipitation, clouds, and lightning in the tropics from 9 years of TRMM observations. Geophys. Res. Letters, 35, L04819, doi:10.1029/2007GL032437.

MACHADO, L.A. T., H. LAURENT, N. DESSAY, and I. MIRANDA, 2004: Seasonal and diurnal variability of convection over the Amazonia: A comparison of diferente vegetation types and large scale forcing. Theor. Appl. Climatol., 78, 61-77.

MATSUNO, T (1966), Quasi-geostrophic motions in the equatorial area. J. Meterol. Soc. Jpn 44, 25-43

MEDVIGY, D., R. L. WALKO, AND R. AVISSAR (2008), Modeling interannual variability of the Amazon hydroclimate, *Geophys. Res. Lett.*, 35, L15817, doi:10.1029/2008GL034941.

NEGRI, A. J., E. N. AGNOSTOU and R. F. ADLER, 2000: A 10-yr climatology of Amazonian rainfall derived from passive microwave satellite observations. *J. Appl. Meteorol.*, 39, 42-56.

NICOLINI, M, SALIO, P, ULKE, G, MARENGO J. A., DOUGLAS, M, PAEGLE, J ; ZIPSER, E, 2004: South American Low Level Jet diurnal cycle and three dimensional structure. *Clivar Exchanges*, v. 9, n. 1, p. 20-21.

PEREIRA FILHO, A.J., M. A. F. SILVA DIAS, R. I. ALBRECHT, L. G. P. PEREIRA, A. TOKAY, and S. RUTLEDGE, 2002: Multisensor analysis of a squall line in the Amazon Region. *J. of Geophys. Res.*, 107, NO. D20, 8084, 21-1,12, Doi: 10.1029/2002J000305, LBA Special Issue.

RIEHL, Herbert, 1979: *Climate and Weather in the Tropics*. Academic Press Inc., London.

WANG, C-C, G. T-J CHEN, R. E. CARBONE, 2004: A Climatology of Warm Season Cloud Patterns over East Asia Based on GMS Infrared Brightness Temperature Observations, *Mon. Wea. Rev.*, 132 (7) 1606-1629.

APÊNDICE A: Diagramas de Hovmoller gerados para análise ao longo de todo o período

MARÇO 2003

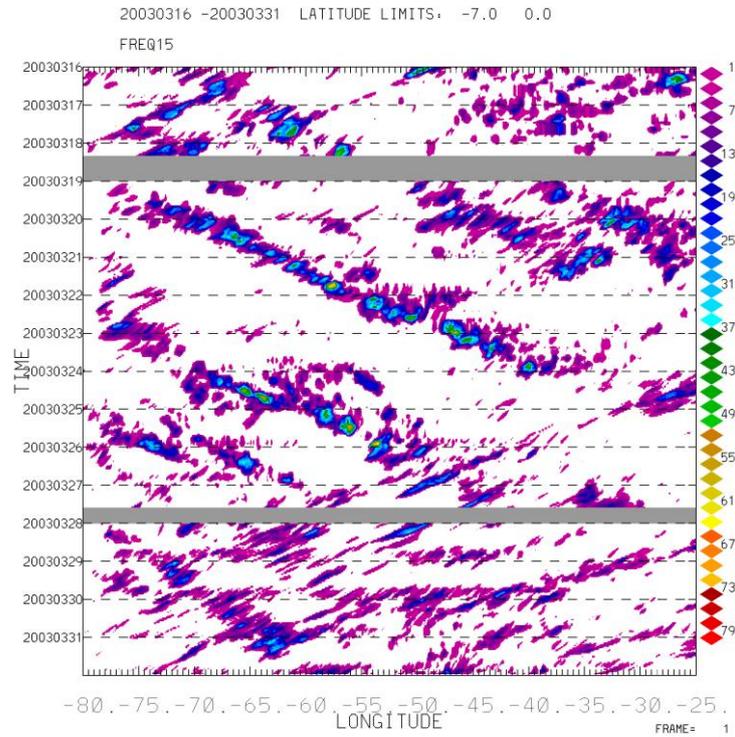


Figura 69: Diagrama de Hovmöller para precipitação estimada pelo CMORPH

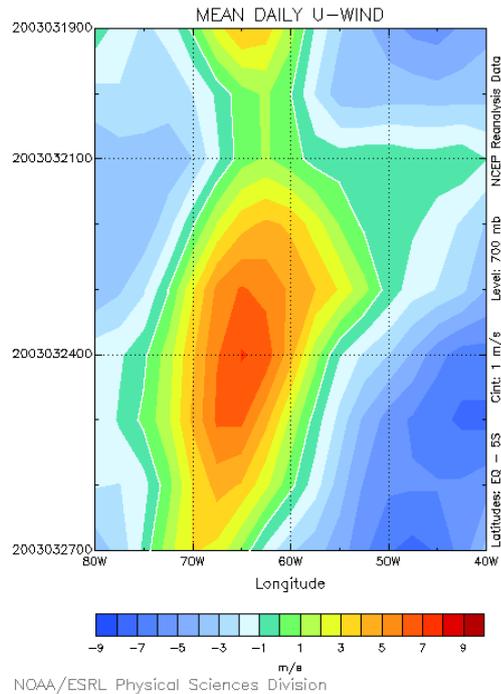


Figura 70: Diagrama de Hovmöller para o vento médio zonal da Reanálise II

NOVEMBRO 2003

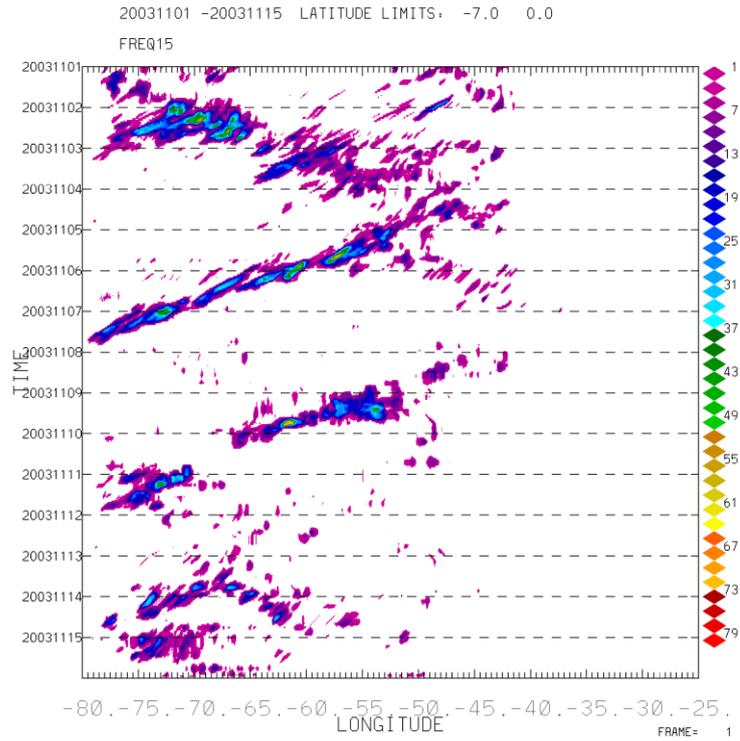


Figura 71: Diagrama de Hovmöller para precipitação estimada pelo CMORPH

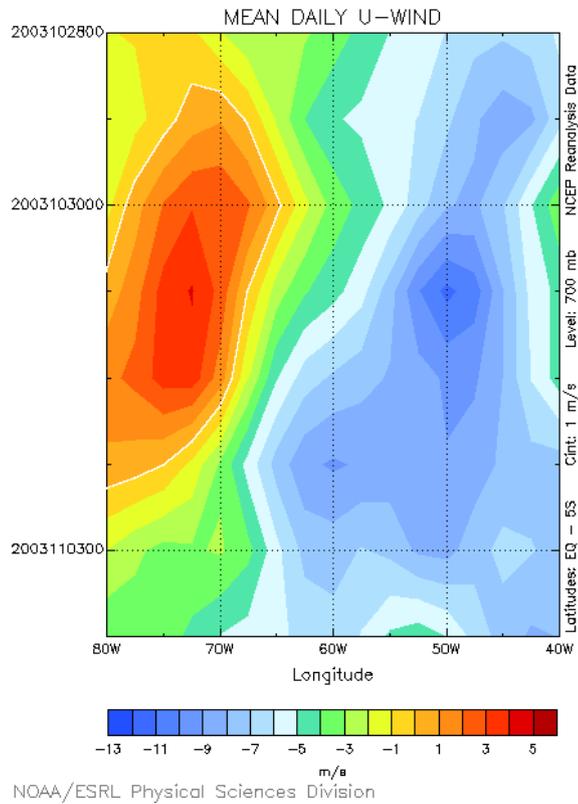


Figura 72: Diagrama de Hovmöller para o vento médio zonal da Reanálise II

JANEIRO 2004

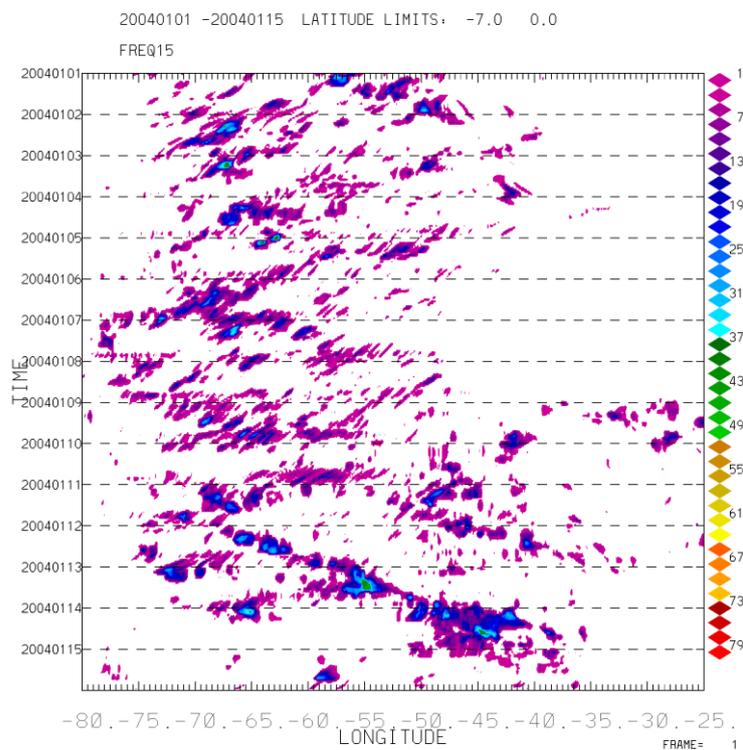


Figura 73: Diagrama de Hovmöller para precipitação estimada pelo CMORPH

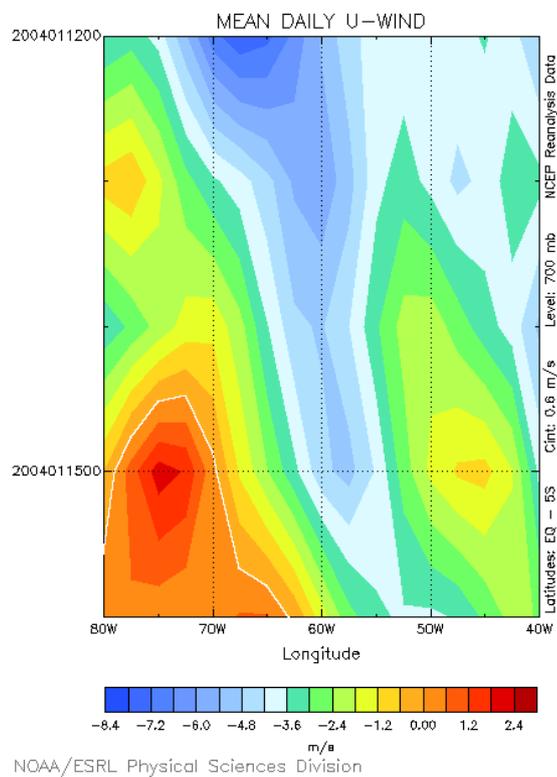


Figura 74: Diagrama de Hovmöller para o vento médio zonal da Reanálise II

FEVEREIRO 2004

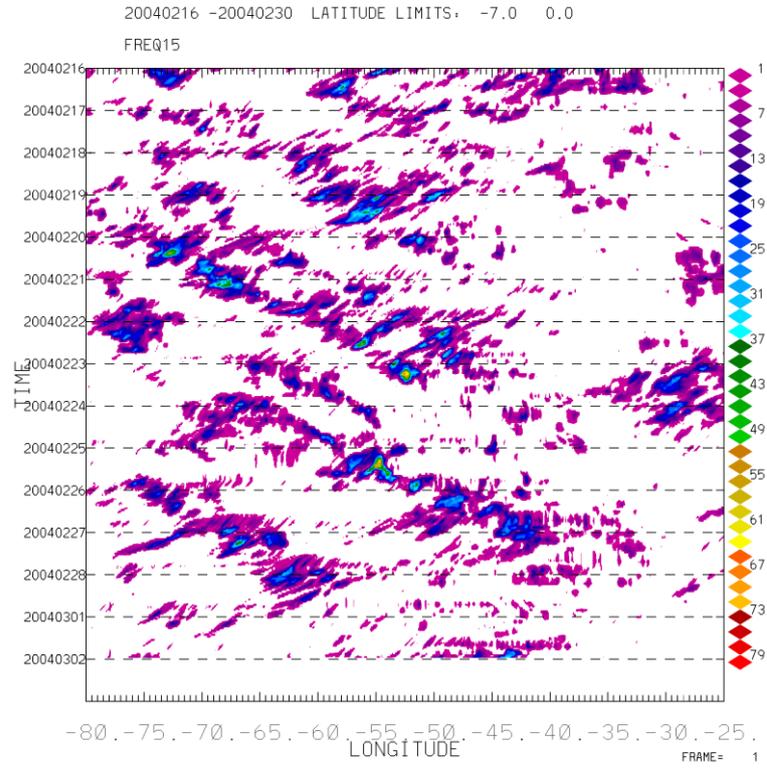


Figura 75: Diagrama de Hovmöller para precipitação estimada pelo CMORPH

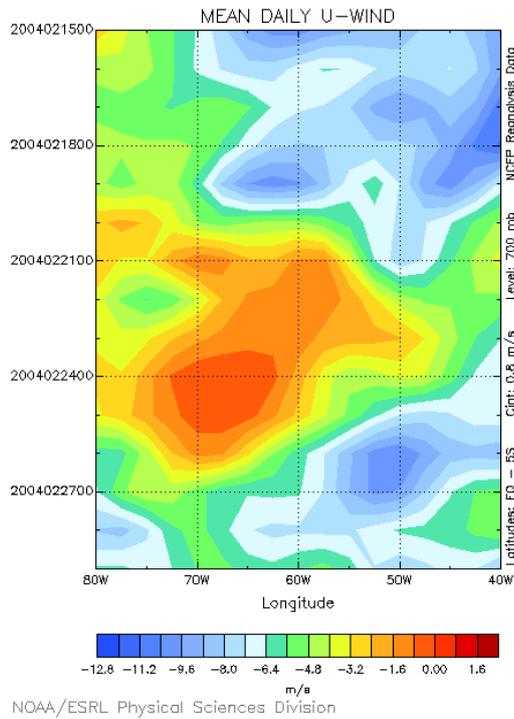


Figura 76: Diagrama de Hovmöller para o vento médio zonal da Reanálise II

MARÇO 2004

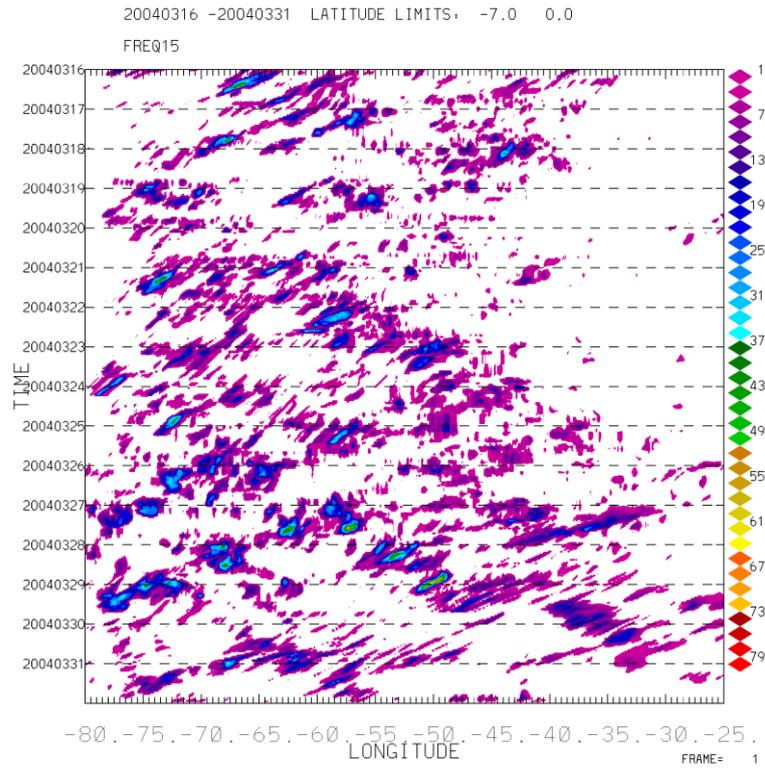


Figura 77: Diagrama de Hovmöller para precipitação estimada pelo CMORPH

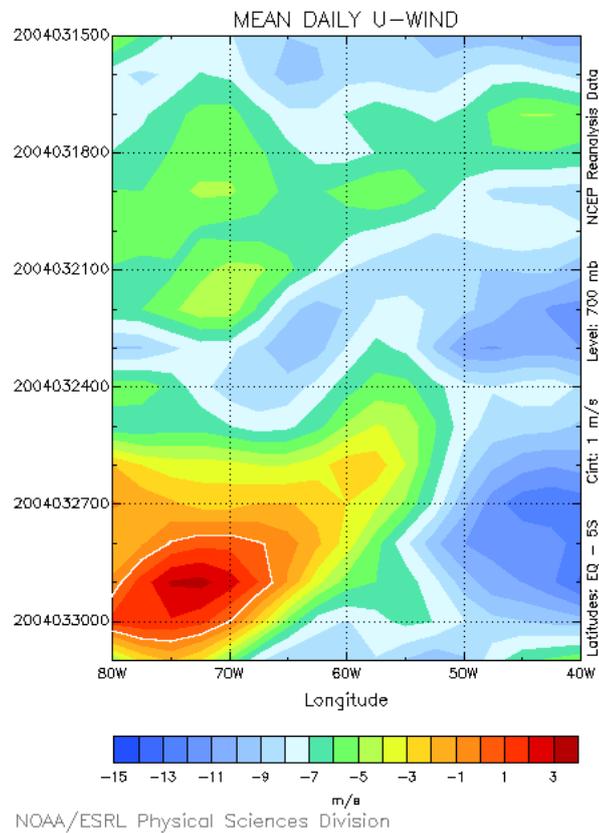


Figura 78: Diagrama de Hovmöller para o vento médio zonal da Reanálise II

ABRIL 2004

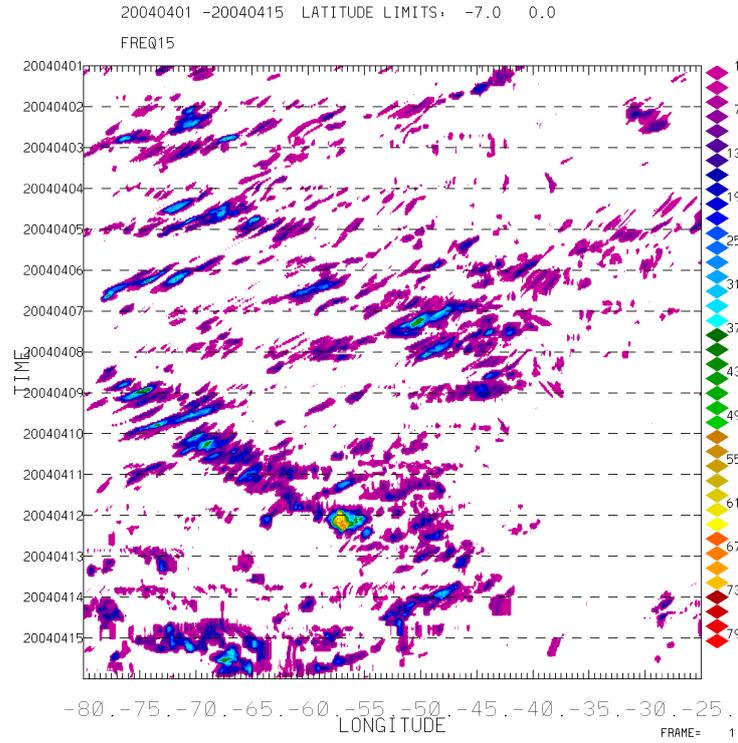


Figura 79: Diagrama de Hovmöller para precipitação estimada pelo CMORPH

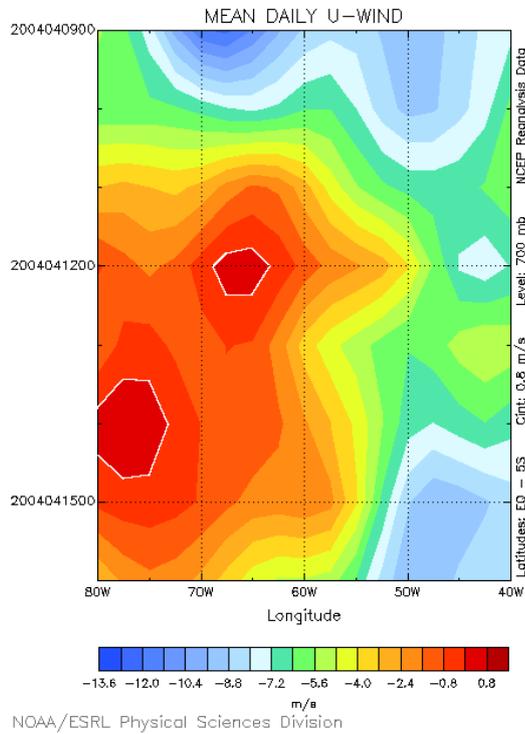


Figura 80: Diagrama de Hovmöller para o vento médio zonal da Reanálise II

OUTUBRO 2004

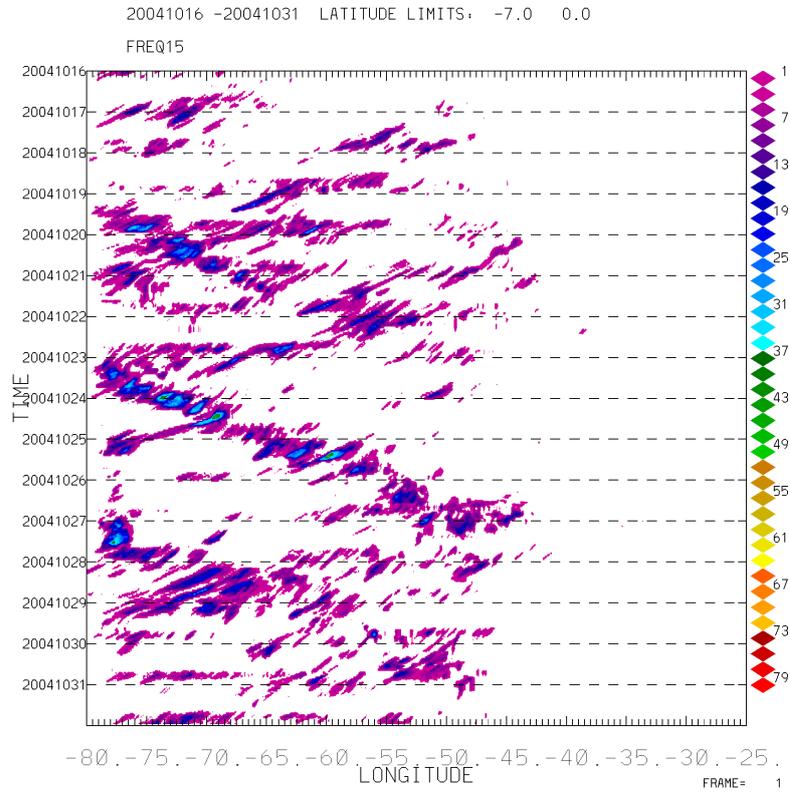


Figura 81: Diagrama de Hovmöller para precipitação estimada pelo CMORPH

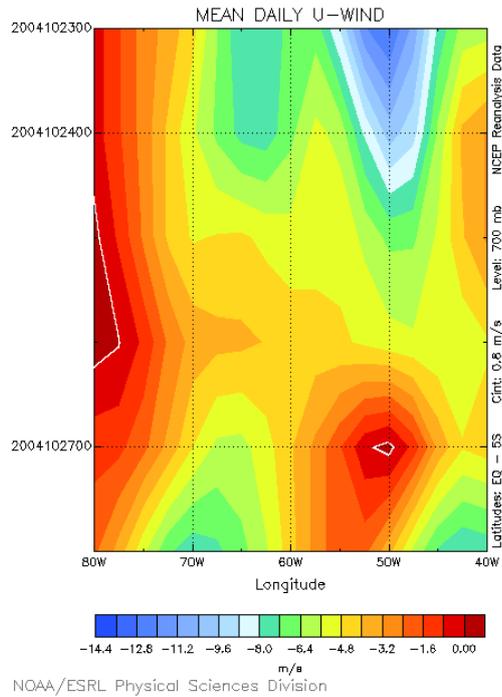


Figura 82: Diagrama de Hovmöller para o vento médio zonal da Reanálise II

DEZEMBRO 2004

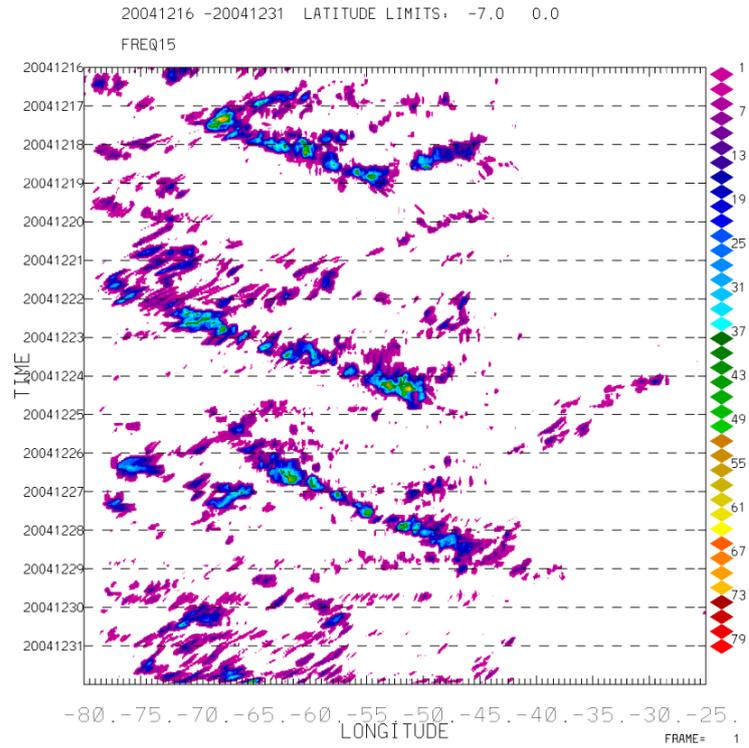


Figura 83: Diagrama de Hovmöller para precipitação estimada pelo CMORPH

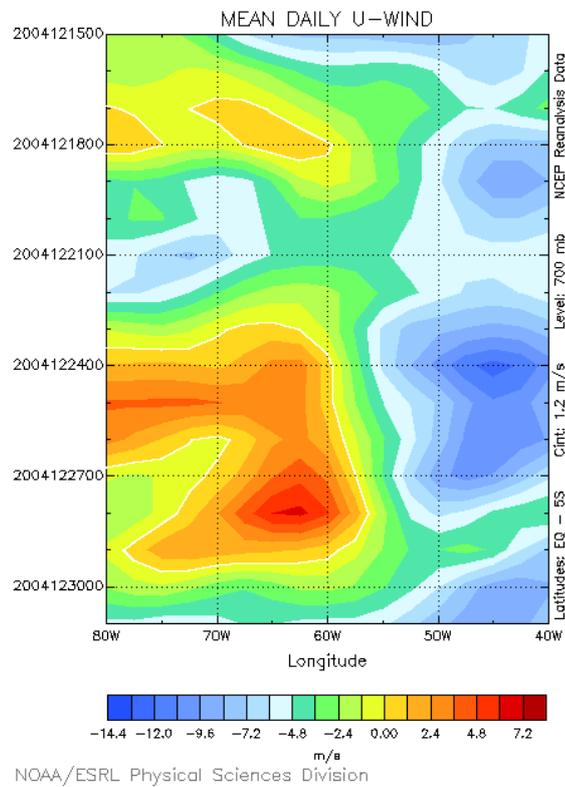


Figura 84: Diagrama de Hovmöller para o vento médio zonal da Reanálise II