



UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO  
CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA  
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS  
DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA

# **Zonas de Convergência Subtropicais na América do Sul: Características da circulação e fluxos de umidade**

**FELLIPE ROMÃO SOUSA CORREIA**

ORIENTADOR: Prof. Dr. Edilson Marton

Monografia submetida ao corpo docente do Departamento de Meteorologia da UFRJ como requisito necessário à obtenção de grau de Bacharel em Meteorologia.

Rio de Janeiro, RJ

Dezembro, 2013

Zonas de Convergência Subtropicais na América do Sul: Características da circulação e fluxos de umidade

FELLIPE ROMÃO SOUSA CORREIA

MONOGRAFIA SUBMETIDA AO CORPO DOCENTE DO DEPARTAMENTO DE METEOROLOGIA DO INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS DO CENTRO DE CIÊNCIAS MATEMÁTICAS E DA NATUREZA DA UNIVERSIDADE FEDERAL DO RIO DE JANEIRO, COMO PARTE DOS REQUISITOS NECESSÁRIOS À OBTENÇÃO DO GRAU DE BACHAREL EM METEOROLOGIA.

Avaliada por:

---

Prof. Dr. Edilson Marton  
Departamento de Meteorologia – IGEO – UFRJ  
Orientador

---

Prof. Dr. Wallace Figueiredo Menezes  
Departamento de Meteorologia – IGEO – UFRJ

---

Prof. Dra. Maria Gertrudes Alvarez Justi da Silva  
UENF

Rio de Janeiro, RJ  
Dezembro, 2013

Ficha Catalográfica:

Sousa Correia, Fellipe Romão

**“ZONAS DE CONVERGÊNCIA SUBTROPICAIS NA AMÉRICA DO  
SUL: CARACTERÍSTICAS DA CIRCULAÇÃO E FLUXOS DE  
UMIDADE”**

Rio de Janeiro, 2013, pp 106. Universidade Federal do Rio de Janeiro.

Monografia para a obtenção do título de Bacharel em Meteorologia.

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, aos meus Orixás e a meus amigos espirituais, que sempre me acompanham e me amparam, onde quer que eu esteja, aonde quer que eu vá e no que quer que eu precise.

Aos meus pais, motivadores e investidores iniciais, que sempre acreditaram em meu potencial e possibilitaram que até aqui eu chegasse.

Ao Thiago Santana, companheiro de todas as horas e que tanto me apoia em minha jornada.

A Prof. Justi, que tornou-se uma grande amiga e teve participação fundamental em minha formação acadêmica e profissional.

Ao Prof. Edilson, meu orientador, que teve a maior paciência do mundo e soube conduzir minha pesquisa científica.

A todos os meus amigos do curso de Meteorologia da UFRJ, que estiveram comigo até o fim e com quem eu pude compartilhar muitos momentos bons. Em especial, a Ariane Campani, amiga de longa data, que muito me ensinou ao longo desses anos e ao Rodrigo Carvalho, quem muito me ajudou com na parte de manipulação dos dados.

## RESUMO

O presente estudo tem por objetivo entender alguns aspectos das diferenças entre episódios de ZCAS e ZCOU através da análise da circulação atmosférica e dos fluxos de umidade associado aos episódios de ambos os sistemas. Tomou-se como base o período de outubro/2012 a abril/2013, onde foram contabilizados dezoito episódios de zonas de convergência, sendo onze de ZCOU e sete de ZCAS, de acordo com boletins divulgados pelo CPTEC/INPE. Foram utilizados dados de umidade específica, componentes meridional, zonal e vertical do vento do CFSv2 e dados de ROLE não interpolados do sensor AVHRR. Utilizando a metodologia de períodos ativos (média de três dias representativos da fase de maior atividade convectiva), foram gerados campos horizontais da circulação atmosférica nos diversos níveis da troposfera, bem como dos fluxos de umidade integrados verticalmente. A avaliação da circulação atmosférica associada com cada fenômeno foi feita através de critérios dinâmicos, baseados na literatura atual disponível. Também obteve-se a contribuição do transporte de umidade através das fronteiras de duas áreas de atuação das zonas de convergência, sendo uma na Amazônia e outra no centro-oeste brasileiro. Os resultados mostram que episódios de ZCOU são mais frequentes que os de ZCAS, porém com menor tempo de duração. Constata-se um padrão mais intenso e uniforme de convecção na ZCAS do que na ZCOU. À exceção da troposfera superior, a circulação atmosférica envolvida mostra padrões diferentes nos casos médios dos fenômenos. A análise do movimento vertical em níveis médios e da divergência do vento horizontal em baixos e altos níveis também apresentaram comportamento diferenciado. Os fluxos de umidade não demarcam a presença de uma região bem organizada de convergência do fluxo de umidade sobre o continente, aparecendo no oceano uma banda dupla no caso da ZCAS e uma banda única no caso da ZCOU. O saldo do fluxo de umidade é, em média, maior na ZCOU do que na ZCAS para as duas regiões selecionadas, sendo as fronteiras norte e leste responsáveis pela parcela de maior contribuição. A evolução temporal do saldo do fluxo de umidade apresenta tendências a longo prazo diferentes nas duas regiões. Por fim, a parcela de umidade disponível para precipitação, em função do aporte de umidade na região, são da mesma ordem de grandeza tanto na ZCAS quanto na ZCOU.

## ABSTRACT

This study aims to understand some aspects of the differences between SACZ episodes and HCZ by analyzing the atmospheric circulation and moisture flux associated with episodes of both systems. The period of october/2012 untill april/2013 has been taken as base, where there have been eighteen episodes of convergence zones, being eleven HCZ and seven SACZ recorded, according to reports released by CPTEC/INPE. Data from specific humidity, meridional, zonal and vertical wind components from CFSv2 and OLR not interpolated from AVHRR sensor. Using the methodology of active periods (average of three days representing the phase of greatest convective activity), horizontal atmospheric circulation fields were generated at various levels of the troposphere, as well as the vertically integrated moisture flux. The assessment of atmospheric circulation associated with each phenomena was made through dynamic criteria based on current literature available. It was also obtained the contribution of moisture transport across the borders of two areas, one in the Brazilian Amazon and other Midwest. The results show that HCZ episodes are more frequent than the SACZ, but with shorter duration. It is noted a more intense and uniform pattern of convection in the SACZ than in HCZ. Except for the upper troposphere, the atmospheric circulation involved shows different patterns in average cases of phenomena. The analysis of vertical movement in middle levels and the divergence of the horizontal wind at low and high levels also showed different behavior. The moisture flux does not distinguish the presence of a well-organized region of convergence of the moisture flux over the continent, appearing in the ocean a double band in the case of the SACZ and a single band in the case of HCZ. The balance of the moisture flux is on average higher in HCZ than in the SACZ for the two selected regions, with the northern and eastern portion responsible for the largest contribution boundaries. The temporal evolution of the balance of the moisture flux presents different long-term trends in the two regions. Finally, the amount of moisture available for rainfall, depending on the moisture flow in the region are of the same order of magnitude both in SACZ and HCZ.

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1.1 – Climatologia de precipitação no Brasil durante o trimestre do verão (dezembro, janeiro e fevereiro). Fonte: CPTEC/INPE.

Figura 1.2 – Precipitação média mensal (mm/dia) para os meses de dezembro (superior), janeiro (meio) e fevereiro (inferior) no período de 1979 a 1995. Fonte: CPC/NOAA.

Figura 2.1 – Média de longo prazo de nuvens altas e altura geopotencial no nível isobárico de 1000 hPa. No painel superior: meses de verão do hemisfério norte. No painel inferior: meses de verão do hemisfério sul. As linhas coloridas indicam as zonas de convergência subtropicais. As marcações em azul e vermelho não fazem parte do conjunto de figuras originais de Kodama (1993), sendo meramente explicativas.

Figura 3.1 – Áreas de estudo: A1, delimitada por  $0^{\circ} - 15^{\circ}\text{S}$  e  $45^{\circ}\text{W} - 75^{\circ}\text{W}$  e A2, delimitada por  $12,5^{\circ} - 22,5^{\circ}\text{S}$  e  $45^{\circ}\text{W} - 55^{\circ}\text{W}$ .

Figura 3.2 – Esquema ilustrativo dos limites de integração utilizados no cálculo das componentes do saldo do fluxo de umidade.

Figura 4.1 – Frequência das zonas de convergência.

Figura 4.2 – Duração das zonas de convergência.

Figura 4.3 – Precipitação acumulada (mm) e anomalia de precipitação (mm) para outubro de 2012. Fonte: CPTEC/INPE.

Figura 4.4 – Precipitação acumulada (mm) e anomalia de precipitação (mm) para novembro de 2012. Fonte: CPTEC/INPE.

Figura 4.5 – Precipitação acumulada (mm) e anomalia de precipitação (mm) para dezembro de 2012. Fonte: CPTEC/INPE.

Figura 4.6 – Precipitação acumulada (mm) e anomalia de precipitação (mm) para janeiro de 2013. Fonte: CPTEC/INPE.

Figura 4.7 – Precipitação acumulada (mm) e anomalia de precipitação (mm) para fevereiro de 2013. Fonte: CPTEC/INPE.

Figura 4.8 – Precipitação acumulada (mm) e anomalia de precipitação (mm) para março de 2013. Fonte: CPTEC/INPE.

Figura 4.9 – Precipitação acumulada (mm) e anomalia de precipitação (mm) para abril de 2013. Fonte: CPTEC/INPE.

Figura 4.10 – ROLE ( $W.m^{-2}$ ). Quadros superiores: média dos períodos ativos de ZCAS (à esquerda) e caso individual ZCAS\_1 (à direita). Quadros inferiores: média dos períodos ativos de ZCOU (à esquerda) e caso individual ZCOU\_7 (à direita).

Figura 4.11 – Escoamento em linhas de corrente e divergência do vento horizontal ( $10^{-6}/s$ ) em 850 hPa. Quadros superiores: média dos períodos ativos de ZCAS (à esquerda) e caso individual ZCAS\_1 (à direita). Quadros inferiores: média dos períodos ativos de ZCOU (à esquerda) e caso individual ZCOU\_7 (à direita).

Figura 4.12 - Escoamento em linhas de corrente e velocidade vertical ômega (Pa/s) em 500 hPa. Quadros superiores: média dos períodos ativos de ZCAS (à esquerda) e caso individual ZCAS\_1 (à direita). Quadros inferiores: média dos períodos ativos de ZCOU (à esquerda) e caso individual ZCOU\_7 (à direita).

Figura 4.13 - Escoamento em linhas de corrente e divergência do vento horizontal ( $10^{-6}/s$ ) em 200 hPa. Quadros superiores: média dos períodos ativos de ZCAS (à esquerda) e caso individual ZCAS\_1 (à direita). Quadros inferiores: média dos períodos ativos de ZCOU (à esquerda) e caso individual ZCOU\_7 (à direita).

Figura 4.14 – Número de episódios de ZCAS e de ZCOU que atingiram o critério.



Figura 4.15 – Percentual de critérios atingidos individualmente pelos episódios de ZCAS (superior) e de ZCOU (inferior).

Figura 4.16 – Linhas de corrente de fluxo de umidade ( $\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-1}$ ) e divergência do fluxo de umidade integrado verticalmente ( $10^{-6}.\text{kg.m}^{-2}.\text{s}^{-1}$ ). Quadros superiores: média dos períodos ativos de ZCAS (à esquerda) e caso individual ZCAS\_1 (à direita). Quadros inferiores: média dos períodos ativos de ZCOU (à esquerda) e caso individual ZCOU\_7 (à direita).

Figura 4.17 – Representação esquemática das contribuições das fronteiras norte, sul, leste e oeste e saldo do fluxo de umidade ( $10^7.\text{kg.s}^{-1}$ ) no centro da caixa representativa de A1. Quadros superiores: média dos períodos ativos de ZCAS (à esquerda) e caso individual ZCAS\_1 (à direita). Quadros inferiores: média dos períodos ativos de ZCOU (à esquerda) e caso individual ZCOU\_7 (à direita).

Figura 4.18 – Idem a 4.17, exceto para A2.

Figura 4.19 – Série temporal do saldo do fluxo de umidade (SFU) em A1. Linha contínua espessa roxa indica o SFU, linha contínua laranja é a média móvel de 10 dias e a linha tracejada verde indica o ajuste linear.

Figura 4.20 – Idem a 4.19, exceto para A2.

Figura 4.21 – Parcela de precipitação em função do aporte de umidade ( $P_u$ ) para os períodos ativos de ZCAS.

Figura 4.22 – Parcela de precipitação em função do aporte de umidade ( $P_u$ ) para os períodos ativos de ZCOU.

## **LISTA DE TABELAS**

Tabela 3.1 – Período de atuação da ZCOU e da ZCAS entre outubro de 2012 e abril de 2013 (Fonte: CPTEC/INPE).

Tabela 3.2 – Duração e período ativo dos casos de ZCOU.

Tabela 3.3 – Duração e período ativo dos casos de ZCAS.

Tabela 3.4 – Critérios para identificação dos casos.

Tabela 3.5 – Variáveis da CFSv2.

Tabela 3.6 – Relação entre as variáveis da CFSv2 com os campos meteorológicos.

Tabela 4.1 – Eventos durante o período de outubro de 2012 a abril de 2013.

Tabela 4.2 – Avaliação dos critérios nos episódios de ZCAS.

Tabela 4.3 – Avaliação dos critérios nos episódios de ZCOU.

## LISTA DE ABREVIATURAS/SIGLAS

AB – Alta da Bolívia  
ASAS - Alta Subtropical do Atlântico Sul  
AVHRR - Advanced Very High Resolution Radiometer  
BC – Baixa do Chaco  
CFSv2 – Climate Forecast System version 2  
CN – Cavado do Nordeste  
CPC – Climate Prediction Center/National Oceanic and Atmospheric Administration  
CPTEC – Centro de Previsão do Tempo e Estudos Climáticos  
ENOS – El Niño Oscilação Sul  
INMET - Instituto Nacional de Meteorologia  
JBN – Jato de Baixos Níveis  
JPN - Jato Polar Norte  
JST - Jato Subtropical  
N/S – Norte/Sul  
NCEP - National Centers for Environmental Prediction  
NOAA – National Oceanic and Atmospheric Administration  
NW/SE – Noroeste/Sudeste  
OMJ - Oscilação de Madden-Julian  
ROLE - Radiação de Onda Longa Emitida  
TRMM/LBA - Tropical Rainfall Measuring Mission/Large Scale Biosphere-  
Atmosphere Experiment in Amazonia.  
TSM – Temperatura da Superfície do Mar  
VCAN – Vórtice Ciclônico de Altos Níveis  
ZCAS – Zona de Convergência do Atlântico Sul  
ZCIS - Zona de Convergência do Índico Sul  
ZCIT – Zona de Convergência Intertropical  
ZCOU – Zona de Convergência de Umidade  
ZCPS – Zona de Convergência do Pacífico Sul  
ZCST – Zona de Convergência Subtropical  
ZFB – Zona Frontal de Baiu

## SUMÁRIO

	<b>Pág.</b>
<b>LISTA DE FIGURAS</b>	vii
<b>LISTA DE TABELAS</b>	x
<b>LISTA DE ABREVIATURAS/SIGLAS</b>	xi
<b>CAPÍTULO I – INTRODUÇÃO</b>	1
<b>CAPÍTULO II – REVISÃO BIBLIOGRÁFICA</b>	6
2.1 – ZONAS DE CONVERGÊNCIA SUBTROPICAIS	6
2.2 – ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL	8
2.3 – ZONA DE CONVERGÊNCIA DE UMIDADE	12
2.4 – TRANSPORTE DE UMIDADE	15
<b>CAPÍTULO III – METODOLOGIA E DADOS</b>	16
3.1 – COMPILAÇÃO DE CASOS	16
3.2 – MÉTODOS DE ANÁLISE	19
3.2.1 – ANÁLISE DINÂMICA	19
3.2.2 – FLUXO DE UMIDADE	21
3.3 – CONJUNTOS DE DADOS	23
<b>CAPÍTULO IV – RESULTADOS E DISCUSSÕES</b>	25
4.1 – DESCRIÇÃO DO PERÍODO	25
4.2 – ANÁLISE DINÂMICA	33
4.3 – FLUXO DE UMIDADE	43
<b>CAPÍTULO V – CONSIDERAÇÕES FINAIS</b>	53
<b>REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.</b>	55
<b>APÊNDICE A</b>	59
<b>APÊNDICE B</b>	77

## **CAPÍTULO I**

### **INTRODUÇÃO**

A circulação atmosférica do período de verão faz com que zonas de máxima precipitação se configurem em determinadas regiões do planeta, resultante de sistemas atmosféricos específicos que mudam as condições do tempo em sua região de atuação durante seu período de atividade.

Na América do Sul, convencionou-se chamar Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) a banda de nebulosidade com orientação NW/SE, se estendendo do sul da região Amazônica até o oceano Atlântico Sul, e que persiste sobre a região durante pelo menos quatro dias e fornece precipitação abundante, porém não regularmente distribuída, em sua área de atuação (Quadro, 1994).

Uma composição trimestral da precipitação no Brasil é vista na Figura 1.1, onde se apresenta o acumulado para os meses de dezembro, janeiro e fevereiro, representativos do verão. Nota-se um máximo na região amazônica, com extensão NW/SE sobre o Brasil central até a região Sudeste. Tal característica espacial reflete o posicionamento climatológico da ZCAS.

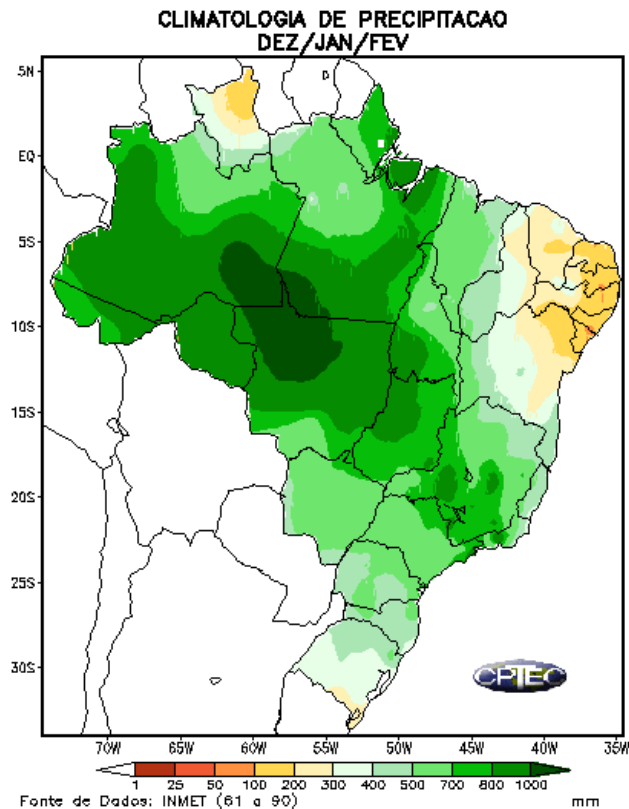


Figura 1.1 – Climatologia de precipitação no Brasil durante o trimestre do verão (dezembro, janeiro e fevereiro). Fonte: CPTEC/INPE.

A Figura 1.2 mostra a precipitação média mensal para o período de 1979 a 1995 durante o trimestre do verão: dezembro, janeiro e fevereiro, onde é possível notar máximos relativos de precipitação na região da Amazônia central estendendo-se até o Sudeste do Brasil e o oceano Atlântico Sul, corroborando a presença da banda de nebulosidade mencionada anteriormente. Destacam-se, na mesma figura, outras regiões de máxima precipitação, uma no oceano Pacífico, a qual se denominou Zona de Convergência Pacífico Sul (ZCPS) e outra menos intensa na borda oriental do continente africano, conhecida como Zona de Convergência do Índico Sul (ZCIS), (Kodama, 1993). Tais configurações, muito bem definidas no campo de precipitação, mostram o caráter organizado dos sistemas precipitantes denominados “zonas de convergência”. Isso mostra a grande importância do estudo e conhecimento das configurações atmosféricas associadas a tais fenômenos, afinal eles produzem impacto significativo no regime de chuva das áreas onde eles atuam.

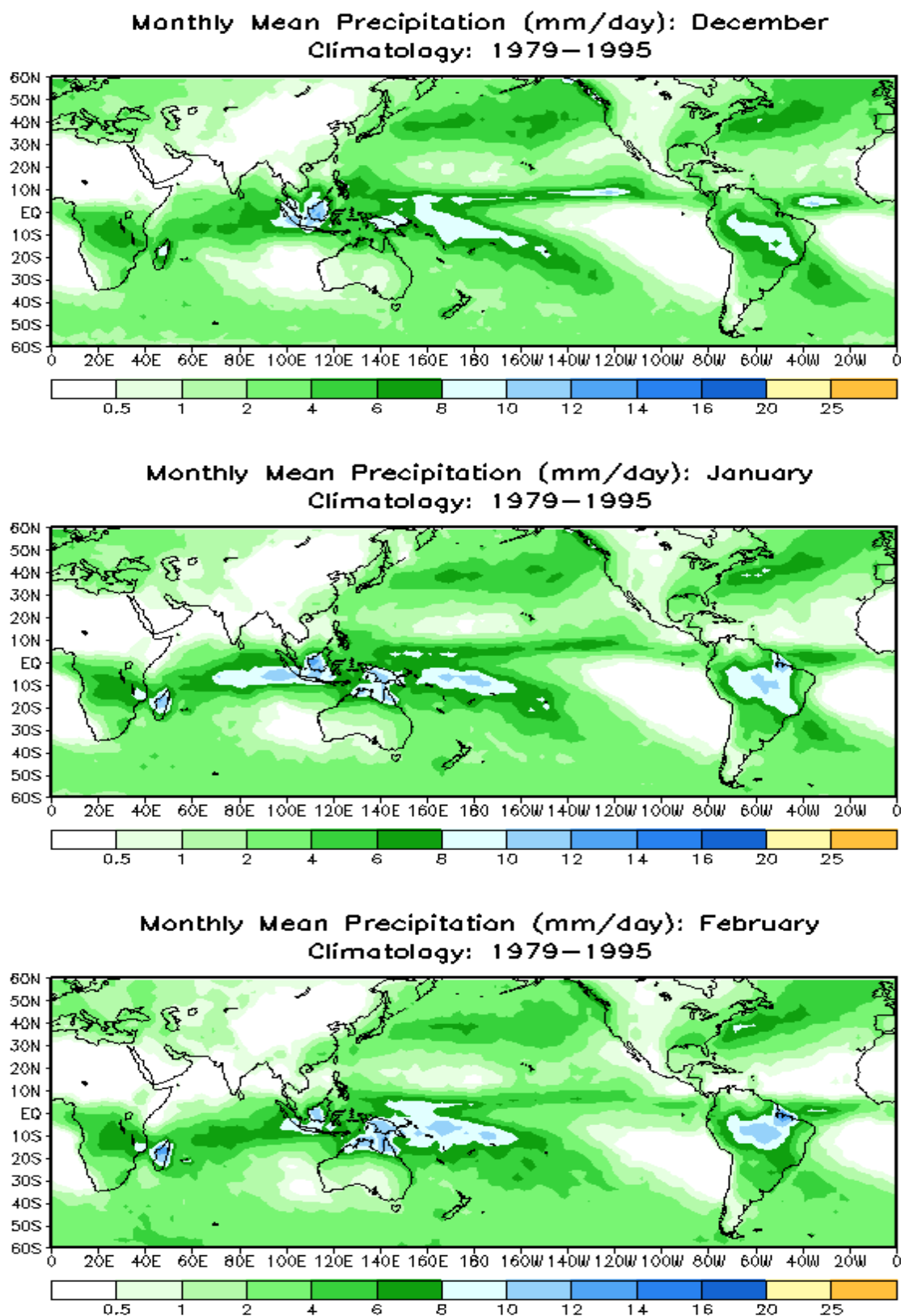


Figura 1.2 – Precipitação média mensal (mm/dia) para os meses de dezembro (superior), janeiro (meio) e fevereiro (inferior) no período de 1979 a 1995. Fonte: CPC/NOAA.

A circulação atmosférica na América do Sul, durante os meses de verão austral, apresenta três grandes sistemas climatológicos: a Alta da Bolívia (AB), o Vórtice Ciclônico em Altos Níveis (VCAN) na vizinhança da região nordeste do Brasil e a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) (Ferreira *et al.*, 1998). O regime pluviométrico de boa parte do Brasil é influenciado pela atuação da ZCAS. As chuvas intensas que ocorrem em boa parte dos estados das regiões Centro-Oeste e Sudeste são resultado da presença desse sistema, inclusive quando há eventos extremos de precipitação.

Convencionou-se identificar bandas de nebulosidade quase estacionárias, geralmente com duração mínima de quatro dias, como eventos de ZCAS (Quadro, 1994), uma vez que as condições encontradas nas cartas sinóticas eram semelhantes à circulação climatológica esperada para a época.

Entretanto, no final da primeira década do século XXI, começou-se a entender que eventos chuvosos significativos aconteciam durante o verão sem que as condições meteorológicas fossem suficientemente bem definidas para classificar o evento como um episódio de ZCAS. Desta forma, surgiu no meio operacional a denominação de Zona de Convergência de Umidade (ZCOU), fenômeno que apresenta características semelhantes a da ZCAS, porém sem haver uma estrutura dinâmica que favoreça a organização da nebulosidade e da precipitação (Neto *et al.*, 2010; Pallotta e Gan, 2011).

A diferenciação entre episódios de ZCAS e ZCOU, contudo, não pareceu seguir critérios bem esclarecidos por todos os centros meteorológicos do país. A própria caracterização da ZCOU ainda permanece arbitrária para uma parte da comunidade meteorológica, o que leva a mesma a questões recorrentes de definição, tais como: a duração de dias relativa a cada evento e os critérios objetivos para determinação da ocorrência da ZCOU.

Para se estudar um fenômeno atmosférico, faz-se necessário que aspectos essenciais sejam esclarecidos. Uma primeira abordagem é o período de ocorrência do fenômeno que, no caso da ZCOU, acredita-se possuir similaridade com a ZCAS. Ou seja, espera-se que haja maior frequência de episódios de ZCOU durante o verão.

O impacto primeiro de um fenômeno de zona de convergência é a chuva que o mesmo pode acarretar em sua região de influência. Desta forma, uma segunda abordagem no estudo é a de quantificar o balanço de umidade, tendo em vista que a convergência de umidade é a fonte principal de vapor d'água para formação de nuvens e



consequente produção de precipitação. Qual seria a parcela de chuva produzida pela convergência de umidade nos baixos níveis da troposfera?

Em função das necessidades apresentadas até aqui, este trabalho terá o seguinte objetivo: entender alguns aspectos das diferenças entre episódios de ZCAS e ZCOU. Para atingir este objetivo, serão feitas duas abordagens específicas:

1. Analisar o comportamento dinâmico médio e individual dos casos ocorridos entre outubro de 2012 a abril de 2013, buscando assim evidenciar a diferença na circulação atmosférica envolvida em episódios de ZCAS e ZCOU;
2. Avaliar as zonas de convergência através do fluxo de umidade na região de atuação dos sistemas.

Adiante, o Capítulo 2 conta com uma revisão bibliográfica sobre a estrutura dinâmica compatível com episódios de ZCAS e ZCOU e sobre o transporte de umidade durante o verão na América do Sul. No Capítulo 3, será apresentada a metodologia utilizada para comparação dos casos de ZCAS e ZCOU, bem como os cálculos relativos ao transporte de umidade. Também será abordado neste capítulo os dados utilizados, suas características e fontes de obtenção. Já no Capítulo 4, os resultados do estudo serão apresentados e discutidos. Por fim, no Capítulo 5 serão pontuados os principais aspectos do estudo, as conclusões e sugestões para trabalhos futuros.

## **CAPÍTULO II**

### **REVISÃO BIBLIOGRÁFICA**

Neste capítulo apresenta-se uma revisão bibliográfica dividida em quatro partes. No primeiro tópico, fala-se do conceito de ZCST e das características básicas de formação. O segundo tópico aborda a ZCAS, indicando os aspectos principais, tais como variabilidade temporal e espacial e circulação atmosférica presente em casos clássicos. Já no terceiro, a ZCOU é discutida tomando como base trabalhos que ressaltam a necessidade de classificação deste fenômeno, bem como apresentando a dinâmica da circulação atmosférica esperada. Por fim, o quarto tópico é a respeito do transporte de umidade sobre a circulação atmosférica de verão na América do Sul, com ênfase em zonas de convergência.

#### **2.1. ZONAS DE CONVERGÊNCIA SUBTROPICAIS**

De acordo com Kodama (1992), as Zonas de Convergências Subtropicais (ZCST) são regiões de intensa precipitação, quase estacionárias, que aparecem em regiões específicas do globo e possuem características de grande escala em comum, que por sua vez as diferenciam de sistemas frontais e da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). O mesmo autor apresenta algumas destas características, a saber: acumulados mensais de chuva de cerca de 400 mm; formam-se ao longo de jatos subtropicais em altos níveis e a leste de cavados semi-estacionários em altos e médios níveis; constituem zonas de convergência de massa e umidade com uma camada inferior úmida, espessa e baroclínica e estão localizadas na fronteira de massas de ar tropicais associadas com forte gradiente de umidade e geração de instabilidade convectiva por processos de advecção diferencial (o que preserva a convecção ativa). Foi observado também que a taxa de evaporação é muito menor que a taxa de precipitação, levando-se a concluir que a manutenção das chuvas é feita pelo transporte de umidade através dos ventos da baixa troposfera. Para a formação de tais regiões, é necessário que haja convergência de dois fluxos principais de umidade: o primeiro é proveniente da borda oriental dos sistemas de alta pressão em superfície que contorna as ZCST, enquanto o segundo flui ao longo da própria ZCST.

Ainda segundo Kodama (1992), inicialmente foram identificadas três regiões principais, a saber: Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS), Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e Zona Frontal de Baiu (ZFB), sendo as duas primeiras no hemisfério sul e a última no hemisfério norte, como pode ser visualizado na Figura 2.1. Foram realçadas na figura com um traço vermelho as ZCST mencionadas e, de azul, outras de menor sinal (Zona de Convergência do Atlântico Norte e Zona de Convergência Africana ou do Indico Sul – como também denominada na literatura especializada).

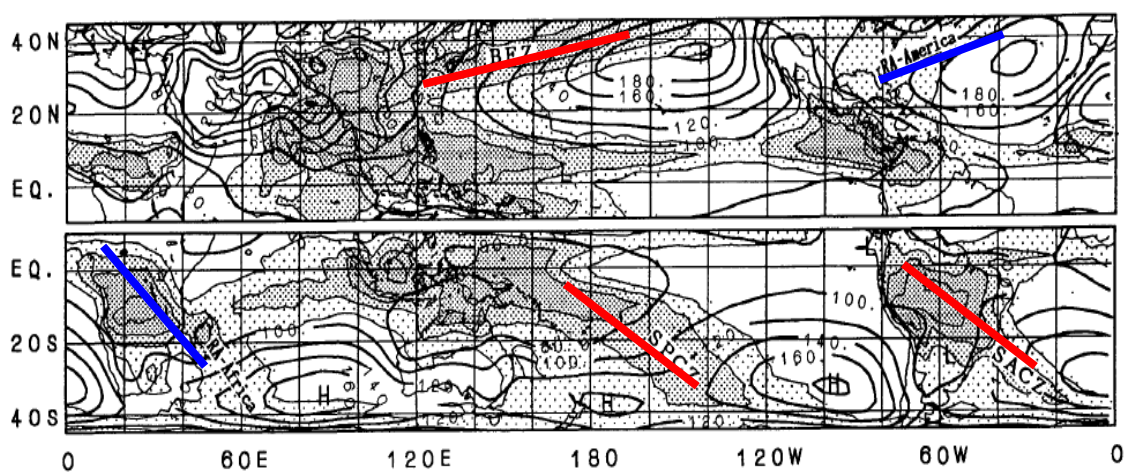


Figura 2.1 – Média de longo prazo de nuvens altas e altura geopotencial no nível isobárico de 1000 hPa. No painel superior: meses de verão do hemisfério norte. No painel inferior: meses de verão do hemisfério sul. As linhas coloridas indicam as zonas de convergência subtropicais. As marcações em azul e vermelho não fazem parte do conjunto de figuras originais de Kodama (1993), sendo meramente explicativas.

Kodama (1993) ratifica as particularidades das ZCST: intensa convergência de umidade, frontogênese no campo de temperatura potencial equivalente e geração de instabilidade convectiva. O mesmo autor ressalta que são necessárias duas condições de grande escala para o estabelecimento de tais zonas quase estacionárias:

1. escoamento de ar quente e úmido, em baixos níveis, em direção às altas latitudes, a oeste das altas subtropicais e
2. presença do jato subtropical em altos níveis em latitudes subtropicais.

Em particular, na América do Sul, esses dois aspectos podem ser visualizados na atividade convectiva da Amazônia, que contribui na intensificação da Baixa do Chaco

(BC), fortalecendo a convergência de ar úmido, e na intensificação do jato subtropical, em altos níveis. Caso uma das condições não seja satisfeita, as ZCST não se estabelecem, ou apresentam-se de maneira desorganizada.

## 2.2. ZONA DE CONVERGÊNCIA DO ATLÂNTICO SUL

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um importante fenômeno climatológico do verão austral no continente sul-americano (Carvalho *et al.*, 2004). A ZCAS foi subjetivamente definida como uma banda convectiva alongada tipicamente originária da bacia Amazônica, estendendo-se em direção a região Sudeste do Brasil, projetando-se para o oceano Atlântico (Kodama, 1992, 1993; Carvalho *et al.*, 2004).

A variabilidade temporal da ZCAS é vista através das diversas influências que o fenômeno acarreta nas escalas convectiva, sinótica, subsazonal e interanual.

Na escala interanual, alguns autores sugerem que a frequência das ZCAS seja modulada pela fase do ENOS. Quadro (1994) sugere que em anos de ENOS há uma desintensificação da convecção ao longo da banda de nebulosidade. Robertson e Mechoso (2000) estudaram aspectos interanuais e decenais da ZCAS onde encontraram uma circulação anômala de altos níveis a leste dos Andes que acompanha intensificação da ZCAS. Variações interanuais dessa circulação estariam bem correlacionadas com um dipolo de anomalia de TSM no sudoeste do Atlântico.

Em uma escala subsazonal, observa-se a ação da Oscilação de Madden-Julian (OMJ) na persistência da ZCAS (Andrade *et al.*, 2012). Gonzales da Silva (2004) estudou a variação intrasazonal em episódios de ZCAS para o verão de 2001/2002 e observou maior contribuição da banda de baixa frequência (30 - 70 dias), o que indica contribuição da OMJ.

Já em escala sinótica, os sistemas frontais podem interferir no período de atividade desse sistema, contribuindo para a permanência da ZCAS, uma vez que ocorre o alinhamento/acoplamento do gradiente térmico da frente fria com a banda de nebulosidade da ZCAS (Oliveira, 1986).

Na escala convectiva, o aquecimento da atmosfera acontece via liberação de calor latente, cujo ciclo diurno de convecção (associado ao ciclo solar) mostra durante as primeiras horas do dia uma convecção menos desenvolvida e, à medida que o aquecimento diurno ocorre, um maior desenvolvimento das nuvens convectivas, com

pico no final da tarde/começo da noite. De forma geral, a interação entre a escala convectiva e a dinâmica de grande escala permite o abaixamento da pressão no Brasil central, o que contribui para a manutenção e intensificação da convergência de massa e vapor d'água que sustenta a convecção (Carvalho et al., 2004).

A variabilidade espacial da ZCAS é vista pela região de atuação da banda convectiva. A precipitação associada à ZCAS apresenta comportamento não uniforme ao longo de seu posicionamento (Quadro, 1994). Desta forma, um mesmo evento ZCAS pode influenciar de diferentes formas as áreas de atuação, dependendo do posicionamento da banda de nebulosidade e da intensidade da convecção.

De acordo com Carvalho *et al.* (2004), observa-se na ZCAS uma alta variabilidade convectiva durante o verão, sendo na região Amazônica a ocorrência de máxima atividade convectiva e mínima variância subsazonal, enquanto que nas regiões costeira e oceânica ocorre a máxima variância subsazonal. Também se verificou que quanto maior a fração de áreas com valores de  $ROLE < 200 \text{ W/m}^2$  na região oceânica, mais a ZCAS estará deslocada para o oceano e menor será sua excentricidade. Também foi verificado através do estudo de Jones e Carvalho (2002) que regiões com  $ROLE < 200 \text{ W/m}^2$  estão bem relacionadas com os padrões espaciais de precipitação.

Quanto a interação do relevo do continente sul-americano com a ZCAS, Figueroa *et al.* (1995) indicaram que um forte aquecimento diabático sobre a bacia Amazônica é essencial para formação da ZCAS e não a presença da Cordilheira dos Andes. Apesar dos Andes não exercerem papel preponderante na gênese da ZCAS, aparentemente intensificam o escoamento em baixos níveis, auxiliando assim a alimentação da convergência com o ar úmido da região Amazônica, posicionando aí o seu máximo de precipitação (vide Figura 1.2). Posteriormente, Figueroa (1997), utilizando técnicas de funções ortogonais empíricas, corrobora que a formação da ZCAS depende majoritariamente da convecção tropical sobre a América do Sul e não da Cordilheira dos Andes, da ZCIT, da convecção da África ou da ZCPS.

A persistência da precipitação associada à ZCAS é tida como um dos principais pontos de motivação para o estudo do fenômeno. Eventos extremos de precipitação estão bem correlacionados com a atuação da ZCAS, a exemplo do estudo de Carvalho, *et al.* (2002) que mostram a relação entre a atividade convectiva vinculada à posição geográfica da ZCAS e a ocorrência de eventos extremos em São Paulo.

O período de atuação da ZCAS acaba por delimitar a estação chuvosa de grande parte da América do Sul, uma vez que o mesmo está compreendido entre o final da primavera até o início do outono. Ferraz e Ambrizi (2006) mostraram que cerca de 70% dos eventos de ZCAS ocorrem durante o trimestre do verão (dezembro, janeiro e fevereiro).

Para configurar-se um episódio de ZCAS, Quadro (1994) sugere o critério de permanência da banda de nebulosidade por durante quatro dias, verificada através de imagens de satélite, podendo persistir até 10 dias ou mais (Ferreira *et al.*, 2004).

Posteriormente, surgiram métodos objetivos de identificação e classificação de episódios de ZCAS.

Pesquero *et al.* (2010) desenvolveram um método simples de identificação em simulações de longo prazo, onde foram identificadas a presença das seguintes características semi-estacionárias por mais de quatro dias: a) velocidade vertical ( $\omega$ ) em 500 hPa abaixo de  $-0,05$  Pa/s; b) campo de ROLE abaixo de  $210$  W/m<sup>2</sup>; c) convergência de umidade em 925 hPa; d) divergência em 250 hPa e e) precipitação acima de 10 mm/dia. Foram obtidos resultados com uma porcentagem média de 80 a 90% em acerto de casos previamente estabelecidos pelo boletim Climanálise (divulgado pelo CPTEC/INPE).

Neto *et al.* (2010) estabeleceram critérios de identificação de eventos de ZCAS segundo a visão operacional do Grupo de Previsão do Tempo do CPTEC/INPE, sendo eles resumidos da seguinte forma:

1. A banda de nebulosidade associada à ZCAS nem sempre aparece bem definida e homogênea, indicando que o sistema pode estar presente, todavia, com pouca atividade;
2. Deve haver a presença do Jato Subtropical (JST) em altos níveis que, geralmente, contorna um cavado e fornece suporte dinâmico ao sistema que atua na superfície (cavado ou frente subtropical);
3. O ramo norte do Jato Polar (JPN) pode aparecer em algumas ocasiões acoplado ao JST nos casos onde aparece a presença de uma frente fria (clássica) no oceano;
4. Existe um significativo gradiente de temperatura potencial equivalente em 850 hPa, desde o oceano até o interior do continente, principalmente em casos de ZCAS associados à persistência de nebulosidade e abundante precipitação. Em

- algumas ocasiões, apenas aparece no oceano e não sobre o continente. Nesses casos, nota-se também um apreciável gradiente de água precipitável (valores acima de 40 mm);
5. Também existe um gradiente significativo de temperatura de ponto de orvalho em superfície, praticamente em fase com o gradiente de temperatura potencial equivalente em 850 hPa;
  6. O fluxo de umidade em 850 hPa aparece bem determinado, direcionado desde a região amazônica até o oceano, passando pelo Centro-Oeste e Sudeste do Brasil;
  7. O campo de velocidade vertical omega mostra movimento ascendente (valores negativos) em 500 hPa praticamente em fase com o fluxo convergente em 850 hPa;
  8. A Alta da Bolívia (AB) e o Cavado do Nordeste (CN) aparecem bem definidos apenas nos casos de ZCAS clássicos. Porém, nem sempre estes sistemas aparecem bem caracterizados durante um evento de ZCAS. Geralmente, a AB sempre aparece (organizada ou não) e o CN pode não aparecer;
  9. A convergência de umidade em baixos níveis deve persistir, pelo menos, quatro dias para poder ser caracterizada como ZCAS. Será contabilizado como primeiro dia de ZCAS o momento em que se configurou o fenômeno. Caso o processo dure menos de quatro dias, o evento será caracterizado apenas como Zona de Convergência de Umidade (ZCOU).

A aplicação de tal metodologia mostrou-se eficaz para um caso de ZCAS de fevereiro 2009, onde foi possível avaliar que a convergência de massa em camadas baixas e médias apareciam praticamente em fase, identificando-se apenas uma região de convergência de umidade desde o sul da região norte até o oceano Atlântico Sul.

Por fim, Pallotta e Gan (2011) explicitaram um modelo clássico da dinâmica de maturação da ZCAS em baixos, médios e altos níveis da troposfera que será apresentado a seguir. Em baixos níveis (850 hPa), a convergência de umidade ao longo da orientação NW/SE, favorecida pelo Jato de Baixos Níveis (JBN), escoamento oriundo da canalização dos alísios que adentram o continente sul-americano na região tropical, transportando vapor d'água proveniente do Atlântico Equatorial e da bacia Amazônica em direção ao Atlântico Sudoeste. A Alta Subtropical do Atlântico Sul (ASAS) também é importante na manutenção da convergência de umidade, pois seu giro anticiclônico sobre o oceano transporta vapor d'água em direção à costa sudeste do Brasil,

intensificando a convergência de umidade já existente. A alta oferta de umidade no ar favorece a alta variabilidade convectiva na região de atuação da ZCAS, como já mencionado anteriormente. Já em médios níveis (500 hPa), um cavado à leste da Cordilheira dos Andes também orientado NW/SE dá suporte para a persistência da nebulosidade e da precipitação associada, já que à leste do cavado encontra-se uma região de intensa vorticidade negativa que induz baixa pressão em superfície e, conseqüentemente, propicia convergência de massa e umidade. Também é possível identificar um intenso levantamento vertical, constatando a atividade convectiva ao longo da banda. Por fim, em altos níveis (200 hPa), duas circulações típicas do verão da América do Sul aparecem quando há ocorrência de ZCAS: a Alta da Bolívia (AB) e o Cavado do Nordeste (CN) que pode, ou não, ter vórtice associado. A AB é um anticiclone de altos níveis, consequência da intensa liberação de calor latente proveniente da convecção amazônica e de um ciclone térmico em baixos níveis, a Baixa do Chaco (BC), oriundo do aquecimento superficial na região do altiplano boliviano. Esse tipo de escoamento é uma resposta aos processos dinâmicos e termodinâmicos ocorridos em superfície e evidenciam a convergência de umidade lá ocorrida. Notam-se também valores de divergência positiva bem marcados na orientação de atuação da ZCAS, comprovando a presença de convecção já marcada nos outros níveis.

Um evento de ZCAS bem estabelecida (clássica) apresentaria os campos de convergência em baixos níveis, velocidade vertical ômega (negativa) em médios níveis e divergência em altos níveis em fase, ou seja, concordando espacialmente entre si. Tal fato corrobora a presença de nebulosidade convectiva com certa persistência na orientação NW/SE.

### 2.3. ZONA DE CONVERGÊNCIA DE UMIDADE

A primeira visão do termo Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) foi apresentada à comunidade meteorológica pelo Grupo de Previsão de Tempo do CPTEC/INPE em 2009 em função da dificuldade em caracterizar episódios de ZCAS que não mostravam características clássicas.

Pallotta e Gan (2011) realçam que tanto a ZCOU quanto a ZCAS são semelhantes em diversos aspectos, como por exemplo, ambas serem zonas de convergência de umidade marcadas por nebulosidade e precipitação intensas.



Entretanto, existem diferenças no padrão de escoamento clássico, principalmente em médios e baixos níveis, que desfavorecem a persistência e organização da banda de nebulosidade/precipitação, caracterizando assim uma ZCOU ao invés de uma ZCAS. Além do mais, os mesmos autores atribuíram o não favorecimento da ocorrência e persistência de episódios de ZCAS, ao longo do mês de janeiro de 2010, a dois fatores principais: (1) a circulação em 850 hPa assemelhava-se aos estudos de Nieto Ferreira *et al.* (2003), onde o escoamento apresentava-se com componente apenas meridional, transportando a umidade que deveria se acoplar com a oriunda da ASAS, diretamente para a região Sul do Brasil; (2) o deslocamento de cavados na troposfera média desfavorecia a persistência da precipitação ao longo da orientação preferencial da ZCAS, uma vez que na média mensal o escoamento à leste dos Andes era praticamente zonal. Estes resultados apenas confirmam o não estabelecimento de uma ZCST apresentado por Kodama (1992), já mencionado neste estudo.

Um método objetivo de identificação da ZCOU para auxílio no meio operacional também foi apresentado por Neto *et al.* (2010). Poderia classificar-se como uma ZCOU, quando houvesse observação de padrões atmosféricos similares a ZCAS, porém com duração de apenas 3 dias. Aqui, em todos os casos de ZCAS ou de ZCOU, poderá ser observado que a convergência em 850 hPa estará quase em fase com a região de valores negativos (movimento ascendente) do campo de velocidade vertical ômega em 500 hPa. Se porventura o padrão persistir por quatro dias (ou mais), adotar-se-á a nomenclatura de ZCAS, contabilizando-se como primeiro dia de ZCAS o primeiro dia de aparecimento do fenômeno. Há também a possibilidade de classificar-se como ZCOU uma situação de ZCAS que já esteja em dissipação, porém onde ainda é possível ser identificada uma banda de nebulosidade organizada. Todavia, se a nebulosidade estiver desorganizada, a convergência em 850 hPa poderá apresentar duas áreas preferenciais: uma direcionada no sentido NW/SE e outra direcionada meridionalmente (para o norte da Argentina, Paraguai e o oeste da região sul do Brasil), mediante a presença do JBN e/ou pela aproximação de um sistema frontal em superfície ou um cavado na média troposfera. Também poderá haver episódios de ZCOU com duração maior que três dias, sendo apenas necessário que ainda seja observado o deslocamento de cavados na troposfera média entre o norte e nordeste da Argentina, Paraguai e o estado de Mato Grosso do Sul e a região Sul do Brasil (o JBN poderá, inclusive, não aparecer). Tanto para o fenômeno que se forme a partir da dissipação de uma ZCAS, tanto para o

fenômeno que dure mais que três dias, a convergência em 850 hPa aparecerá relativamente defasada com a região de movimento ascendente 500 hPa. Em determinados episódios podem ocorrer simultaneamente as duas regiões de convergência de umidade, sendo que a direcionada para o sul do Brasil, ou Argentina, não gera nebulosidade. Essa situação coincide com a transição para a ZCOU. Neste caso poderá se manter a ZCAS ou diretamente colocar ZCOU.

A aplicação de tais critérios também mostrou-se razoável no estudo de um evento de ZCOU ocorrido em março de 2010, onde foram identificadas duas regiões de convergência de massa e umidade, sendo uma direcionada à região de ZCAS e outra para o centro-norte da Argentina e o oeste da Região Sul do Brasil. Esta segunda região de convergência de umidade foi gerada pela aproximação de um cavado na troposfera média no Pacífico, próximo do norte do Chile. Desta maneira, o campo de linha de corrente em 850 hPa apareceu desfasado com a região de valores negativos do campo de velocidade vertical omega em 500 hPa, sendo esta a diferença principal entre um episódio de ZCAS e de ZCOU.

Pallotta e Gan (2011) sintetizaram um modelo clássico da circulação atmosférica esperada em um episódio de ZCOU. Em níveis médios (500 hPa), observa-se o deslocamento de cavados entre o norte e nordeste da Argentina, o Paraguai, o Mato Grosso do Sul e a região Sul do Brasil. Isto faz com que haja quebra no padrão de persistência de nebulosidade e precipitação descritos para a situação de ZCAS, desfavorecendo os escoamentos típicos dos níveis abaixo. Em baixos níveis (850 hPa), por consequência do movimento da troposfera média, verifica-se uma desconfiguração do JBN, que não apresenta orientação preferencial NW/SE, podendo apresentar bifurcação para sul ou mesmo não se estabelecer adequadamente. Como a convergência de umidade acompanha o escoamento do JBN, no caso de ZCOU ela fica desfavorecida, podendo até se encontrar direcionada para a região sul do Brasil, ou da Argentina, não ocasionando nebulosidade. Em altos níveis (200 hPa), vale ressaltar que para uma situação estabelecida de ZCOU, já que a persistência é quebrada, os campos de convergência em baixos níveis aparecem relativamente defasados quando comparados com os campos de movimento vertical em 500hPa, que mesmo assim apresentam uma área relativamente bem organizada de ascensão de ar. Neste caso a banda de nebulosidade associada não se apresenta bem organizada.

## 2.4. TRANSPORTE DE UMIDADE

De acordo com Arraut e Satyamurty (2009), os oceanos Atlântico Norte e Sul subtropicais são as principais fontes de umidade que alimentam a precipitação entre as latitudes de 20° S e 30° S. Satyamurty *et al.* (2013) confirmam tal resultado ao estudar fontes de umidade para a bacia Amazônica em anos secos e úmidos. Tal autor define uma fonte de umidade como uma região onde ocorre divergência do fluxo de vapor d'água integrado na coluna vertical, ao passo que um sumidouro indica uma região onde há convergência do fluxo de vapor d'água integrado na coluna. A bacia Amazônica, portanto, configura-se como um sumidouro de umidade.

Coutinho *et al.* (2013) mostrou que, de modo geral, o fluxo de umidade médio da Amazônia e do Nordeste brasileiro fornece a maior parte de vapor d'água na borda leste do continente sul-americano, sugerindo que as contribuições dos ventos alísios do Atlântico Norte e Sul são igualmente importantes para a entrada de umidade durante o verão e inverno. A eficiência e importância do transporte da umidade realizado pelos JBN, a leste dos Andes, desde a região Norte até o Sudeste do Brasil são enfatizados através dos estudos de Contador *et al.* (2013).

Com relação às zonas de convergência, estudos preliminares de Kodama (1992) mostram que a taxa de evaporação em uma ZCST é menor do que a taxa de precipitação observada. Tal fato indica que a parcela de umidade disponível para a formação de nebulosidade era transportada de outras regiões. Trenberth (1999) também confirmou que o transporte horizontal de vapor d'água era mais eficiente na produção de chuva do que a reciclagem de umidade realizada apenas pelo processo de evaporação.

O balanço do fluxo de umidade integrado verticalmente foi examinado por Herdies *et al.* (2012), durante o experimento TRMM/LBA, onde o transporte de umidade dos trópicos para os extratropicais da América do Sul era mais eficiente durante o regime da ZCAS do que durante períodos de não atividade do fenômeno. Morales e Yamasaki (2012) realizaram simulações numéricas para simular um evento de ZCOU e encontrou correlações espaciais positivas entre os máximos de chuva e a convergência do fluxo de umidade integrado verticalmente. Já Vieira *et al.* (2012), através do estudo de 28 episódios de ZCAS ocorridos entre os verões de 1999 e 2010, mostrou que a convergência de umidade era cerca de 35% mais intensa do que a climatologia, na área de atuação.

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGIA E DADOS**

Neste capítulo, apresenta-se a metodologia utilizada para a análise dinâmica e do fluxo de umidade nas zonas de convergência. Também estão presente informações dos fenômenos que estão sendo estudados, da área de interesse no cálculo do saldo do fluxo de umidade e dos conjuntos de dados utilizados.

#### **3.1 – METODOLOGIA**

##### **3.1.1 – COMPILAÇÃO DE CASOS**

O período de estudo utilizado compreende os meses entre outubro de 2012 e abril de 2013, em função da ocorrência de zonas de convergência de acordo com os boletins divulgados pelo CPTEC/INPE. Os episódios de zonas de convergência divulgados pelo boletim técnico do CPTEC/INPE foram compilados de modo a saber o período de atuação em que cada fenômeno fez-se presente, bem como a própria classificação do mesmo. A Tabela 3.1 compila tais casos, sendo onze episódios de ZCOU e sete episódios de ZCAS. É válido ressaltar que a classificação atribuída ao fenômeno é de autoria do centro meteorológico citado, cabendo aqui apenas a análise em cima da classificação pré-estabelecida.

Tabela 3.1 – Período de atuação da ZCOU e da ZCAS entre outubro de 2012 e abril de 2013 (Fonte: CPTEC/INPE).

<b>Mês</b>	<b>Classificação</b>	<b>Período de atuação</b>
OUT/12	ZCOU	13-15/10/2012
OUT/12	ZCOU	18-19/10/2012
NOV/12	ZCAS	13-18/11/2012
NOV/12	ZCOU	19-23/11/2012
NOV/12	ZCOU	25-27/11/2012
DEZ/12	ZCAS	14-17/12/2012
JAN/13	ZCAS	09-17/01/2013
JAN/13	ZCOU	17-20/01/2013
JAN/13	ZCAS	21-24/01/2013
JAN/13	ZCAS	26-31/01/2013
FEV/13	ZCAS	04-07/02/2013
FEV/13	ZCOU	07-10/02/2013
FEV/13	ZCOU	27/02-02/03/2013
MAR/13	ZCOU	17-19/03/2013
MAR/13	ZCOU	21-22/03/2013
MAR/13	ZCAS	27-30/03/2013
MAR/13	ZCOU	30-30/03/2013
ABR/13	ZCOU	15-18/04/2013

A maior parte dos cálculos neste trabalho leva em consideração apenas o período ativo dos fenômenos. Define-se como período ativo o conjunto de três dias consecutivos centrados no metade do tempo de duração do fenômeno. Por exemplo, um fenômeno que tenha durado cinco dias, terá como período ativo o segundo, terceiro e quarto dia de duração. Ainda, caso o episódio tenha durado quatro dias, pode optar-se por escolher entre o primeiro, segundo e terceiro dia, ou pelo segundo, terceiro e quarto dia para definir-se o período ativo. O que espera-se evidenciar com esse método de análise são as características principais do fenômeno.

As médias que são apresentadas ao longo dessa pesquisa tomam como base que todos os fenômenos são representados por seus períodos ativos, sendo portanto realizadas médias de três dias. É válido ressaltar que não se utilizou método estatístico para a escolha dos dias do período ativo, levando-se apenas em conta um período de três dias que fosse intermediário entre o início e o fim das zonas de convergência.

A Tabela 3.2 apresenta a duração e o período ativo dos casos de ZCOU. Pode-se observar que devido a duração de alguns episódios ser menor que três dias, alguns períodos ativos abrangem dias fora da atuação do fenômeno propriamente dito.

Tabela 3.2 – Duração e período ativo dos casos de ZCOU.

<b>CASO</b>	<b>DURAÇÃO</b>	<b>PERÍODO ATIVO</b>
<b>ZCOU_1</b>	13-15/10/2012	13, 14 e 15/10/2012
<b>ZCOU_2</b>	18-19/10/2012	18, 19 e 20/10/2012
<b>ZCOU_3</b>	19-23/11/2012	20, 21 e 22/11/2012
<b>ZCOU_4</b>	25-27/11/2012	25, 26 e 27/11/2012
<b>ZCOU_5</b>	17-20/01/2013	18, 19 e 20/01/2013
<b>ZCOU_6</b>	07-10/02/2013	08, 09 e 10/02/2013
<b>ZCOU_7</b>	27/02-02/03/2013	28/02, 01 e 02/03/2013
<b>ZCOU_8</b>	17-19/03/2013	17, 18 e 19/03/2013
<b>ZCOU_9</b>	21-22/03/2013	20, 21 e 22/03/2013
<b>ZCOU_10</b>	30-30/03/2013	29, 30 e 31/03/2013
<b>ZCOU_11</b>	15-18/04/2013	15, 16 e 17/04/2013

A Tabela 3.3 apresenta a duração e o período ativo dos casos de ZCAS. Neste caso, todos os episódios apresentaram período ativo dentro do conjunto de dias da ocorrência do fenômeno.

Tabela 3.3 – Duração e período ativo dos casos de ZCAS.

<b>CASO</b>	<b>DURAÇÃO</b>	<b>PERÍODO ATIVO</b>
<b>ZCAS_1</b>	13-18/11/2012	14, 15 e 16/11/2012
<b>ZCAS_2</b>	14-17/12/2012	15, 16 e 17/12/2012
<b>ZCAS_3</b>	09-17/01/2013	12, 13 e 14/01/2013
<b>ZCAS_4</b>	21-24/01/2013	22, 23 e 24/01/2013
<b>ZCAS_5</b>	26-31/01/2013	27, 28 e 29/01/2013
<b>ZCAS_6</b>	04-07/02/2013	05, 06 e 07/02/2013
<b>ZCAS_7</b>	27-30/03/2013	27, 28 e 29/03/2013

Para o cálculo e análise do saldo do fluxo de umidade integrado verticalmente, utiliza-se duas áreas de interesse, sendo uma delas sobre a região Amazônia (A1) e a outra ao longo da região de atuação das zonas de convergência (A2), conforme apresentado na Figura 3.1. A primeira área é delimitada por  $0^{\circ} - 15^{\circ}\text{S}$  e  $45^{\circ}\text{W} - 75^{\circ}\text{W}$ , enquanto a segunda área é delimitada por  $12,5^{\circ} - 22,5^{\circ}\text{S}$  e  $45^{\circ}\text{W} - 55^{\circ}\text{W}$ .

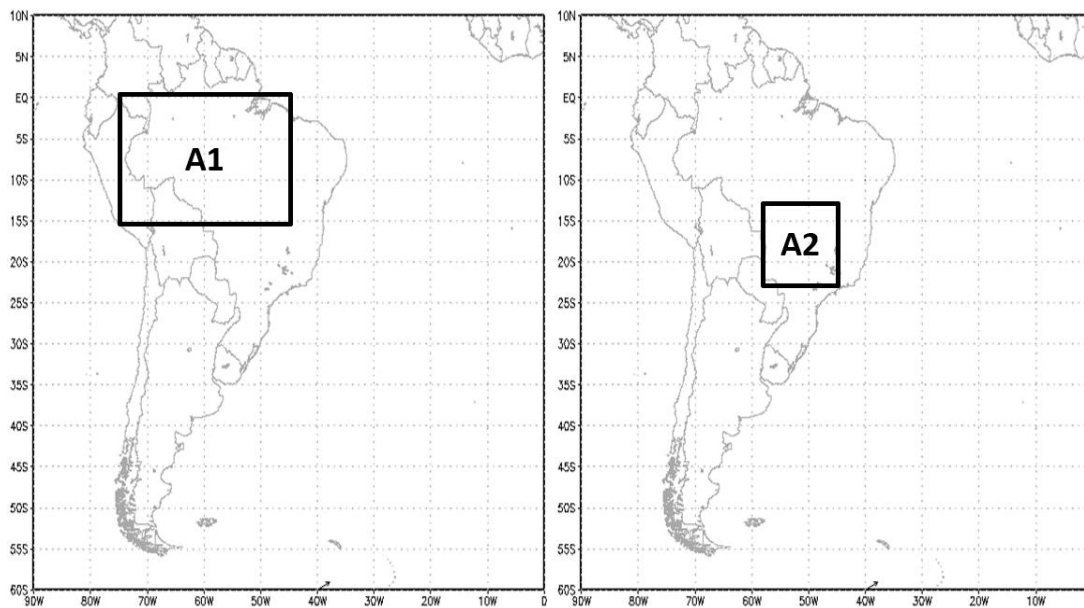


Figura 3.1 – Áreas de estudo: A1, delimitada por  $0^{\circ} - 15^{\circ}\text{S}$  e  $45^{\circ}\text{W} - 75^{\circ}\text{W}$  e A2, delimitada por  $12,5^{\circ} - 22,5^{\circ}\text{S}$  e  $45^{\circ}\text{W} - 55^{\circ}\text{W}$ .

Em particular, a área A1 foi a mesma utilizada nos estudos de Satyamurty *et al.* (2013) e representa a região amazônica, enquanto a área A2 foi escolhida de forma a representar a região de confluência dos fluxos de umidade nas zonas de convergência.

## 3.2 – MÉTODOS DE ANÁLISE

### 3.2.1 – ANÁLISE DINÂMICA

A análise dinâmica dos casos aqui estudados foi realizada nos níveis baixos, médios e altos da troposfera, tomando-se como referência os níveis isobáricos de 850, 500 e 200 hPa, respectivamente. Tendo em vista a discussão apresentada no capítulo anterior, elaborou-se um conjunto de critérios, presentes na Tabela 3.3, para auxiliar na identificação e comparação dos fenômenos. De maneira geral, os critérios refletem características que podem ser esperadas em cada caso específico de zona de convergência, seja ZCOU ou ZCAS.

Tabela 3.4 – Critérios para identificação dos casos.

	<b>CRITÉRIO</b>	<b>ZCAS</b>	<b>ZCOU</b>
(1)	ROLE	Mínimos concentrados na região de atuação.	Mínimos diluídos na região de atuação.
(2)	Linhas de corrente em 850 hPa	Confluência orientada na direção NW/SE.	Confluência orientada na direção N/S.
(3)	Divergência do vento em 850 hPa	Faixa uniforme de valores negativos.	Faixa desorganizada de valores negativos.
(4)	Linhas de corrente em 500 hPa	Curvatura ciclônica a leste dos Andes.	Fraço sinal de curvatura ciclônica a leste dos Andes/ escoamento zonal.
(5)	Velocidade vertical ( $\omega$ ) em 500 hPa	Faixa uniforme de valores negativos.	Faixa desorganizada de valores negativos.
(6)	Linhas de corrente em 200 hPa	Presença da AB e do CN.	Presença da AB e do CN.
(7)	Divergência do vento em 200 hPa	Faixa uniforme de valores positivos.	Faixa desorganizada de valores positivos.

Aqui cabem algumas elucidações sobre o cálculo dos critérios utilizados na Tabela 3.4.

Linhas de corrente são linhas contínuas tangentes ao vetor velocidade do vento em um dado instante de tempo, representando assim o escoamento atmosférico no nível isobárico em que estão sendo analisadas. Tanto regiões ciclônicas, quanto anticiclônicas, podem ser evidenciadas nestes campos pelo giro horário e anti-horário do escoamento (no hemisfério sul), respectivamente. Outro importante aspecto é a distância entre as linhas de corrente que indica difluência (linhas se afastando) ou confluência (linhas se aproximando) do escoamento.

A divergência do vento horizontal é dada pela equação a seguir:

$$\text{div } \vec{V} = \frac{du}{dx} + \frac{dv}{dy} \quad (1)$$

onde  $\vec{V}$  é o vetor vento ( $\text{m.s}^{-1}$ ),  $u$  é a componente zonal do vento ( $\text{m.s}^{-1}$ ) e  $v$  é a componente meridional do vento ( $\text{m.s}^{-1}$ ). Valores positivos desta variável indicam



divergência do vento, enquanto que valores negativos indicam convergência. A unidade da divergência é  $s^{-1}$ .

A variável  $\omega$  é a velocidade vertical do vento em coordenadas isobáricas, sendo dada pela seguinte expressão:

$$\omega = \frac{Dp}{Dt} = \frac{\partial p}{\partial t} + u \frac{\partial p}{\partial x} + v \frac{\partial p}{\partial y} + w \frac{\partial p}{\partial z} \quad (2)$$

onde  $u$  e  $v$  são as componentes já mencionadas,  $p$  é a pressão atmosférica (Pa) e  $w$  é a velocidade vertical ( $m.s^{-1}$ ) em coordenadas cartesianas. É válido lembrar que a velocidade vertical não foi calculada, mas sim obtida diretamente como produto de reanálise, como é detalhado mais à frente neste capítulo. Valores negativos são indicativos de movimento ascendente, ao passo que valores positivos indicam movimento descendente.

No caso da ROLE, quando um campo horizontal da variável é avaliado, valores maiores significam forte emissão de energia e, por conseguinte, estão relacionados com menor cobertura de nebulosidade. Por outro lado, valores menores estão relacionados com presença de nuvens.

### 3.2.2 – FLUXO DE UMIDADE

O fluxo de umidade nas zonas de convergência foi calculado tomando-se como base os estudos de Satyamurty *et al.* (2013), onde os autores utilizaram o fluxo de umidade integrado verticalmente ( $kg.m^{-1}.s^{-1}$ ), dado pela seguinte expressão:

$$\vec{FU} = (QU, QV) \quad (3)$$

onde,  $QU$  e  $QV$  indicam, respectivamente, as componentes zonal e meridional. A expressão relativa a cada componente é vista a seguir:

$$QU = \frac{1}{g} \int_{1000}^{300} q \cdot u \cdot dp \quad (4a)$$

$$QV = \frac{1}{g} \int_{1000}^{300} q \cdot v \cdot dp \quad (4b)$$

onde  $u$  e  $v$  são as componentes zonal e meridional do vento ( $\text{m.s}^{-1}$ ), respectivamente,  $p$  é a pressão atmosférica (hPa) e  $g$  é a aceleração devido à gravidade ( $g = 9,81 \text{ m.s}^{-2}$ ). A integração foi feita entre o nível de 1000 hPa e 300 hPa uma vez que o conteúdo de vapor d'água acima deste nível é irrisório e sujeito a grandes erros instrumentais (Satyamurty *et al.*, 2013).

Utilizou-se também a divergência do fluxo de vapor integrado na vertical, onde a fórmula a seguir é análoga a expressão apresentada para a divergência do vento horizontal:

$$\text{div } \overrightarrow{F\vec{U}} = \frac{d}{dx} (QU) + \frac{d}{dy} (QV) \quad (5)$$

Neste caso, valores negativos indicam convergência do fluxo de umidade (sumidouro), enquanto que valores positivos indicam divergência do fluxo de umidade (fonte). A unidade é  $\text{kg.m}^{-1}.\text{s}^{-2}$

Em seguida, as componentes representam as integrações calculadas na fronteira das áreas de interesse apresentadas anteriormente. As componentes leste, norte, sul e oeste são, respectivamente:

$$FN = - \int_{lon1}^{lon2} QV. dy \quad (6a) \quad FE = - \int_{lat1}^{lat2} QU. dx \quad (6b)$$

$$FS = \int_{lon1}^{lon2} QV. dy \quad (6c) \quad FW = \int_{lat1}^{lat2} QU. dx \quad (6d)$$

onde o limite de integração varia de acordo com as fronteiras. A unidade de cada componente é  $\text{kg.s}^{-1}$ . O esquema abaixo ilustra as os limites de integração utilizados no conjunto de equações anterior:

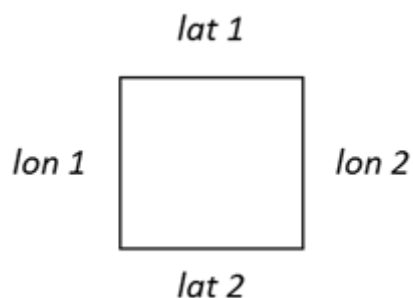


Figura 3.2 – Esquema ilustrativo dos limites de integração utilizados no cálculo das componentes do saldo do fluxo de umidade.

Por fim, o saldo do fluxo de umidade (SFU) em cada região é dado pela soma das quatro componentes anteriores, sendo valores positivos acúmulo de vapor d’água na região, enquanto que valores negativos representam perda de vapor d’água.

$$SFU = FE + FW + FS + FN \quad (7)$$

A contribuição do aporte de umidade para a geração de chuvas ( $P_u$ ) é dada pela seguinte expressão.

$$P_u = \frac{SFU}{A} \quad (8)$$

onde A é a área de cada “caixa” em questão, ou seja, neste estudo serão as áreas das regiões A1 e A2. A unidade de  $P_u$  é mm.

### 3.3 – CONJUNTOS DE DADOS

Os dados utilizados neste estudo provêm das seguintes fontes: boletins sinóticos e climatológicos mensais disponibilizados pelo CPTEC/INPE, análises globais do *The NCEP Climate Forecast System version 2* (CFSv2) e dados do sensor *Advanced Very High Resolution Radiometer* (AVHRR), a bordo do satélite NOAA.

Os dados relativos as análises globais do CSFv2 foram desenvolvidos operacionalmente pelo NCEP em março de 2011 e possuem atualizações para quase todos os aspectos da assimilação de dados e componentes do modelo de previsão em

relação a versão anterior (Saha *et al.*, 2013). A resolução horizontal é de  $0,5^\circ \times 0,5^\circ$  (latitude x longitude) e os dados são disponibilizados 4 vezes ao dia (resolução temporal de 6h). A seguir, a Tabela 3.5 mostra as variáveis utilizadas, o símbolo presente nas equações e as respectivas unidades.

Tabela 3.5 – Variáveis da CFSv2.

Variável	Símbolo	Unidade
<b>Componente zonal do vento</b>	u	$m.s^{-1}$
<b>Componente meridional do vento</b>	v	$m.s^{-1}$
<b>Velocidade vertical</b>	$\omega$	$Pa.s^{-1}$
<b>Umidade específica</b>	q	$kg.kg^{-1}$

Já a Tabela 3.6 associa as variáveis provenientes da CFSv2 com os campos meteorológicos presentes neste trabalho, bem como o nível da atmosfera no qual tais campos serão apresentados.

Tabela 3.6 – Relação entre as variáveis da CFSv2 com os campos meteorológicos.

Campo	Unidade	Nível	Variáveis CFSv2
<b>Linhas de corrente</b>	$m.s^{-1}$	850, 500 e 200 hPa	u,v
<b>Ômega</b>	$Pa.s^{-1}$	500 hPa	$\omega$
<b>Divergência do vento</b>	$s^{-1}$	850, 200 hPa	u,v
<b>Fluxo de umidade</b>	$kg.m^{-1}.s^{-1}$	Integrado na vertical	u,v,q

Por fim, do sensor AVHRR, foram obtidos os dados de radiação de onda longa emitida (ROLE) não interpolados. As médias diárias são disponibilizadas com resolução espacial de  $2,5^\circ \times 2,5^\circ$ . A unidade da ROLE é  $W.m^{-2}$ .

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

O presente capítulo é reservado aos resultados obtidos, sendo dividido em três partes: descrição do período, análise dinâmica e fluxo de umidade. O primeiro item diz respeito a uma breve descrição da chuva entre outubro/2012 a abril/2013 e da frequência de dias de atuação das zonas de convergência. No segundo item, são avaliadas as estruturas dinâmicas através do escoamento na troposfera, comparando-se campos médios com casos individuais, através dos períodos ativos. Já no terceiro item, analisa-se o fluxo de umidade presente nas zonas de convergência, onde se apresentam os campos horizontais do fluxo de umidade integrado verticalmente, bem como os saldos do fluxo de umidade na região de influência dos sistemas.

#### **4.1 – DESCRIÇÃO DO PERÍODO**

De acordo com a Tabela 3.1, o número de dias em que o fenômeno ficou estabelecido variou entre um a oito dias. O fenômeno ZCOU de menor duração foi a ZCOU\_10, com menos de um dia de permanência, enquanto o de maior duração foram as ZCOU\_3 e ZCOU\_7, com persistência de aproximadamente quatro dias. Já para a ZCAS, o maior episódio durou cerca de sete dias (ZCAS\_3), enquanto que ZCAS\_2, ZCAS\_4, ZCAS\_6 e ZCAS\_7 persistiram por três dias.

A Figura 4.1 mostra a frequência de ocorrências de ZCAS e ZCOU. A ZCOU ocorre pelo menos uma vez em todos os meses, exceto em dezembro/2012, sendo mais frequente em março de 2013, com três ocorrências. Já a ZCAS, abrange um período entre novembro/2012 e março/2013, ou seja, não ocorreu em outubro nem abril, sendo mais frequente em janeiro, com três ocorrências.

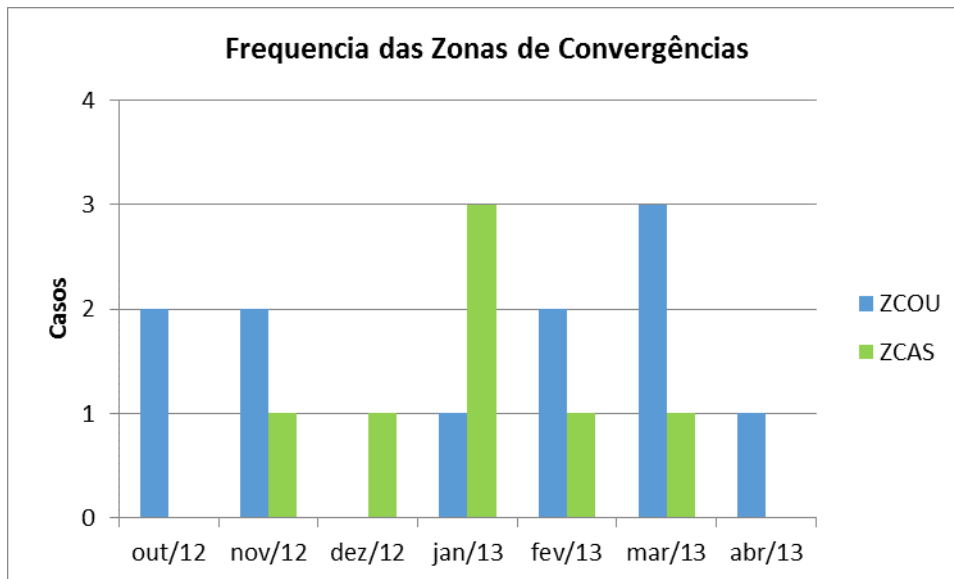


Figura 4.1 – Frequência das zonas de convergência.

Já a Figura 4.2 apresenta a duração, em dias, dos episódios de zonas de convergência ocorridos. A duração máxima da ZCOU foi de 4 dias, ao passo que da ZCAS foi de 7 dias. A maior parte das ZCOU estabeleceram-se até somente 3 dias. Mais de 80% dos casos de ZCAS concentram-se entre 3 a 5 dias de duração.

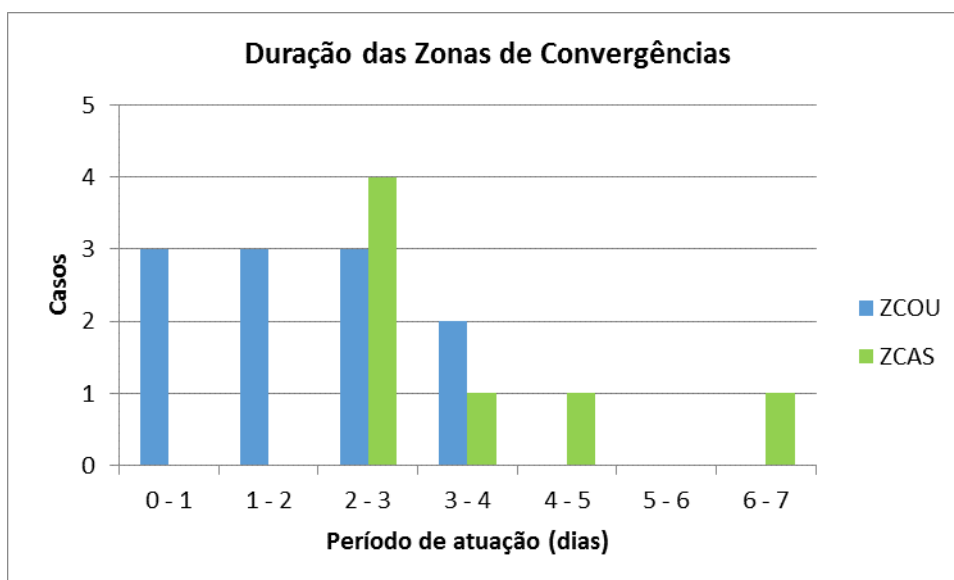


Figura 4.2 – Duração das zonas de convergência.

Muitos dos episódios aqui estudados não ocorreram isolados no tempo, ou seja, houve períodos de sucessão entre casos de ZCAS e ZCOU. Desta maneira, um evento

será aqui caracterizado pela sucessão de dias onde houve transição de uma ZCAS para ZCOU ou vice-versa. A Tabela 4.1 resume os agrupamentos dos eventos relativos ao período de estudo.

Tabela 4.1 – Eventos durante o período de outubro de 2012 a abril de 2013.

<b>Evento</b>	<b>Duração</b>	<b>Sequencia</b>
<b>1</b>	13-15/10/2012	ZCOU
<b>2</b>	18-19/10/2012	ZCOU
<b>3</b>	13-23/11/2012	ZCAS - ZCOU
<b>4</b>	25-27/11/2012	ZCOU
<b>5</b>	14-17/12/2012	ZCAS
<b>6</b>	09-24/01/2013	ZCAS - ZCOU - ZCAS
<b>7</b>	26-31/01/2013	ZCAS
<b>8</b>	04-10/02/2013	ZCAS - ZCOU
<b>9</b>	27/02-02/03/2013	ZCOU
<b>10</b>	17-19/03/2013	ZCOU
<b>11</b>	21-22/03/2013	ZCOU
<b>12</b>	27-30/03/2013	ZCAS - ZCOU
<b>13</b>	15-18/04/2013	ZCOU

Contabilizou-se um total de treze eventos dos dezoito episódios originais. Destes treze, nove permaneceram como episódios isolados (1, 2, 4, 5, 7, 9, 10, 11 e 13). Em contrapartida, quatro foram eventos de episódios conjugados, sendo que nos eventos 3, 8 e 12, uma ZCAS já estabelecida perde suas características, dando lugar a uma ZCOU. O evento 6 foi o de maior duração, com uma combinação de ZCAS, com decaimento e formação de ZCOU e novamente restabelecimento e formação da ZCAS.

Em seguida, uma análise mensal da precipitação entre outubro/2012 e abril/2013 é apresentada nas Figura 4.3 a 4.9, onde procurou-se estabelecer uma relação entre o número de ocorrência das zonas de convergência com possíveis acumulados de chuva significativos em determinada região.

O mês de outubro (Figura 4.3) apresenta máximos locais no norte do continente sul-americano e na região sul do país, para o campo de precipitação acumulada. Entretanto, o mês foi relativamente menos chuvoso em boa parte do país, dado pelas anomalias negativas em toda região Sudeste e centro-oeste, parte do nordeste e da região amazônica. Neste mês, houve atuação de apenas um episódio de ZCOU.

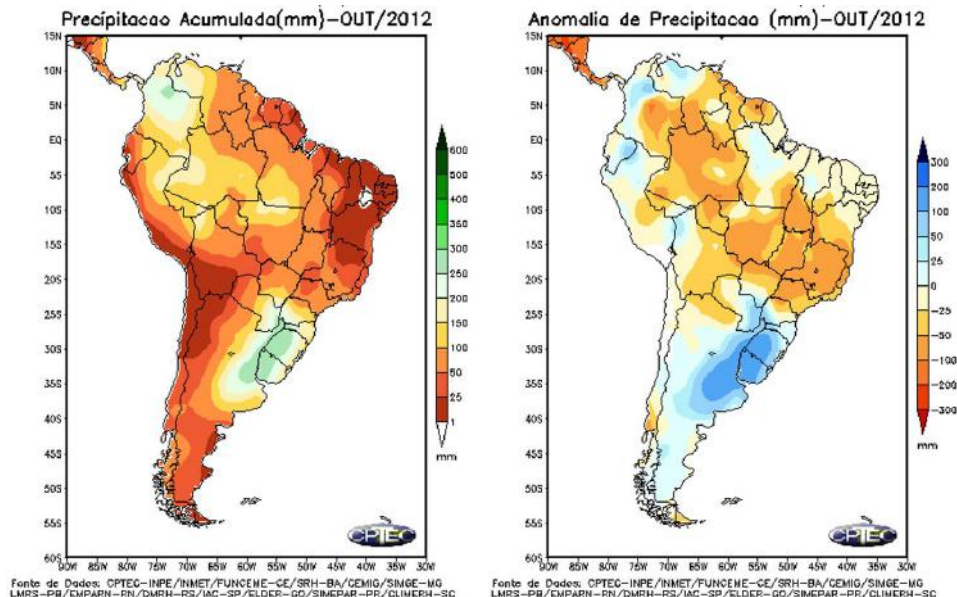


Figura 4.3 – Precipitação acumulada (mm) e anomalia de precipitação (mm) para outubro de 2012. Fonte: CPTEC/INPE.

Uma região de máximo acumulado de chuva ao longo do Brasil já é observado no mês de novembro (Figura 4.4), onde três episódios de zonas de convergência ocorreram, sendo uma ZCAS e duas ZCOU. Choveu mais que o esperado em novembro em boa parte do Brasil, exceto pela região sul, estado de São Paulo e Mato Grosso e região amazônica.

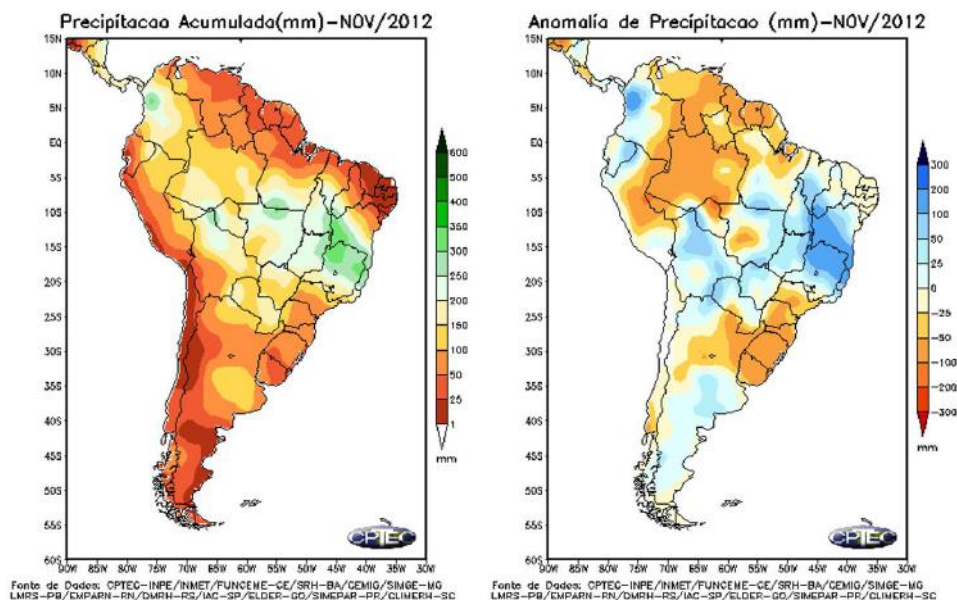


Figura 4.4 – Precipitação acumulada (mm) e anomalia de precipitação (mm) para novembro de 2012. Fonte: CPTEC/INPE.



O mês de dezembro (Figura 4.5) perde a configuração climatológica do campo de precipitação que já se apresentava em novembro em função da atuação de apenas uma ZCOU. O campo de anomalia revela um mês bastante seco no Brasil na faixa de atuação das zonas de convergência.

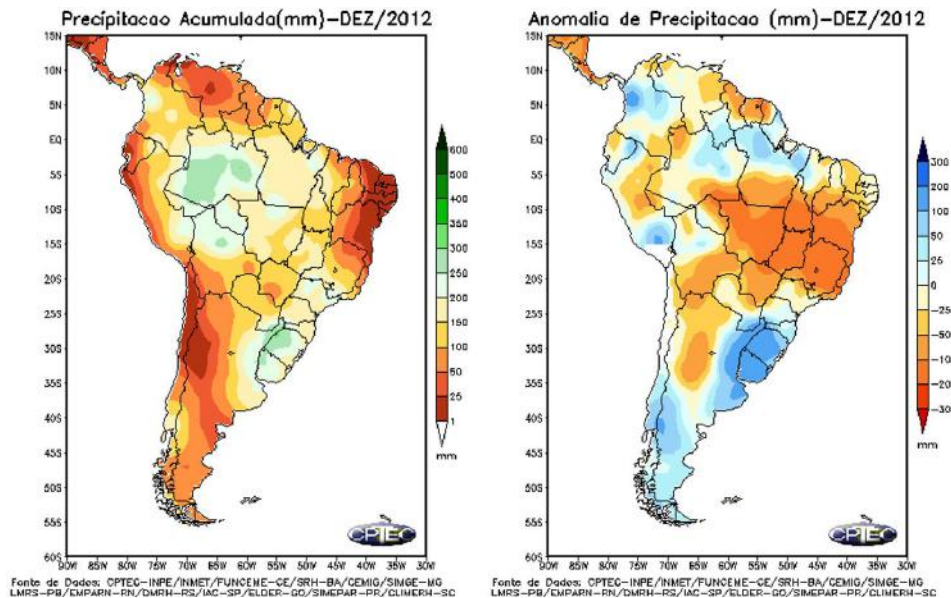


Figura 4.5 – Precipitação acumulada (mm) e anomalia de precipitação (mm) para dezembro de 2012. Fonte: CPTEC/INPE.

O ano de 2013 se inicia com o mês de janeiro (Figura 4.6) com altos acumulados de chuva, com máximos locais na Amazônia, no Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. A mesma faixa de valores acima da média é vista no campo de anomalia. Tal fato está bem correlacionado com as informações da Tabela 4.1, dado que ocorreram três episódios de ZCAS e um de ZCOU ao longo do mês.

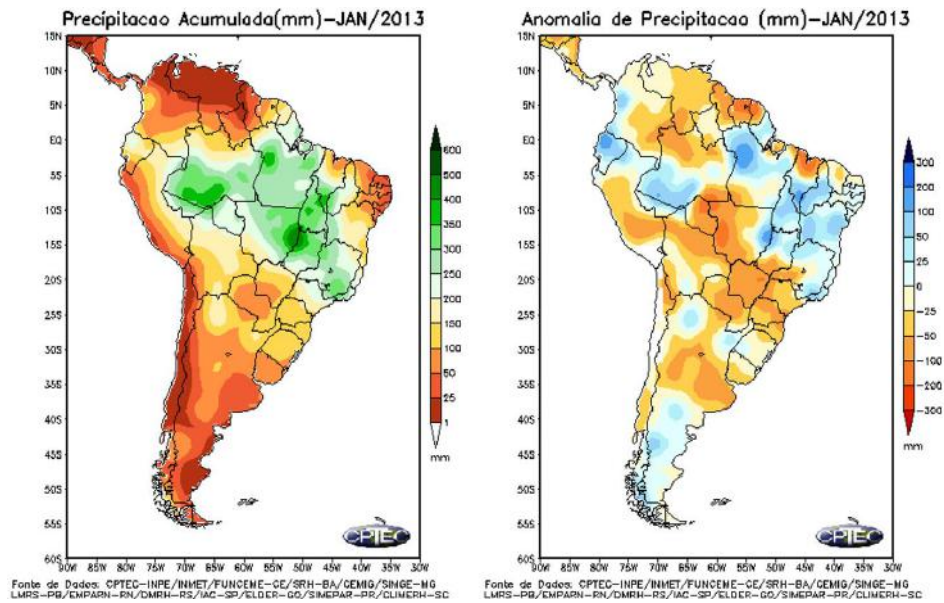


Figura 4.6 – Precipitação acumulada (mm) e anomalia de precipitação (mm) para janeiro de 2013. Fonte: CPTEC/INPE.

Durante o mês de fevereiro (Figura 4.7), os máximos de chuva ficaram concentrados na região amazônica, com um segundo máximo não tão pronunciado na divisa dos estados de São Paulo e Paraná. Apesar da ocorrência de três eventos de zonas de convergência, um de ZCAS e dois de ZCOU, as anomalias positivas de chuva estão presentes sobre o Brasil apenas na região de ocorrência dos máximos citados anteriormente, estando o restante do país com chuva abaixo da média histórica.

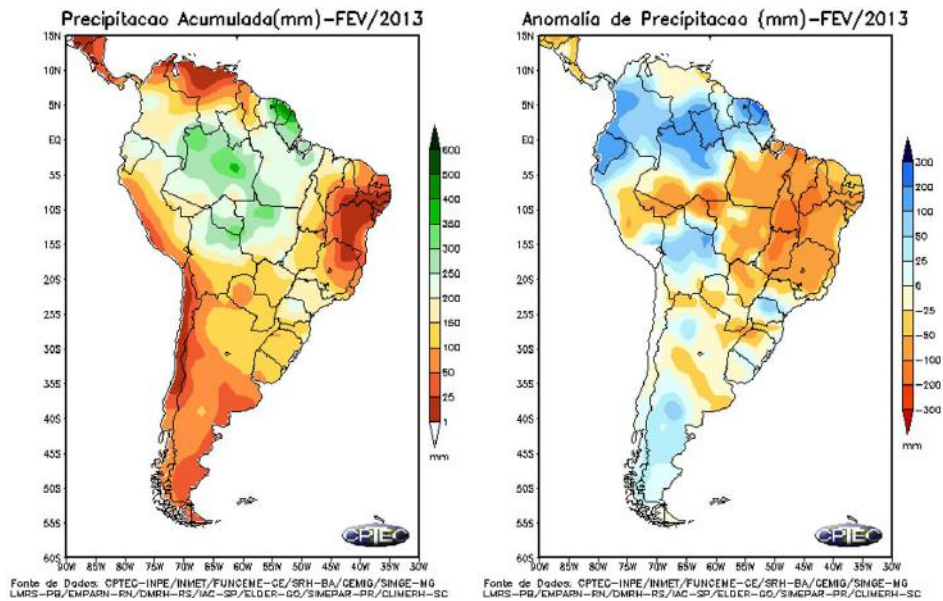


Figura 4.7 – Precipitação acumulada (mm) e anomalia de precipitação (mm) para fevereiro de 2013. Fonte: CPTEC/INPE.

O campo de precipitação volta a assemelhar-se com o climatológico durante o mês de março (Figura 4.8), com maior acumulado ainda no norte do Brasil. A produção de chuva pelos quatro episódios de zonas de convergência (três de ZCOU e um de ZCAS) não foi suficiente para manter a média climatológica, o que pode ser notado pela presença de anomalias negativas em alguns estados brasileiros, tais como o Amazonas, Rondônia, Mato Grosso e Goiás.

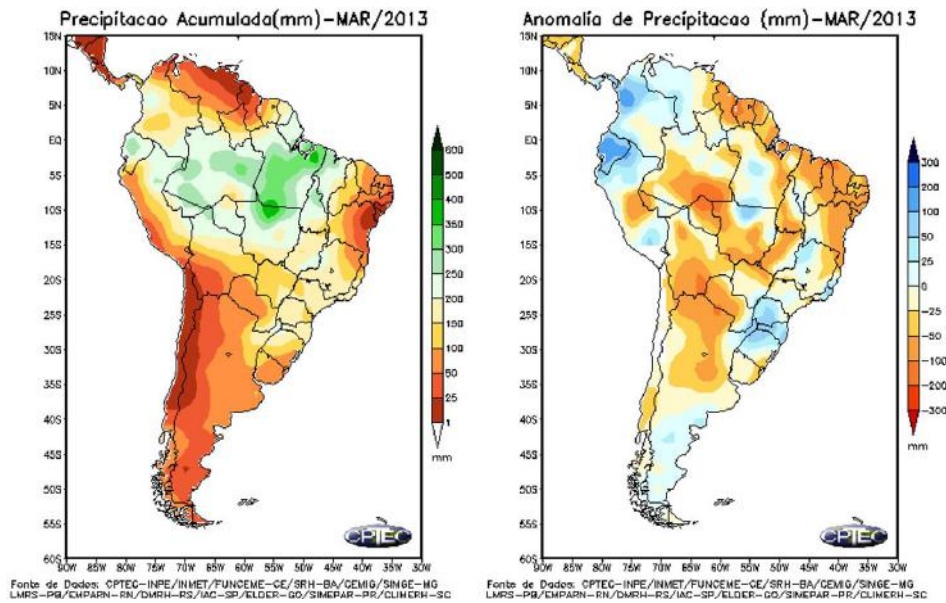


Figura 4.8 – Precipitação acumulada (mm) e anomalia de precipitação (mm) para março de 2013. Fonte: CPTEC/INPE.

Finalmente, o mês de abril (Figura 4.9), que contou apenas com um evento (ZCOU) em meados do mês, apresenta altos acumulados no norte do Brasil, entretanto não se revelou um mês chuvoso, dado pela baixa cobertura de anomalias positivas na mesma região.

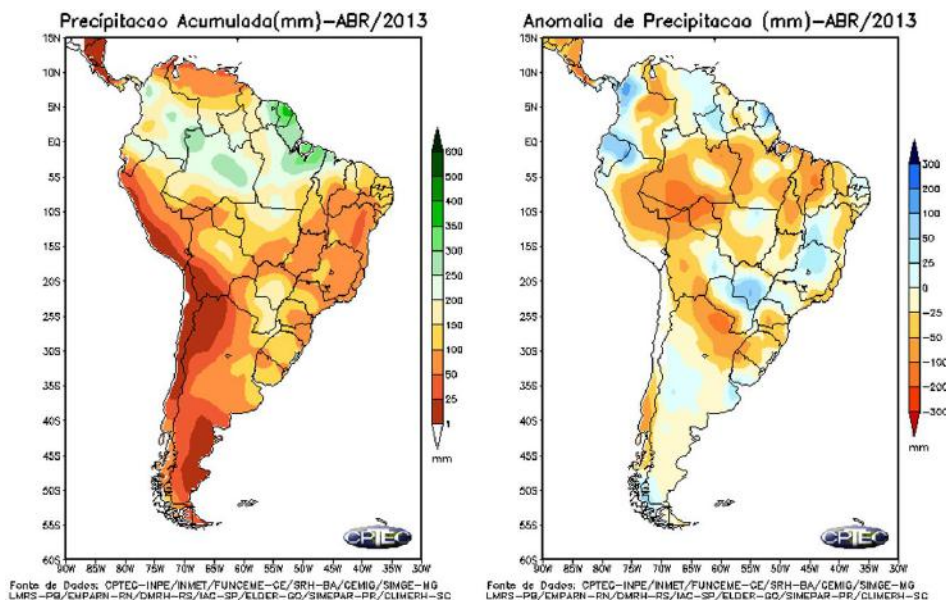


Figura 4.9 – Precipitação acumulada (mm) e anomalia de precipitação (mm) para abril de 2013. Fonte: CPTEC/INPE.

## 4.2 – ANÁLISE DINÂMICA

Apresenta-se neste tópico os campos médios de todos os períodos ativos para ZCOU e ZCAS, em comparação com casos individuais ZCAS\_1 e ZCOU\_7, referentes a análise dinâmica. Os casos escolhidos apresentaram bom resultado quando avaliados pelos critérios da Tabela 3.3, conforme será mostrado adiante.

A Figura 4.10 contém os campos de ROLE dos períodos supracitados. Nota-se um único mínimo relativo ( $<180 \text{ W.m}^{-2}$ ) no campo médio de ZCAS, ao passo que a ZCOU apresenta três mínimos ( $<190 \text{ W.m}^{-2}$ ) ao longo da orientação NW/SE, sendo tais valores maiores e, portanto, indicando convecção menos intensa que na ZCAS. Tomando-se como referência o valor de  $230 \text{ W.m}^{-2}$ , a ZCAS parece possuir uma extensão oceânica, ao passo que a ZCOU concentra-se mais sobre o continente. A ZCOU\_7 apresentou uma faixa de atuação mais concentrada durante seu período ativo, entretanto com mínimos mais diluídos ao longo da zona de convergência sobre o continente, atingindo valores, inclusive, menores que a média. Por outro lado, a ZCAS\_1 apresentou-se mais intensa (menores valores de ROLE) e mais uniforme em relação a ZCOU (com menor variabilidade espacial).

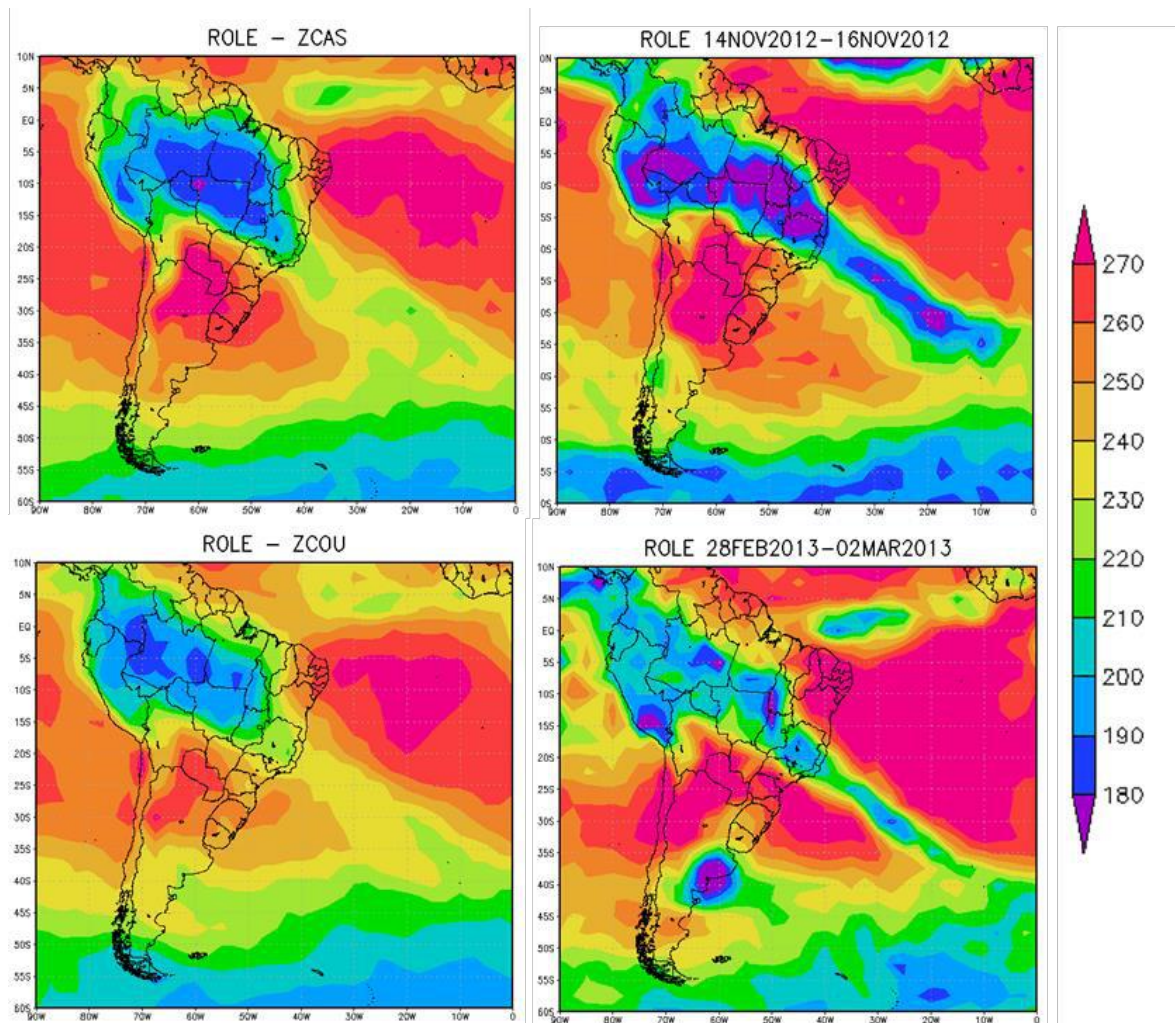


Figura 4.10 – ROLE ( $W.m^{-2}$ ). Quadros superiores: média dos períodos ativos de ZCAS (à esquerda) e caso individual ZCAS\_1 (à direita). Quadros inferiores: média dos períodos ativos de ZCOU (à esquerda) e caso individual ZCOU\_7 (à direita).

Na Figura 4.11, analisa-se o escoamento na baixa troposfera. No caso médio da ZCAS, a circulação em baixos níveis associada à borda oeste do anticiclone subtropical do Atlântico Sul conflui com os ventos equatoriais no Brasil Central, sendo defletida na direção NW/SE. Pode se identificar também um vórtice ciclônico, na divisa com a Bolívia, também associado à ZCAS. Não é possível identificar uma extensão oceânica do escoamento associado. A confluência sobre o Brasil central é vista também como convergência do vento horizontal, uma vez que há valores negativos de divergência na região referida. O caso individual da ZCAS apresenta-se similar com o caso médio, exceto pela presença de um cavado no oceano sem vórtice ciclônico associado e por

uma menor extensão espacial da região de convergência na região amazônica. O caso médio da ZCOU apresenta forte componente meridional sobre a região norte e central do Brasil. O escoamento é defletido para oeste próximo ao Paraguai, adquirindo novamente componente meridional no norte argentino. Há uma extensa região de convergência sobre o Brasil, exceto pelo litoral, onde o predomínio é de divergência do escoamento horizontal. O caso individual realça o padrão de escoamento meridional, entretanto os valores de convergência (negativos) são restritos apenas a região central do Brasil.

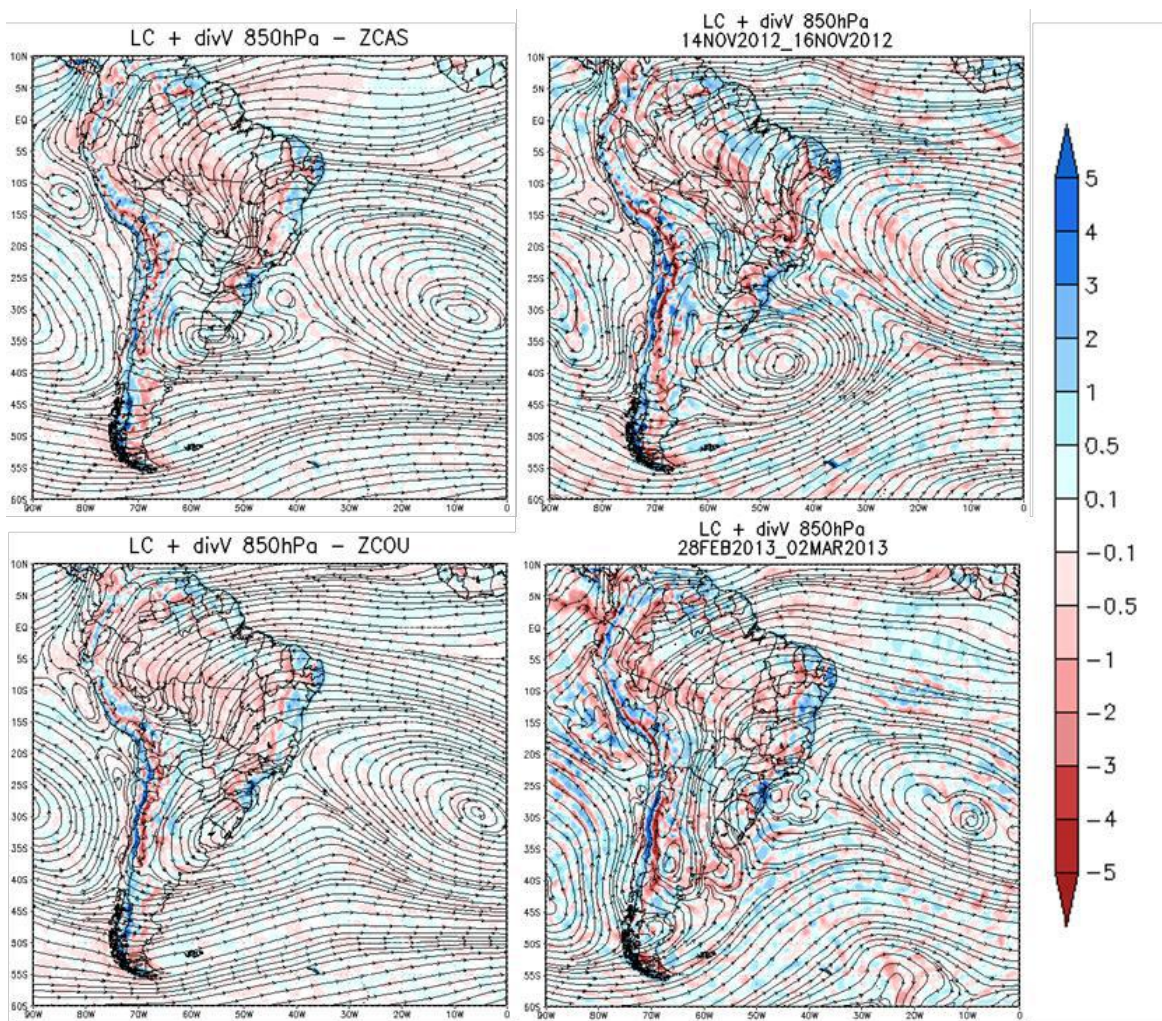


Figura 4.11 – Escoamento em linhas de corrente e divergência do vento horizontal ( $10^{-6}/s$ ) em 850 hPa. Quadros superiores: média dos períodos ativos de ZCAS (à esquerda) e caso individual ZCAS\_1 (à direita). Quadros inferiores: média dos períodos ativos de ZCOU (à esquerda) e caso individual ZCOU\_7 (à direita).

Pela análise do escoamento em níveis médios (Figura 4.12), no caso médio da ZCAS, uma região de circulação ciclônica atua sobre o centro-sul brasileiro, com ligeira inclinação para oeste. Sobre a região amazônica, estendendo-se até o oceano Atlântico Sul, no litoral da região Sudeste, há uma faixa de movimento vertical ascendente, dado por valores negativos da velocidade vertical  $\omega$ . Tal fator está associado à convecção presente na zona de convergência. Já no caso da ZCOU, nota-se uma região de circulação anticiclônica na Bolívia, uma região ciclônica, associada a um cavado de pouca amplitude com eixo sobre a região Sudeste do Brasil e novamente uma circulação anticiclônica no Oceano Atlântico Sul. Estendendo-se desde o sul da Amazônia até o litoral da região Sudeste, há uma faixa de movimento vertical ascendente. A amplitude e a inclinação do cavado é maior na ZCAS, tal aspecto induz consequências dinâmicas diretas no movimento vertical descendente na retaguarda do sistema. Analisando ambos os casos individuais, percebe-se que o movimento vertical é mais intenso do que os valores médios, principalmente sobre o continente. Além do mais, a ZCOU\_7 apresenta uma faixa mais estreita de movimento vertical ascendente em comparação com a ZCAS\_1. A circulação ciclônica associada ao cavado a leste dos Andes tem maior amplitude na ZCAS\_1 do que na ZCOU\_7. É possível observar também que tanto no caso médio, quanto nos casos individuais, o movimento ascendente é mais intenso e organizado na ZCAS do que na ZCOU.



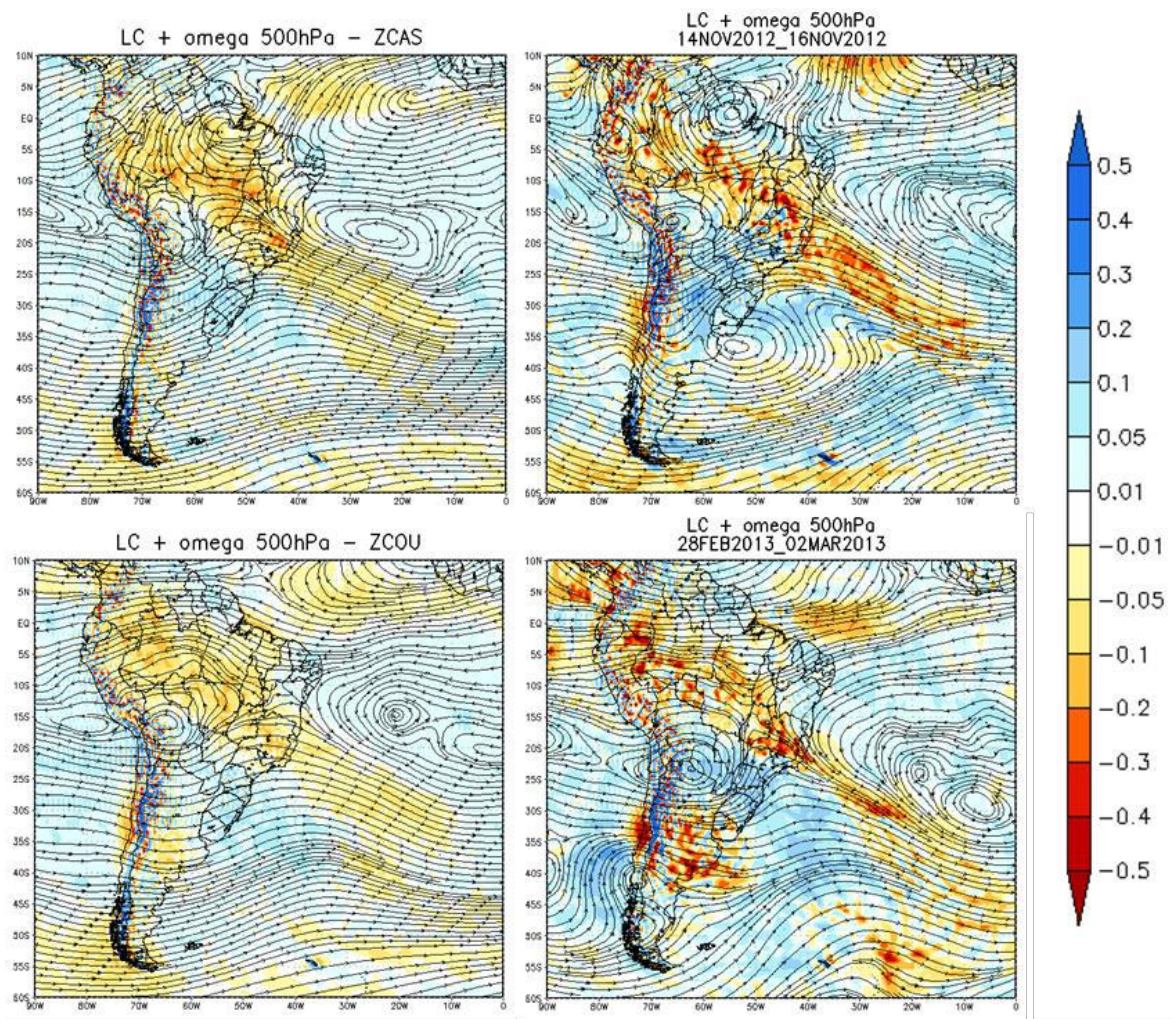


Figura 4.12 - Escoamento em linhas de corrente e velocidade vertical  $\omega$  (Pa/s) em 500 hPa. Quadros superiores: média dos períodos ativos de ZCAS (à esquerda) e caso individual ZCAS\_1 (à direita). Quadros inferiores: média dos períodos ativos de ZCOU (à esquerda) e caso individual ZCOU\_7 (à direita).

Finalmente, a Figura 4.13 revela o comportamento na alta troposfera. No caso da ZCAS, a circulação anticiclônica associada à AB aparece centrada a sul da região amazônica, conectando-se com um vórtice ciclônico de altos níveis, a leste da região nordeste do Brasil. Uma faixa de divergência horizontal aparece na orientação esperada da ZCAS, estendendo-se desde a região norte do Brasil até o Oceano Atlântico Sul. Tal faixa está em fase com a região de movimento vertical vista em níveis médios e indica conservação de massa atmosférica, uma vez que está ocorrendo convergência em baixos níveis. No caso individual, há uma extensa área de divergência ao longo da orientação

NW/SE e a AB encontra-se posicionada próxima a média (mais ao norte). Não nota-se uma grande amplitude da curvatura ciclônica a leste da região nordeste do Brasil. Para a ZCOU, a circulação relativa a AB também está centrada a sul da Amazônia, porém a leste da posição da ZCAS, e com CN associado, cujo eixo encontra-se sobre o Oceano Atlântico. Devido à presença do sistema anticiclônico, há forte divergência sobre a região Norte do Brasil, com uma estreita faixa de valores menos intensos estendendo-se até o litoral da região Sudeste. Já no caso individual, a AB encontra-se sobre a Bolívia e há um VCAN a leste do nordeste brasileiro. Há valores positivos de divergência do vento horizontal praticamente sobre todo o Brasil central e ao longo da orientação NW/SE na extensão oceânica. Por fim, é interessante observar como a configuração da AB e do CN está ligeiramente melhor caracterizada no caso da ZCOU.

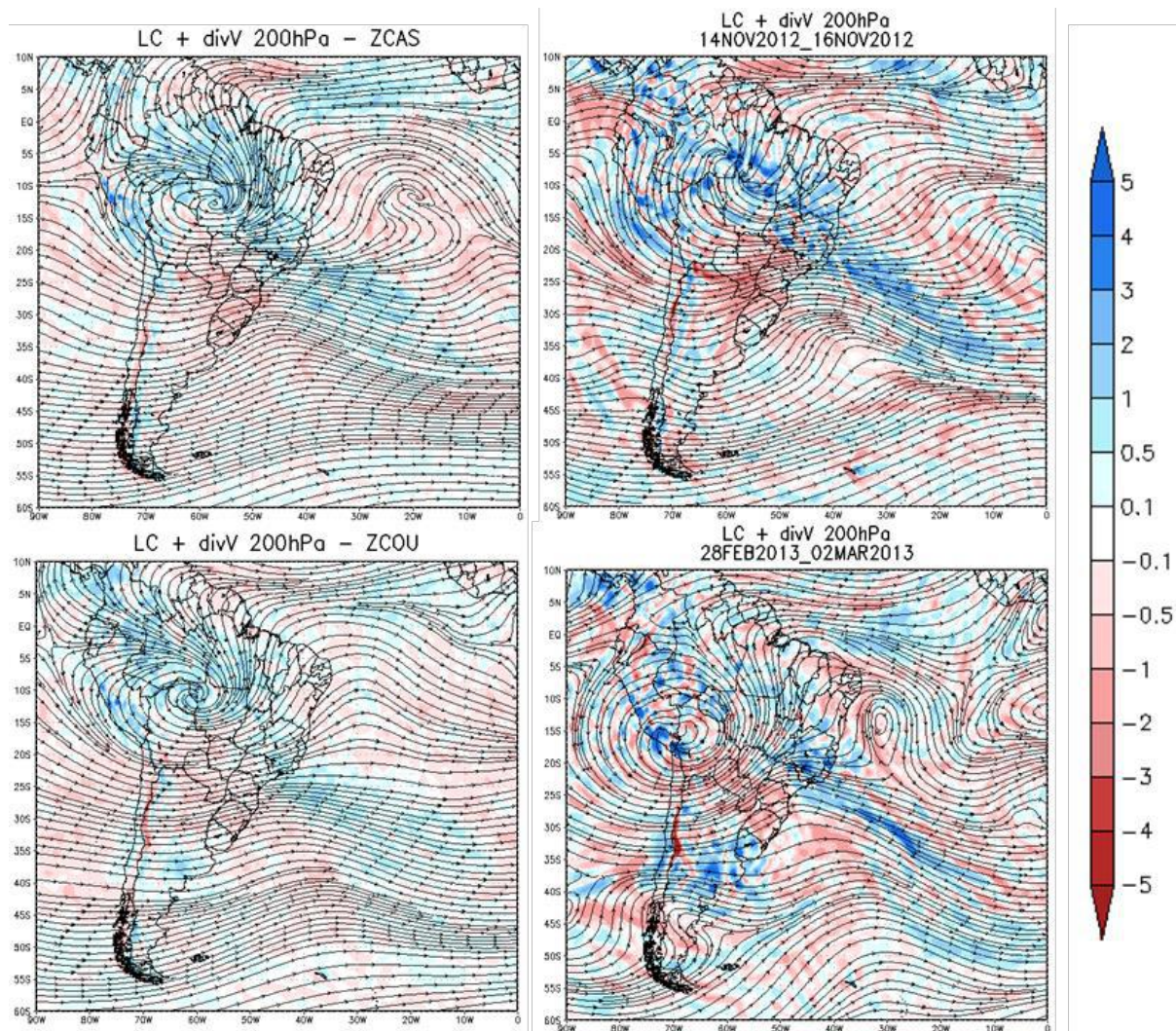


Figura 4.13 - Escoamento em linhas de corrente e divergência do vento horizontal ( $10^{-6}/s$ ) em 200 hPa. Quadros superiores: média dos períodos ativos de ZCAS (à esquerda) e caso individual ZCAS\_1 (à direita). Quadros inferiores: média dos períodos ativos de ZCOU (à esquerda) e caso individual ZCOU\_7 (à direita).

Em seguida, foram aplicados os critérios apresentados no capítulo anterior para estudo dos períodos ativos das zonas de convergência. Utilizou-se apenas a classificação ‘S’ (sim) e ‘N’ (não) para indicar se o critério era atendido pelo episódio ou não.

A Tabela 4.2 mostra o resultado para os episódios de ZCAS.

Tabela 4.2 – Avaliação dos critérios nos episódios de ZCAS.

CRITÉRIO	ZCAS						
	1	2	3	4	5	6	7
1	S	S	S	S	S	S	N
2	S	S	S	S	S	N	S
3	S	S	S	N	S	N	S
4	S	N	S	N	N	S	N
5	S	S	S	N	S	S	S
6	S	S	S	S	S	S	S
7	S	S	S	N	S	S	S

Já a Tabela 4.3, mostra os resultados para os episódios de ZCOU.

Tabela 4.3 – Avaliação dos critérios nos episódios de ZCOU.

CRITÉRIO	ZCOU										
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
1	S	S	S	N	S	N	S	N	S	S	S
2	S	S	S	N	S	S	S	N	S	S	N
3	S	S	S	S	S	N	S	S	S	S	N
4	N	N	S	S	S	N	N	S	S	S	S
5	S	S	S	N	S	N	N	S	S	S	S
6	S	S	S	S	S	N	S	S	S	S	S
7	S	N	S	S	N	S	S	S	S	S	S

A circulação na troposfera média é essencial para a formação e manutenção das zonas de convergência, como mencionado no capítulo 2, uma vez que a presença do cavado dá o suporte dinâmico a formação das bandas de nebulosidade. No entanto, o critério 4, relativo a circulação na média troposfera, apresentou o pior resultado quando foram analisados os períodos ativos dos casos individuais. Em contrapartida, a circulação em níveis superiores (critério 6) apresentou-se com comportamento satisfatório, sendo o critério mais atendido tanto na ZCAS quanto na ZCOU.

Com base nos resultados das tabelas anteriores, de modo a facilitar o entendimento, contabilizou-se o número de critérios atendidos por cada episódio de ZCAS e ZCOU (Figura 4.14). Em seguida, computou-se o número de casos que atendiam a um número de critérios (Figura 4.15).

A Figura 4.14 indica quantos episódios de zona de convergência (períodos ativos) obedeceram a cada critério em particular. No caso da ZCAS, todos os casos apresentaram o padrão esperado de escoamento em altos níveis, dado pelo critério 6. Por outro lado, mais da metade dos casos não apresentou comportamento adequado no escoamento da troposfera média (critério 4). Para os demais critérios, mais de 70% dos episódios apresentaram as características esperadas. No caso da ZCOU, o comportamento foi positivo para a mais de 60% dos episódios em todos os critérios, sendo o melhor resultado, novamente, a circulação na alta troposfera e o pior, a circulação em níveis médios.

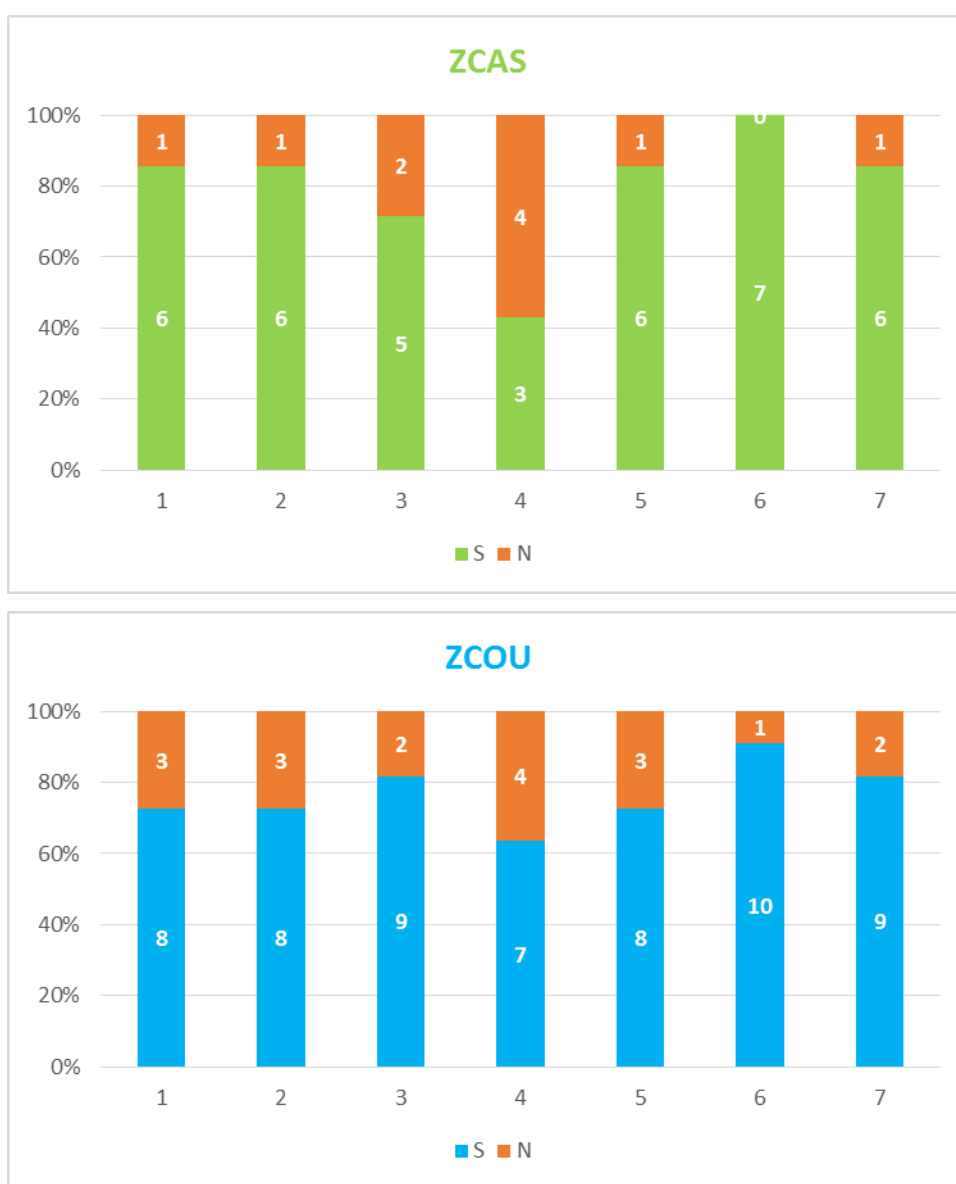


Figura 4.14 – Número de episódios de ZCAS e de ZCOU que atingiram o critério.

Os gráficos da Figura 4.15 revelam a quantidade de critérios alcançados pelos episódios. No caso da ZCAS, apenas dois episódios (ZCAS\_1 e ZCAS\_3) atingiram os sete critérios previamente estabelecidos, ao passo que no caso da ZCOU, três episódios (ZCOU\_3, ZCOU\_9 e ZCOU\_10) atingiram a totalidade de critérios.

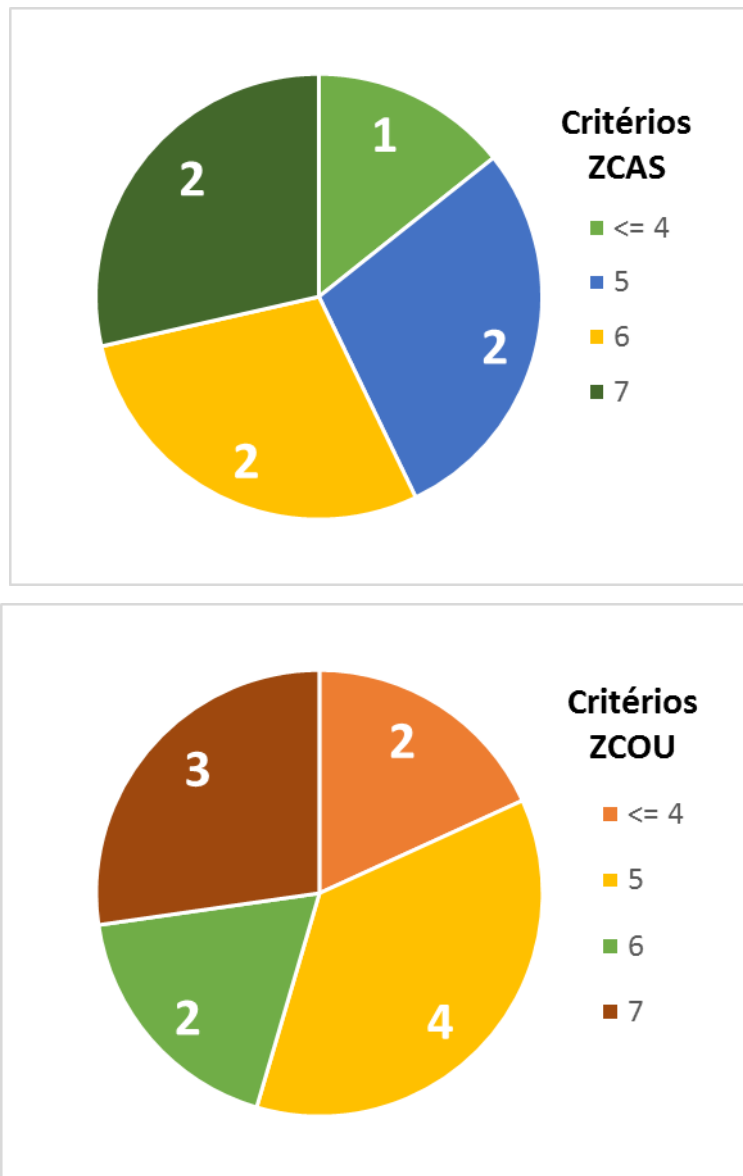


Figura 4.15 – Percentual de critérios atingidos individualmente pelos episódios de ZCAS (superior) e de ZCOU (inferior).

## 4.2 – FLUXO DE UMIDADE

Apresenta-se neste tópico os campos médios de todos os períodos ativos para ZCOU e ZCAS, em comparação com casos individuais ZCAS\_1 e ZCOU\_7, referentes aos fluxos de umidade associados aos sistemas.

Pela análise da Figura 4.16, no caso médio da ZCAS surgem duas regiões de confluência sobre o continente, uma na divisa dos estados de Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e outra na divisa de Minas Gerais com São Paulo. Já na ZCOU, o escoamento conflui apenas no centro-oeste brasileiro. De maneira geral, as regiões de convergência de umidade não se apresentam tão bem configuradas no continente quanto no oceano. A convergência do fluxo de umidade aparece como uma banda dupla oceânica no caso da ZCAS e como uma banda única no caso da ZCOU. Os casos individuais mostraram-se mais intensos que a média e com uma extensão oceânica do fenômeno melhor organizada. Nota-se em todos os casos que o fluxo de umidade no continente é alimentando principalmente pelo ramo oriental do transporte da ASAS e dos ventos equatoriais. Outro ponto importante de destaque são os valores negativos presentes em praticamente toda a costa brasileira, indicando convergência do fluxo ao adentrar o continente.

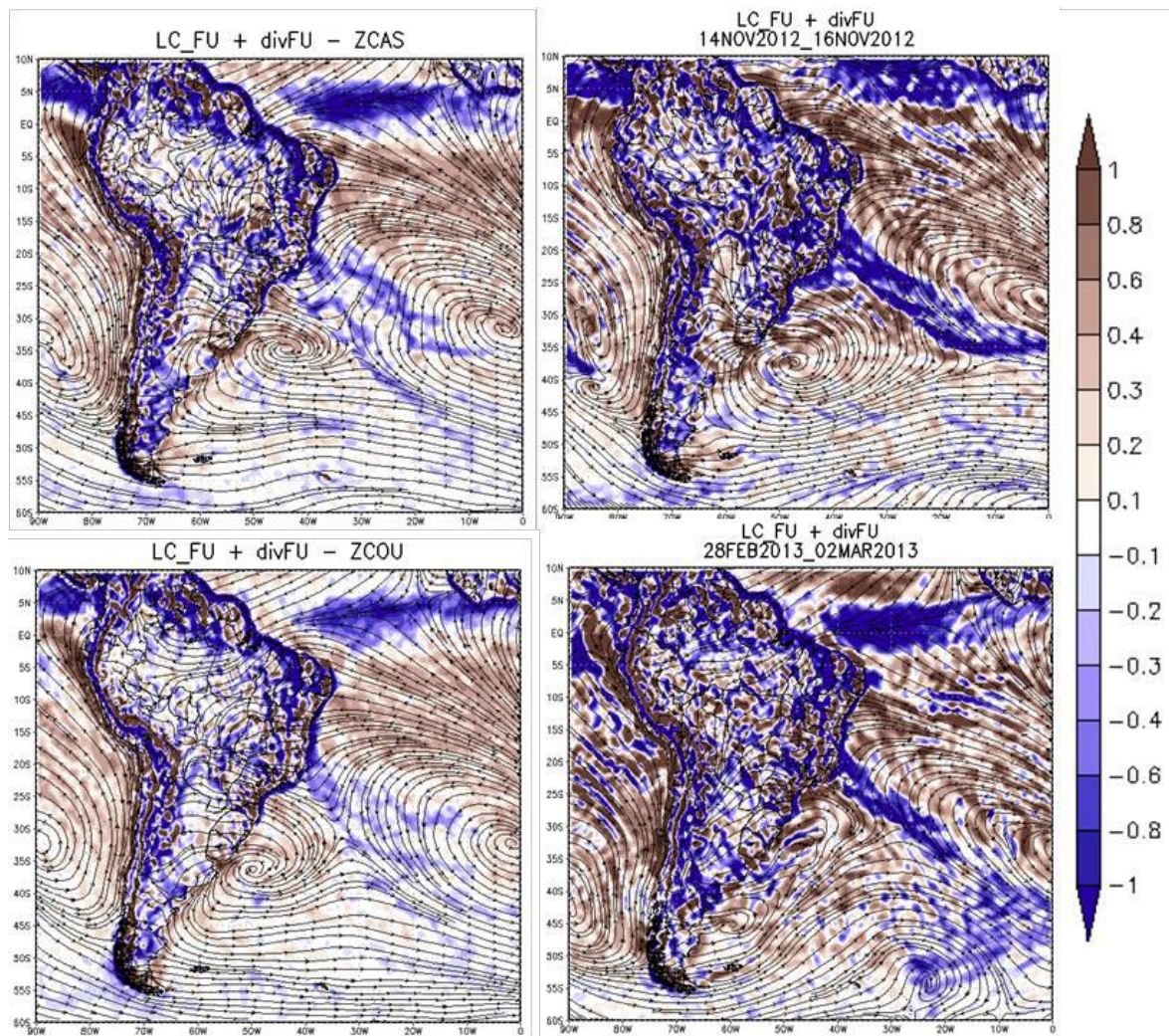


Figura 4.16 – Linhas de corrente de fluxo de umidade ( $\text{kg}\cdot\text{m}^{-1}\cdot\text{s}^{-1}$ ) e divergência do fluxo de umidade integrado verticalmente ( $10^{-6}\cdot\text{kg}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{s}^{-1}$ ). Quadros superiores: média dos períodos ativos de ZCAS (à esquerda) e caso individual ZCAS\_1 (à direita). Quadros inferiores: média dos períodos ativos de ZCOU (à esquerda) e caso individual ZCOU\_7 (à direita).

A Figura 4.17 apresenta o saldo do fluxo de umidade na região A1. Tanto nos casos médios, quanto nos individuais selecionados apontam-se características comuns: a fronteira norte, leste e oeste possuem contribuição positiva para o saldo do fluxo de umidade, sendo a fronteira norte a de maior magnitude; a fronteira sul possui contribuição negativa para o saldo do fluxo de umidade; a fronteira oeste é a de menor contribuição (uma ordem de grandeza a menos que as fronteiras norte e leste); e, por fim, o próprio saldo é positivo, indicando acúmulo de umidade na região de interesse. A ZCOU aparece com maior acúmulo de umidade na região amazônica tanto na média,



quanto nos casos individuais. Na média, a fronteira norte possui maior contribuição na ZCAS do que na ZCOU, ao passo que a fronteira leste apresenta maior magnitude na ZCOU do que na ZCAS.

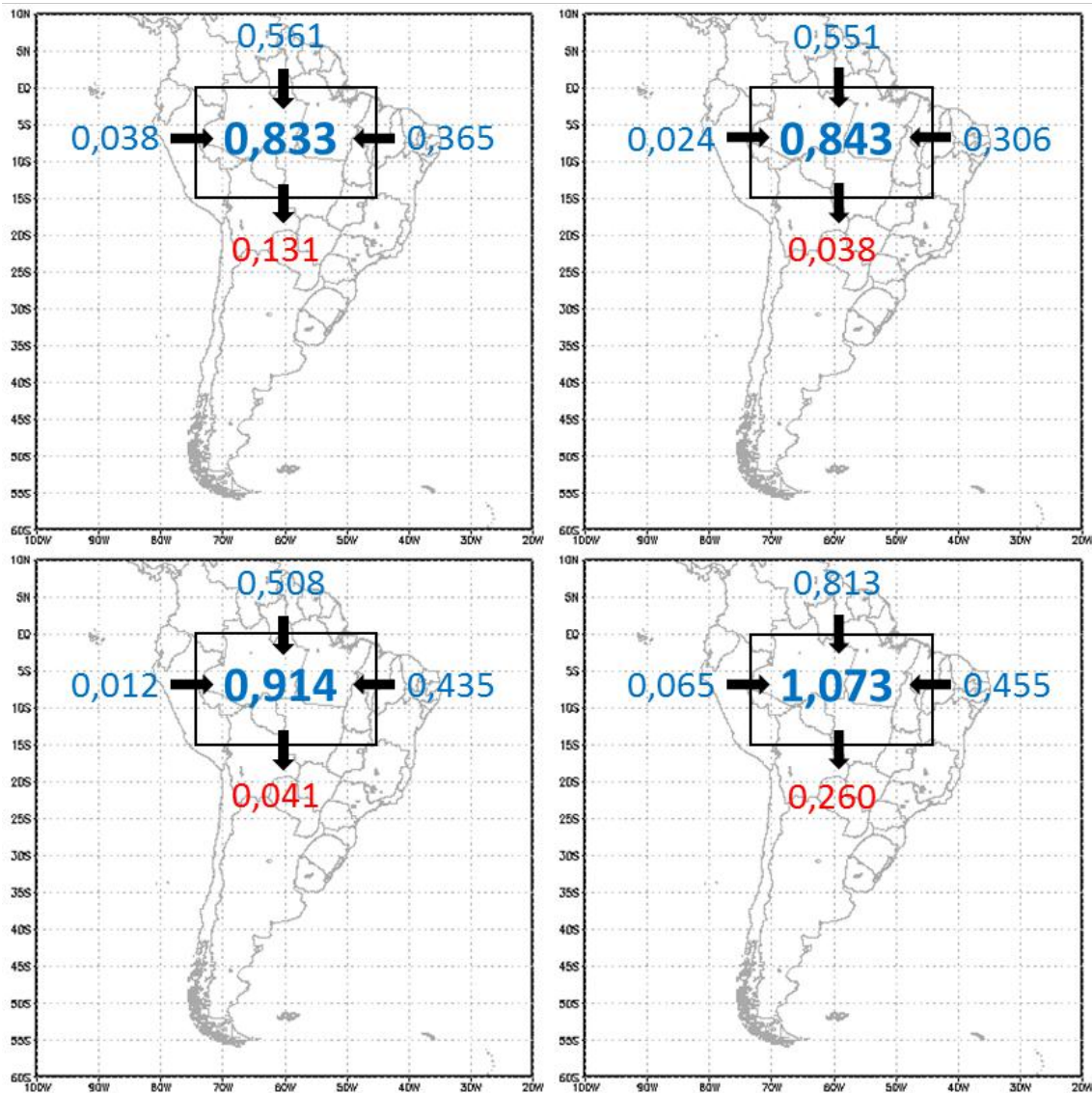


Figura 4.17 – Representação esquemática das contribuições das fronteiras norte, sul, leste e oeste e saldo do fluxo de umidade ( $10^7 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ) no centro da caixa representativa de A1. Quadros superiores: média dos períodos ativos de ZCAS (à esquerda) e caso individual ZCAS\_1 (à direita). Quadros inferiores: média dos períodos ativos de ZCOU (à esquerda) e caso individual ZCOU\_7 (à direita).

Já a Figura 4.18 apresenta o saldo do fluxo de umidade na região A2. Neste caso também podem ser destacadas características presentes em todos os quadros: as fronteiras norte, leste e sul apresentam contribuição positiva para o saldo do fluxo de umidade e o próprio saldo é positivo em todos os casos. Para os casos médios desta região, a fronteira leste possui a maior magnitude de contribuição para o saldo e a oeste, negativa. É válido ressaltar a magnitude de SFU no caso médio da ZCOU, uma ordem de grandeza superior ao da ZCAS. Nos casos individuais selecionados, as características diferiram um pouco em relação à média, por exemplo: a contribuição de maior magnitude na ZCAS\_1 é a fronteira sul ao passo que na ZCOU\_7 é a fronteira leste. Todas as fronteiras da ZCAS\_1 tiveram contribuição positiva, enquanto que na ZCOU\_7, sul e oeste apresentaram valores negativos. O SFU na ZCAS\_1 foi cerca de 2,5 vezes maior que na ZCOU\_7.

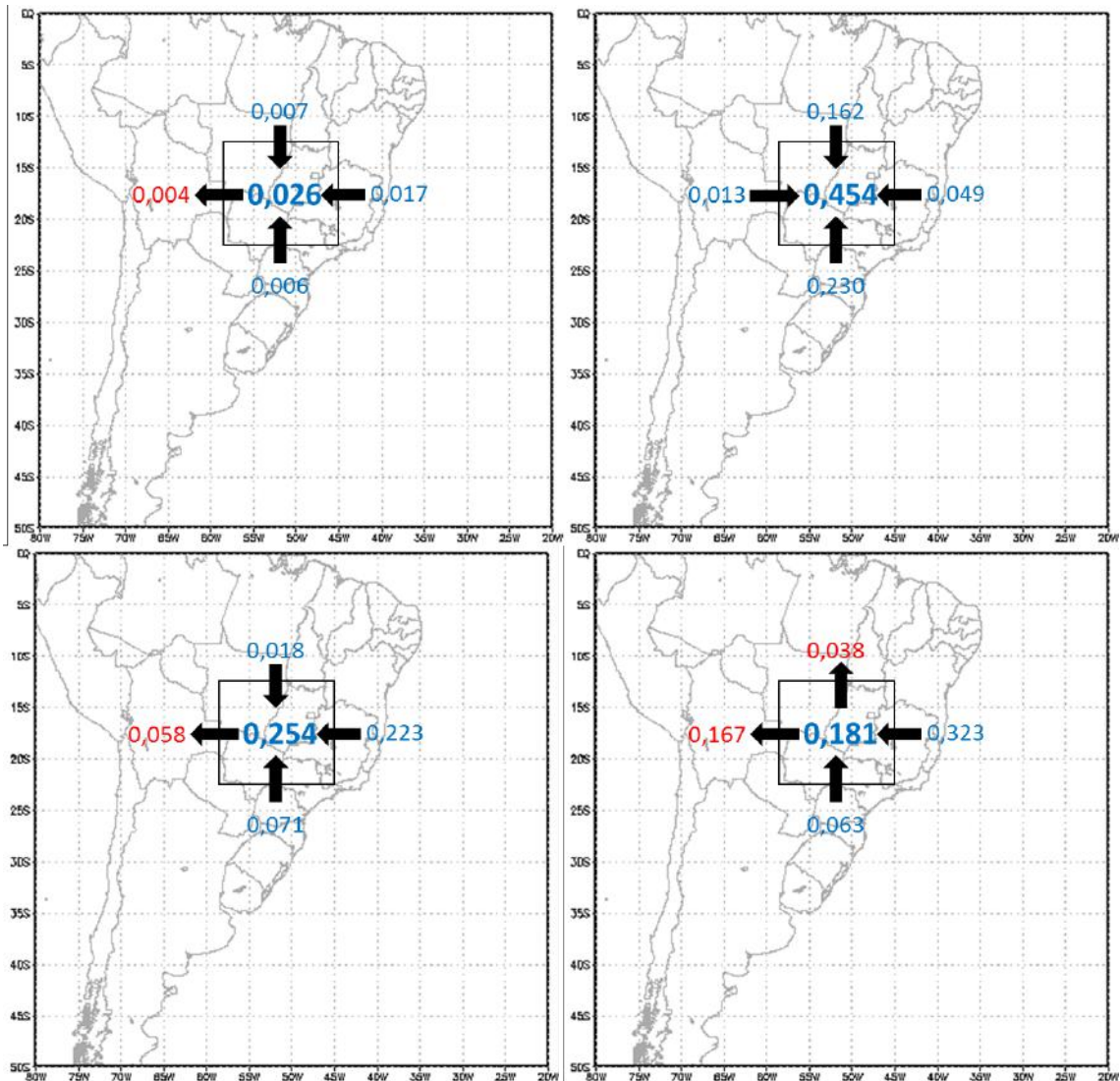


Figura 4.18 – Idem a 4.17, exceto para A2.

Os gráficos a seguir presentes nas Figuras 4.19 e 4.20 mostram a série temporal do SFU em A1 e A2, respectivamente. A linha mais espessa na cor roxa indica o valor de SFU, a linha verde representa média móvel de 10 dias da série e a linha tracejada em verde indica o ajuste linear dos dados. Para facilitar a compreensão do gráfico, aparecem em colunas os períodos ativos dos episódios de ZCAS (verde claro) e ZCOU (azul claro).

A análise da Figura 4.19 revela que, durante os sete meses de estudo, o SFU apresenta-se praticamente positivo na região A1, realçando a importância do aporte de umidade na região amazônica para os processos físicos e meteorológicos. Os picos dos gráficos acontecem próximo ou justamente durante o período ativo de zonas de convergência, a exemplo da ZCOU\_1, ZCOU\_6 e ZCAS\_6. Verifica-se também um

aumento do SFU ao longo do período de estudo, pelo valor positivo da inclinação do ajuste linear. Pode-se inferir através da curva da média móvel uma oscilação quase mensal nos valores de SFU.

Analisado a Figura 4.20, o cenário torna-se um pouco diferente. Constatase que tanto valores positivos como valores negativos aparecem próximos ou durante o período ativo das zonas de convergência. Alguns máximos relativos positivos podem ser notados, como na ZCOU\_4, ZCOU\_5, ZCOU\_8, ZCAS\_1 e ZCAS\_3. Cabe aqui o destaque para máximo negativo, que ocorre justamente durante a ZCAS\_2. Este caso, em especial apresentou forte contribuição negativa na fronteira sul, seguida da fronteira oeste, dando assim o sinal negativo do SFU. A curva da média móvel permite inferir uma ciclo sazonal de cerca de 2 meses, ao passo que o valor negativo da inclinação da linha de tendência linear implica em uma diminuição do acúmulo de umidade na região ao longo do período.

Por fim, foi computada a parcela de precipitação em função da convergência de umidade ( $P_u$ ). As Figura 4.21 e 4.22 indicam tal variável para os períodos ativos de ZCAS e ZCOU, respectivamente.

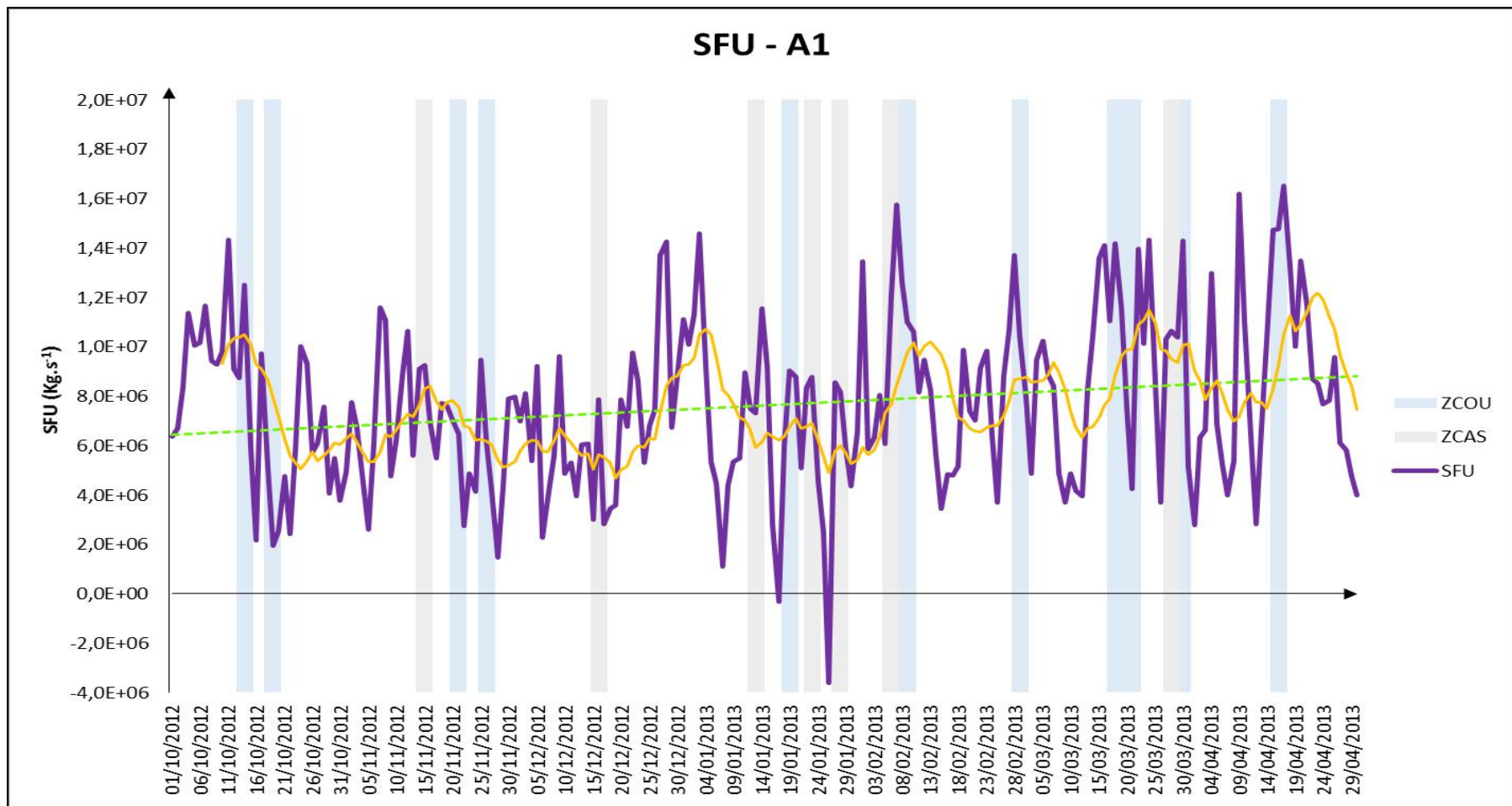


Figura 4.19 – Série temporal do saldo do fluxo de umidade (SFU) em A1. Linha contínua espessa roxa indica o SFU, linha contínua laranja é a média móvel de 10 dias e a linha tracejada verde indica o ajuste linear.

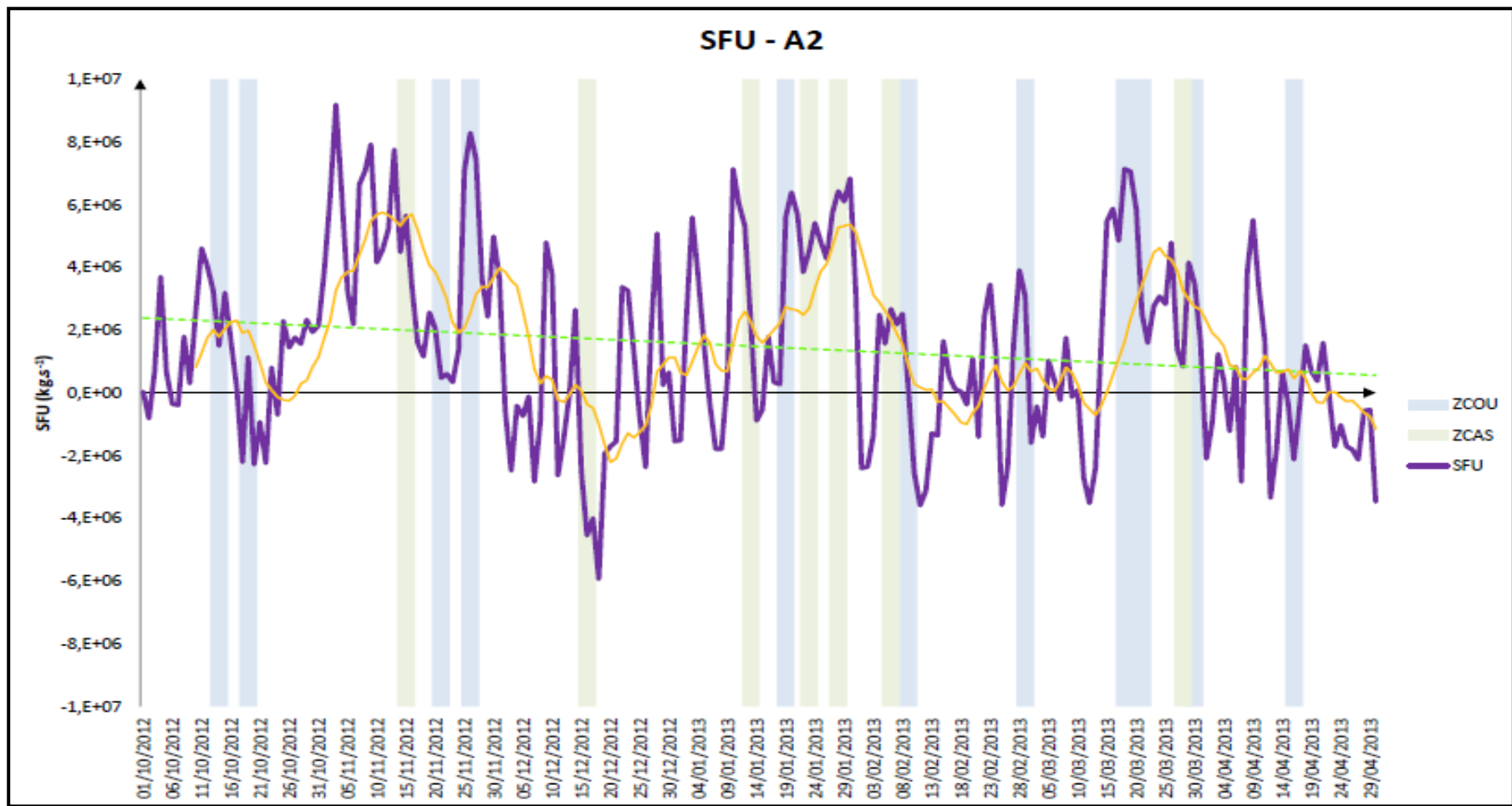


Figura 4.20 – Idem a 4.19, exceto para A2.

Pela análise da Figura 4.21, à exceção da ZCAS\_2 (A2), todos os valores do gráfico são positivos, inclusive a média, o que indica contribuição positiva da convergência de umidade para a precipitação nos casos de ZCAS. Apesar de A1 e A2 diferirem quanto às suas dimensões, os valores médios da parcela de umidade para geração de chuva ( $P_u$ ) apresentam pouca diferença, sendo o valor de A2 maior que A1. A contribuição máxima do período ocorreu durante a ZCAS\_5 (421,02 mm/dia), para A2, e durante a ZCAS\_6 (216,92 mm/dia), para A1. As menores contribuições ocorreram durante a ZCAS\_4 (138,92 mm/dia), para A2, e durante a ZCAS\_2 (87,96 mm/dia), para A1.



Figura 4.21 – Parcela de precipitação em função do aporte de umidade ( $P_u$ ) para os períodos ativos de ZCAS.

Já na Figura 4.22, dois eventos aparecem com contribuições negativas (ZCOU\_2 e ZCOU\_11) na A2, sendo o restante dos valores positivos. As médias das áreas mostraram-se idênticas, apesar de variarem significativamente caso a caso. A contribuição máxima do período ocorreu durante a ZCAS\_5 (421,02 mm/dia), para A2, e durante a ZCAS\_6 (216,92 mm/dia), para A1. As menores contribuições ocorreram durante a ZCAS\_4 (138,92 mm/dia), para A2, e durante a ZCAS\_2 (87,96 mm/dia), para A1.

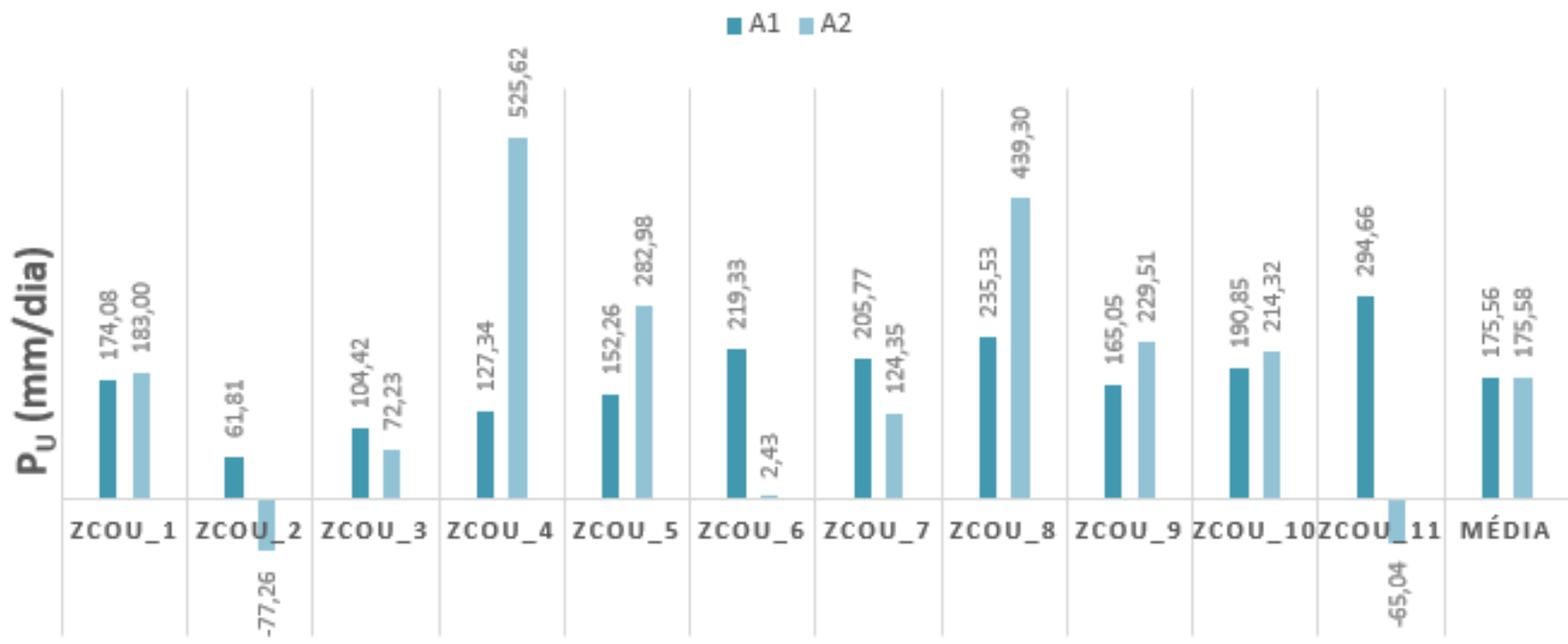


Figura 4.22 – Parcela de precipitação em função do aporte de umidade (P<sub>u</sub>) os períodos ativos de ZCOU.



## **CAPÍTULO V**

### **CONSIDERAÇÕES FINAIS**

#### **5.1 – CONCLUSÕES**

Ao longo do desenvolvimento desta pesquisa, buscou-se entender as diferenças entre episódios de ZCAS e ZCOU, tomando como base de estudo o período compreendido entre outubro de 2012 a abril de 2013. Foram avaliados aspectos tais como: frequência e tempo de duração, circulação em diferentes níveis da atmosfera, divergência do vento em baixos e altos níveis, movimento vertical em níveis médios, ROLE, fluxo de umidade integrado verticalmente e sua divergência e, por fim, balanço do fluxo de umidade em diferentes regiões de interesse.

Episódios de ZCOU mostraram-se mais frequentes que os de ZCAS e por um período maior de meses. Entretanto, a ZCAS permanece como o fenômeno de maior tempo de duração (em dia), quando de sua ocorrência. Verificou-se que anomalias positivas de precipitação mensais estiveram bem correlacionadas com a atuação das zonas de convergência, principalmente na região amazônica. Desses episódios, apenas dois de ZCAS e três de ZCOU atenderam a totalidade dos critérios pré-estabelecidos durante seus períodos ativos. A circulação em 200 hPa (critério 6) mostrou-se coerente com o esperado em quase todos os casos estudados.

Constatou-se um padrão mais intenso e uniforme de convecção na ZCAS do que na ZCOU, pela análise do campo de ROLE. O escoamento na baixa troposfera mostrou-se com forte componente meridional para a ZCOU, enquanto que a confluência na ZCAS ocorreu na direção NW/SE, com vórtice ciclônico associado, inclusive. Apesar do sinal negativo no campo de divergência, não pode-se notar diferenças significativas quanto a distribuição espacial e intensidade. A circulação em níveis médios revela a presença de uma circulação ciclônica (associada a um cavado a leste dos Andes) que dá sustentação dinâmica aos sistemas. No caso da ZCAS, o cavado aparece com maior amplitude e eixo sobre a região centro-oeste. Já na ZCOU, o cavado possui uma amplitude menor e eixo na região Sudeste. O movimento vertical nesse nível esteve mais forte no caso da ZCAS. Finalmente, na troposfera superior, a circulação anticiclônica da AB esteve presente em ambos os fenômenos com centro posicionado

sobre o estado de Rondônia. Também presente em ambos os casos esteve a circulação ciclônica do CN sobre o oceano Atlântico, a leste da região nordeste do Brasil.

Os fluxos de umidade não demarcaram a presença de uma região bem organizada de zona de convergência sobre o continente, aparecendo no oceano uma banda dupla no caso da ZCAS, ao passo que uma região única aparece na ZCOU. Tal canalização é atribuída a passagem de sistemas transientes no período de estudo. As duas regiões de confluência no centro-sul do Brasil motivaram a avaliação do fluxo de umidade através das fronteiras da região A2. A maior contribuição vem das fronteiras norte e leste, sendo que a o acúmulo de umidade é maior, em média, na ZCOU. Tal resultado foi confirmado tanto para A1, quanto para A2. A série temporal mostrou variação sazonal diferenciada nas duas regiões, bem como o ajuste linear. Enquanto em A1, o acúmulo de umidade aumentou ao longo do período, a variável apresentou redução em A2. A parcela de umidade disponível para precipitação em função do transporte foi praticamente idêntico em ambas as regiões, sendo da mesma ordem de grandeza tanto na ZCAS, quanto na ZCOU.

## 5.2 – SUGESTÃO PARA TRABALHOS FUTUROS

Não se discursou sobre a questão termodinâmica envolvida na formação e manutenção da ZCAS e da ZCOU, onde variáveis como a temperatura potencial equivalente e fontes diabáticas de calor podem ser empregadas para ajudar na diferenciação dos episódios.

A metodologia dos períodos ativos pode mascarar aspectos essenciais no entendimento da formação da ZCOU, sendo necessário que se expanda a análise para todos os dias de ocorrência do fenômeno. Um detalhamento sinótico maior também é requerido, uma vez que muitos casos não ocorrem isolados no tempo, como pode ser visto na tabela de eventos.

O meio operacional ainda carece de um método objetivo mais simples que permita ao previsor meteorológico prognosticar o fenômeno de maneira correta. Todavia, uma análise climatológica torna-se necessária para que a circulação atmosférica associada a ZCOU seja melhor entendida.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARRAUT, J. M.; SATYAMURTY, P. Precipitation and water vapor transport in the southern hemisphere with emphasis on the South American region. **Journal of Applied Meteorology and Climatology**, v.48, p. 1902-1912, 2009.
- CARVALHO, L. M. V., JONES, C., LIEBMANN, B. Extreme precipitation events in southeastern South America and large-scale convective patterns in the South Atlantic convergence zone. **Journal of Climate**, v. 15, p. 2377–2394, 2002.
- CARVALHO, L. M. V., JONES, C., LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, p. 88–108, 2004.
- CONTADOR, C. S.; NIELSEN, D. M.; SMIRDELE, O. S. M.; CATALDI, M.; MASSERA DA HORA, M. A. G. Avaliação da Influência da Umidade na Primavera da Região Amazônica na Ocorrência da ZCAS. In: V Simpósio Internacional de Climatologia, Florianópolis – SC, 2013.
- COUTINHO, M. D. L.; LIMA, C. K.; SANTOS E SILVA, C. M. Flow moisture to the past, present and future climate over South America. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 16, n. 4, p. 945–958, 2013.
- FERRAZ, S. E. T.; AMBRIZZI, T. Caracterização da zona de convergência do Atlântico Sul (ZCAS) em dados de precipitação. In: XIV Congresso Brasileiro de Meteorologia, Florianópolis – SC, 2006.
- FERREIRA, N. J.; PEREIRA, V. M.; FLORESTA, V. G. S. Considerações sobre a circulação atmosférica da alta troposfera durante o verão da América do Sul. In: X Congresso de Meteorologia, Brasília – DF, 1998.

- FERREIRA, N. J.; SANCHES, M.; SILVA DIAS, M. A. F. Composição da Zona de Convergência do Atlântico Sul em Períodos de El Niño e La Niña. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.19, n.1, p.89-98, 2004.
- FIGUEROA, S. N.; SATYAMURTY, P.; SILVA DIAS, P. L. Simulations of the summer circulation over the South American region with an Eta coordinate model. **J. Atmos. Sci.**, v. 52, p. 1573-1584, 1995.
- FIGUEROA, S. N. Estudo dos sistemas de circulação de verão sobre a América do Sul e suas simulações com modelos numérico, 1997. 181 f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos (INPE-7121 - TDI/672).
- HERDIES, D. L.; DA SILVA, A.; SILVA DIAS, M. A. F; NIETO FERREIRA, R. The Moisture Budget of the Bimodal Pattern of the Summer Circulation over South America. **Journal of Geophysical Research**, Washington-DC, v. 107, n. D20, 8075, doi:10.1029/2001JD000997, 2002.
- JONES, C.; CARVALHO, L. M. V. Active and Break Phases in the South American Monsoon System. **Journal of Climate**, v. 15, p. 905-914, 2002.
- KODAMA, Y. Large-scale common features of subtropical precipitation zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ). Part I: Characteristics of subtropical frontal zones. **J. Meteor. Soc. Japan.**, v. 70, p. 813–835, 1992.
- KODAMA, Y. Large-scale common features of subtropical convergence zones (the Baiu frontal zone, the SPCZ, and the SACZ). Part II: Conditions of the circulations for generating STCZs. **J. Meteor. Soc. Japan.**, v. 71, p. 581–610, 1993.
- MORALES, W.; YAMASAKI, Y.. Análise de Aglomerados de Precipitação no Dia 01/01/2011 Utilizando a Convergência do Fluxo de Umidade Verticalmente

Integrada. In: XVII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Gramado – RS, 2012.

NETO, O. B. S.; ESCOBAR, G. C. J.; SILVA, P. E. D. Método objetivo para identificar episódios de Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU) no ambiente operacional do Centro de Previsão de Tempo e Estado Climático - CPTEC. In: XVI Congresso de Meteorologia, Belém – PA, 2010.

OLIVEIRA, A. S. Interações entre sistemas frontais na América do Sul e convecção na Amazônia. 1986, (INPE-4008-TDL/239). Dissertação (Mestrado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1986.

PALLOTTA, M.; GAN, M. A. Caracterização do Mês de Janeiro de 2010 em Relação a Não Ocorrência de ZCAS: Uma Comparação Com a Climatologia. In: IV Simpósio Internacional de Climatologia, João Pessoa - PB, 2011.

PESQUERO, J. F.; NOBRE, C. A.; MARENGO, J. Um Sistema Simples de Identificação da Zona de Convergência do Atlântico Sul em Rodadas Longas de Mudanças Climáticas. In: XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém – PA, 2010.

QUADRO, M. F. L. Estudos de episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) sobre a América do Sul. 1994. 94 f. *Dissertação (Mestrado em Meteorologia)* - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos (INPE-6341 - TDI/593).

QUADRO, M. F. L.; SILVA DIAS, M. A. F.; HERDIES, D. L.; GONCALVES, L. G. G. Análise Climatológica da Precipitação e do Transporte de Umidade na Região da ZCAS Através da Nova Geração de Reanálises. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, p.152 - 162, 2012.

- ROBERTSON, A. W.; MECHOSO, C. R. Interannual and Interdecadal Variability of the South Atlantic Convergence Zone. **American Meteorology Society**, p. 2947-2957, 2000.
- SAHA, S. AND COAUTHORS. The NCEP Climate Forecast System Reanalysis. **Bull. Amer. Meteor. Soc.**, v. 91, p. 1015–1057, 2010.
- SATYAMURTY, P.; DA COSTA, C. P. W.; MANZI, A. O. Moisture Source for the Amazon Basin: a Study of Contrasting Years. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 111 , p. 195 - 209, 2013. DOI: 10.1007/s00704-012-0637-7.
- SEABRA, M. S. Estudo sobre a Influência da Zona de Convergência do Atlântico Sul em Bacias Hidrográficas nas Regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil. 2004. Tese de Mestrado, COPPE/UFRJ, Rio de Janeiro, RJ, Brasil.
- SILVA DIAS, P. L. A Zona de Convergência do Atlântico Sul. IV Curso de Interpretação de Imagens e Análise Meteorológica, UNIVAP, 1995.
- TRENBERTH, K. E. Atmospheric Moisture Recycling: Role of Advection and Local Evaporation. **Journal of Climate**, v. 12, p. 1368-1381, 1999.
- VIEIRA, O. S.; SATYAMURTY, P; ANDREOLI, R. V. On the South Atlantic Convergence Zone affecting southern Amazonia in austral summer. **Atmos. Sci. Let**, v. 14 (1), p. 1 – 6, 2012. DOI: 10.1002/asl.401.

## APÊNDICE A

Aqui são apresentadas as figuras correspondentes a análise dinâmica dos períodos ativos dos casos presentes na Tabela 3.1.

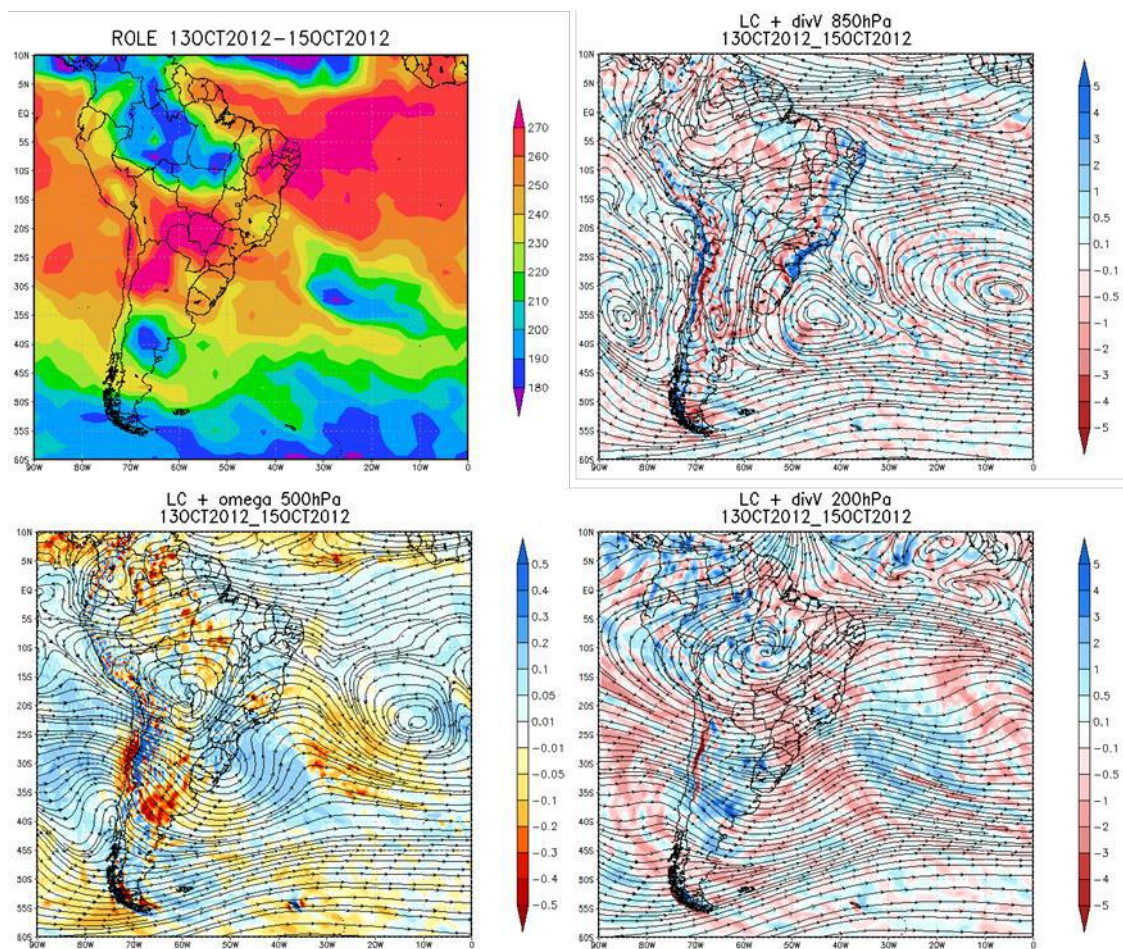


Figura A.1 – Evento: ZCOU\_1. Pannel superior esquerdo: ROLE ( $\text{W}/\text{m}^2$ ). Pannel superior direito: vento horizontal (linhas de corrente) e divergência do vento horizontal (sombreado) ( $\times 10^{-6} \cdot \text{s}^{-1}$ ) em 850 hPa. Pannel inferior esquerdo: vento horizontal (linhas de corrente) e velocidade vertical ômega (sombreado) ( $\text{Pa} \cdot \text{s}^{-1}$ ) em 500 hPa. Pannel inferior direito: vento horizontal (linhas de corrente) e divergência do vento horizontal (sombreado) ( $\times 10^{-6} \cdot \text{s}^{-1}$ ) em 200 hPa.

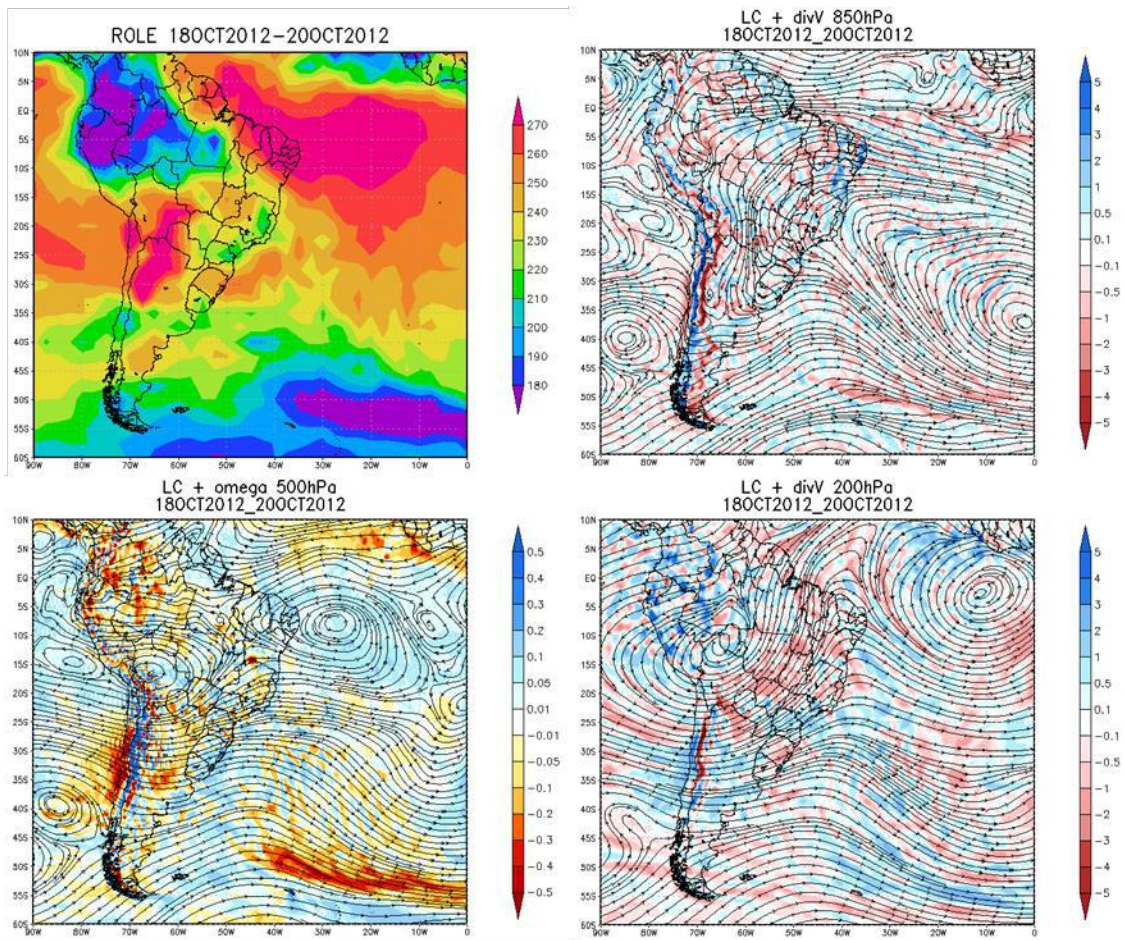


Figura A.2 – Evento: ZCOU\_2. Descrição dos painéis idem a Figura A.1.



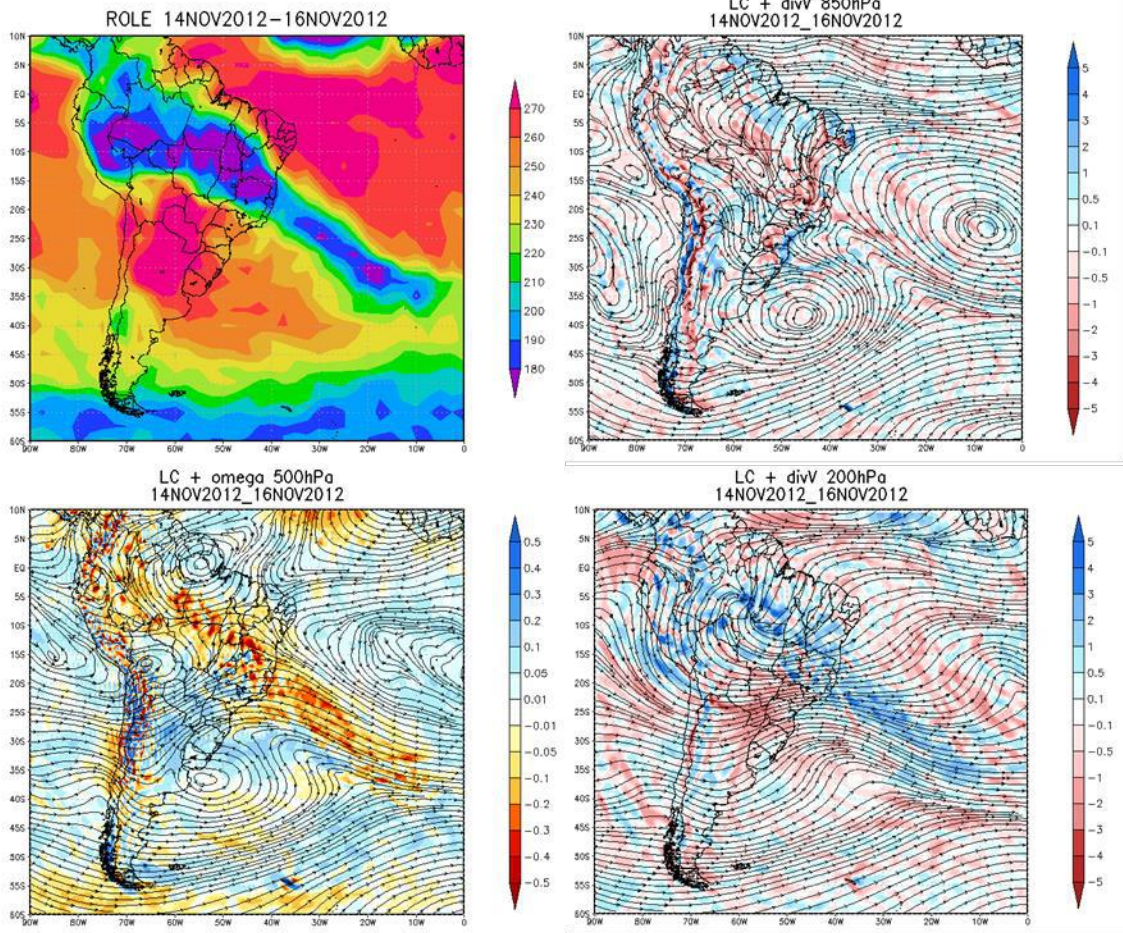


Figura A.3 – Evento: ZCAS\_1. Descrição dos painéis idem a Figura A.1.

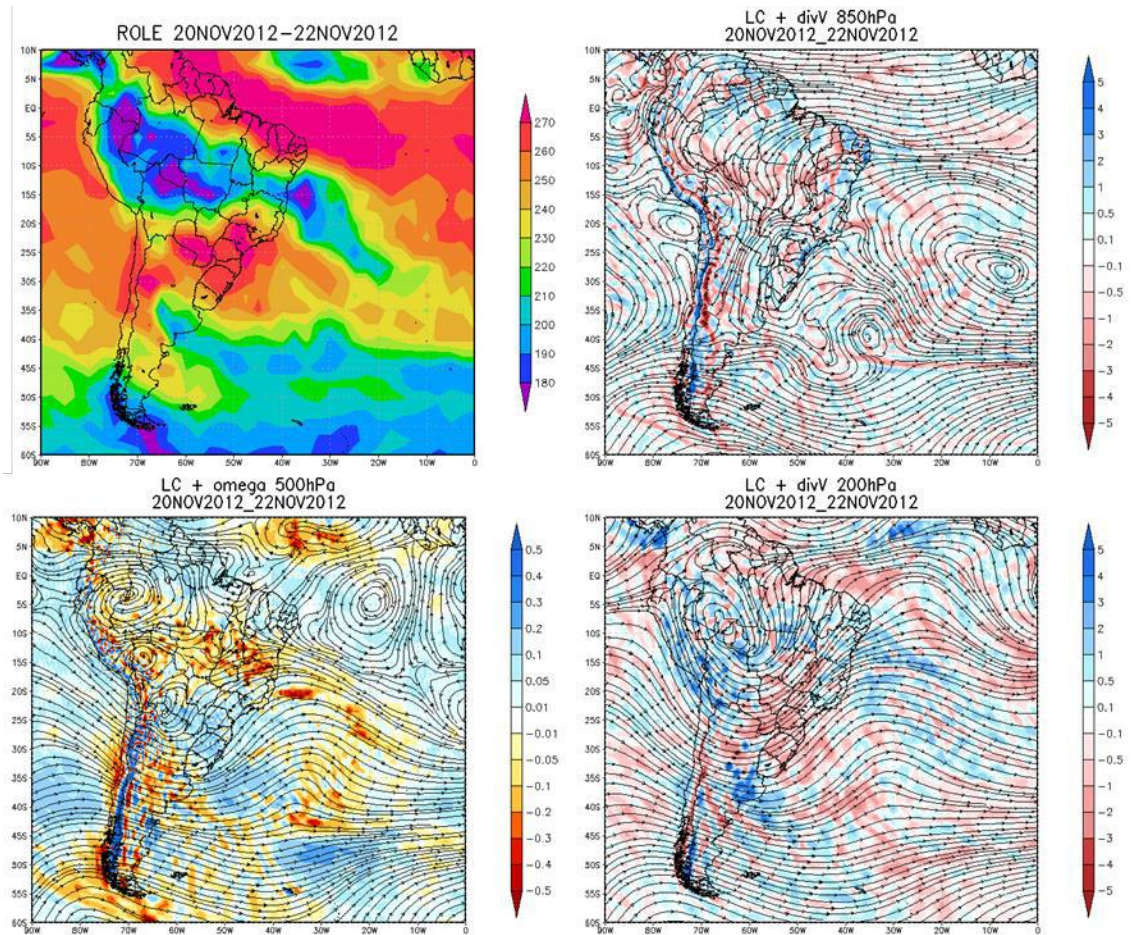


Figura A.4 – Evento: ZCOU\_3. Descrição dos painéis idem a Figura A.1.

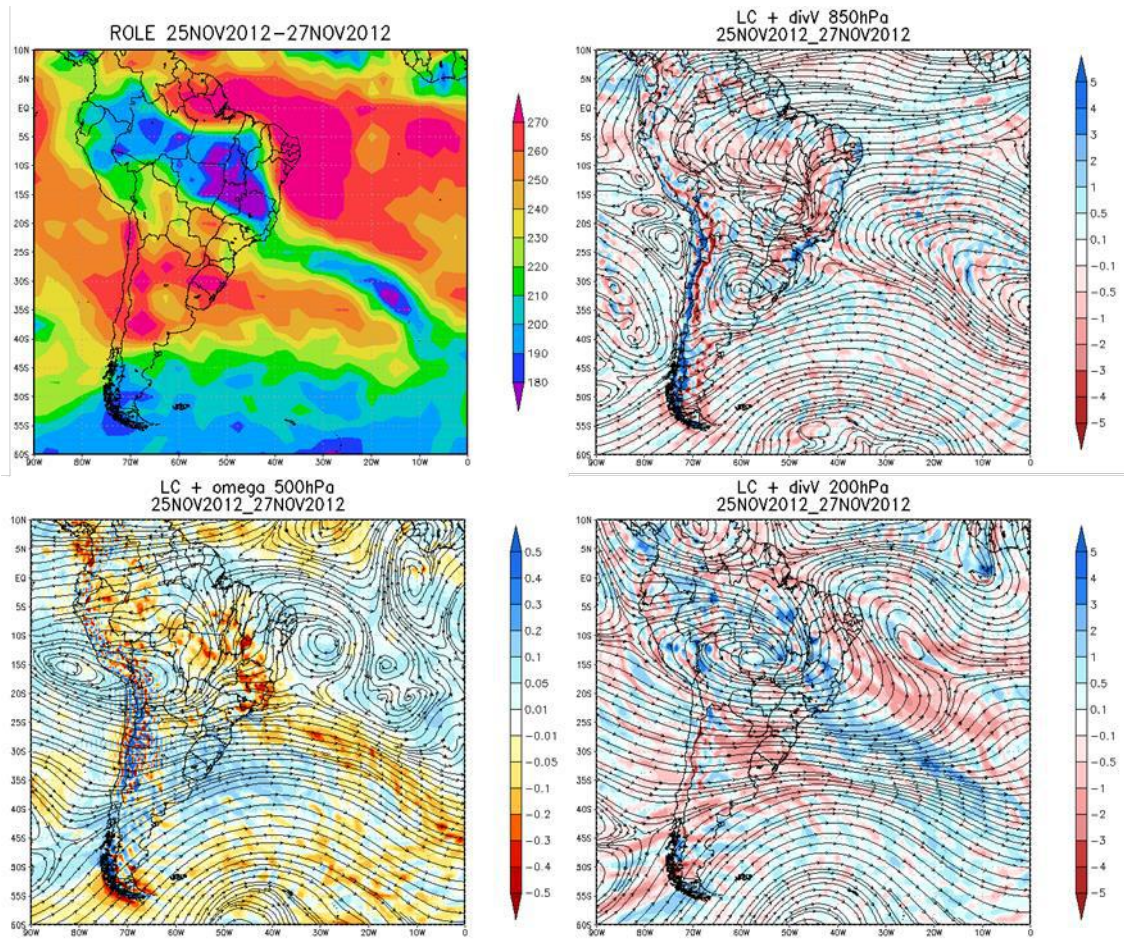


Figura A.5 – Evento: ZCOU\_4. Descrição dos painéis idem a Figura A.1.

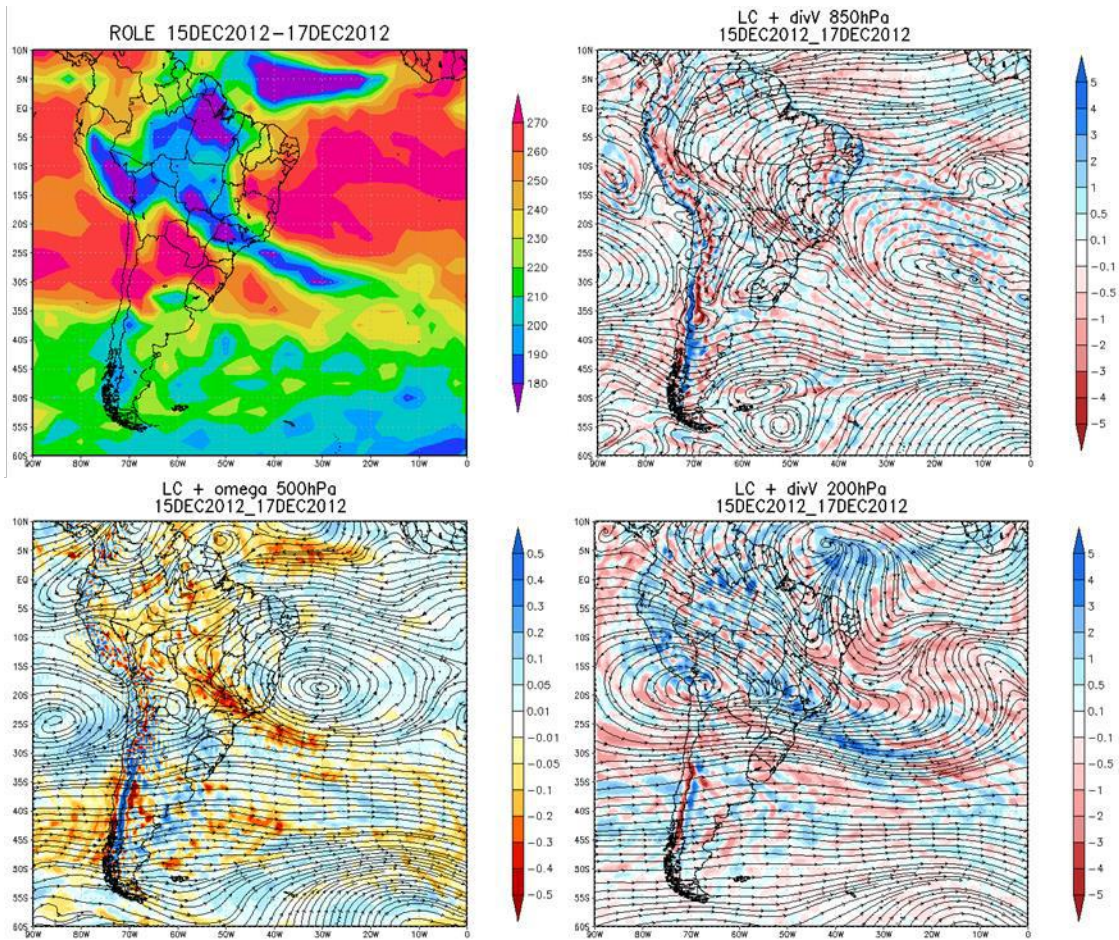


Figura A.6 – Evento: ZCAS\_2. Descrição dos painéis idem a Figura A.1.

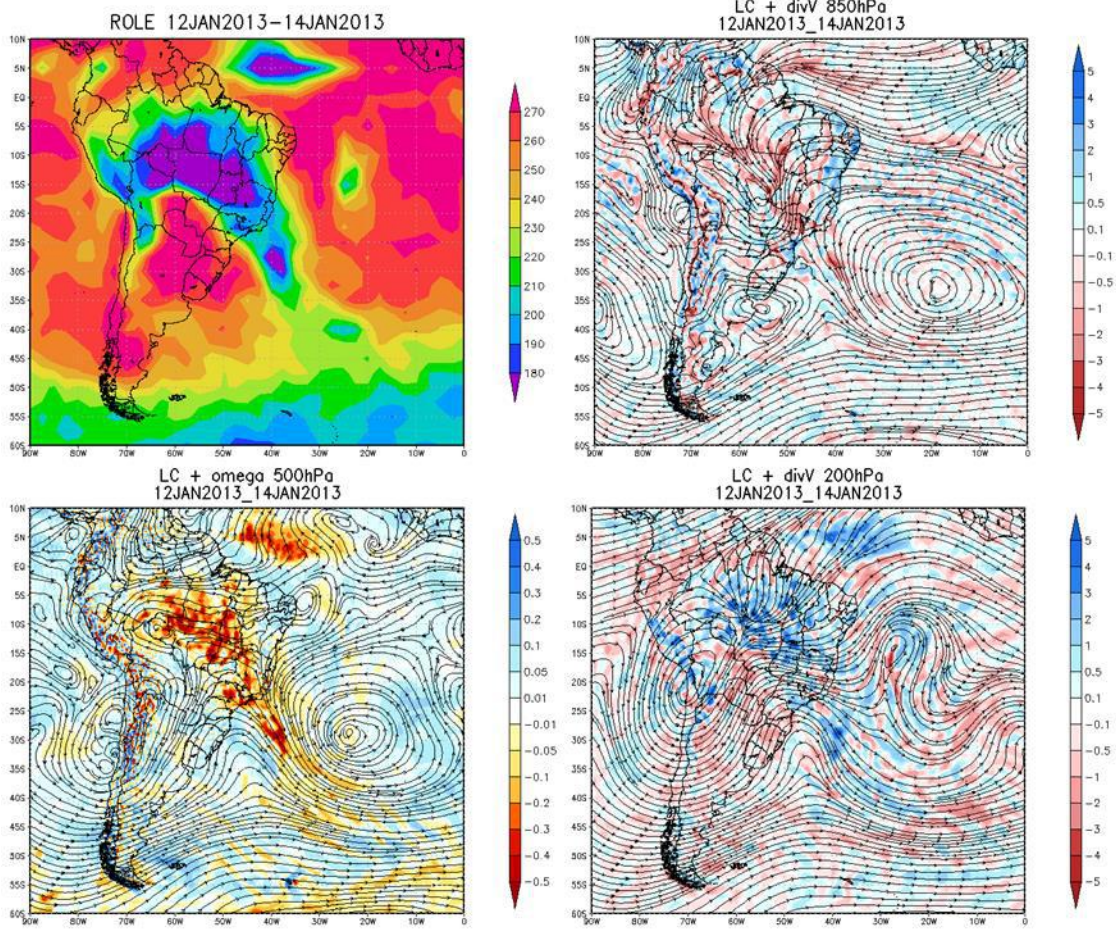


Figura A.7 – Evento: ZCAS\_3. Descrição dos painéis idem a Figura A.1.

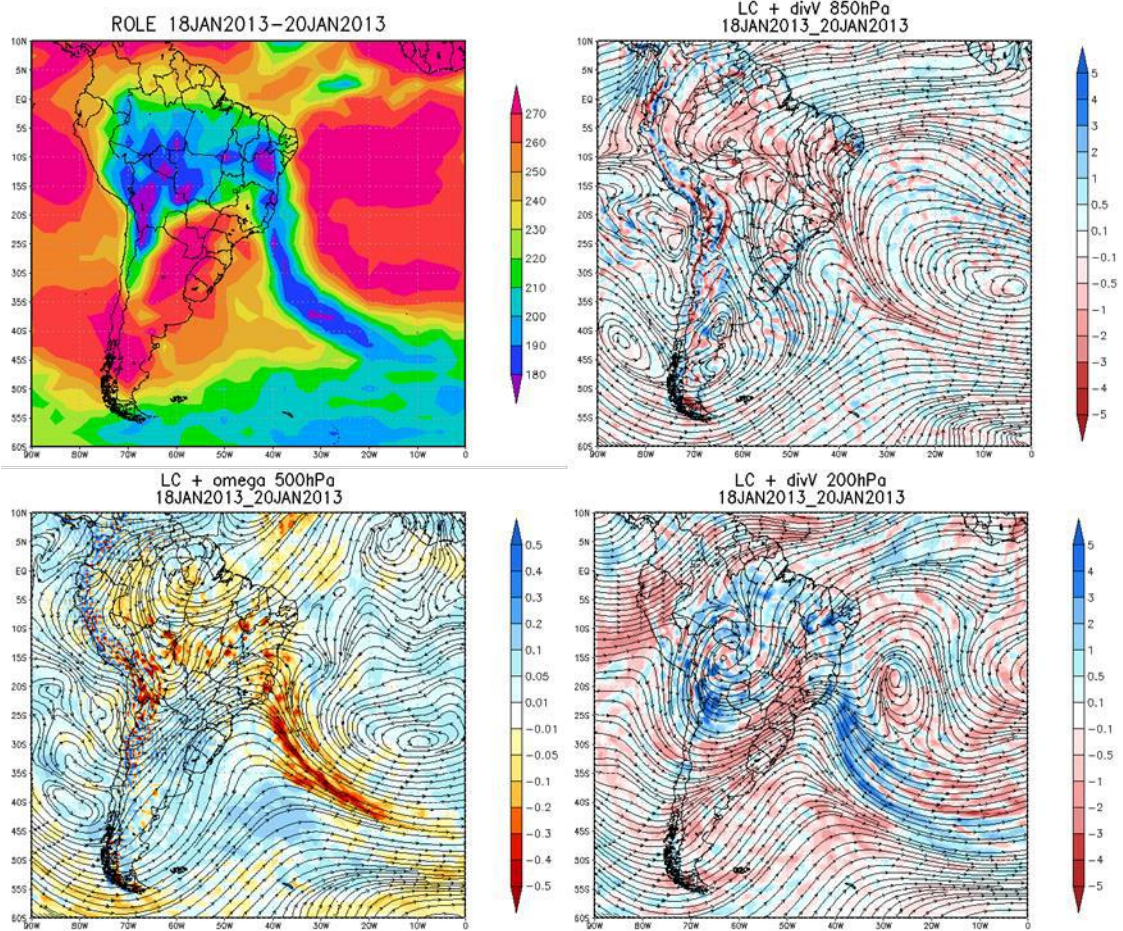


Figura A.8 – Evento: ZCOU\_5. Descrição dos painéis idem a Figura A.1.

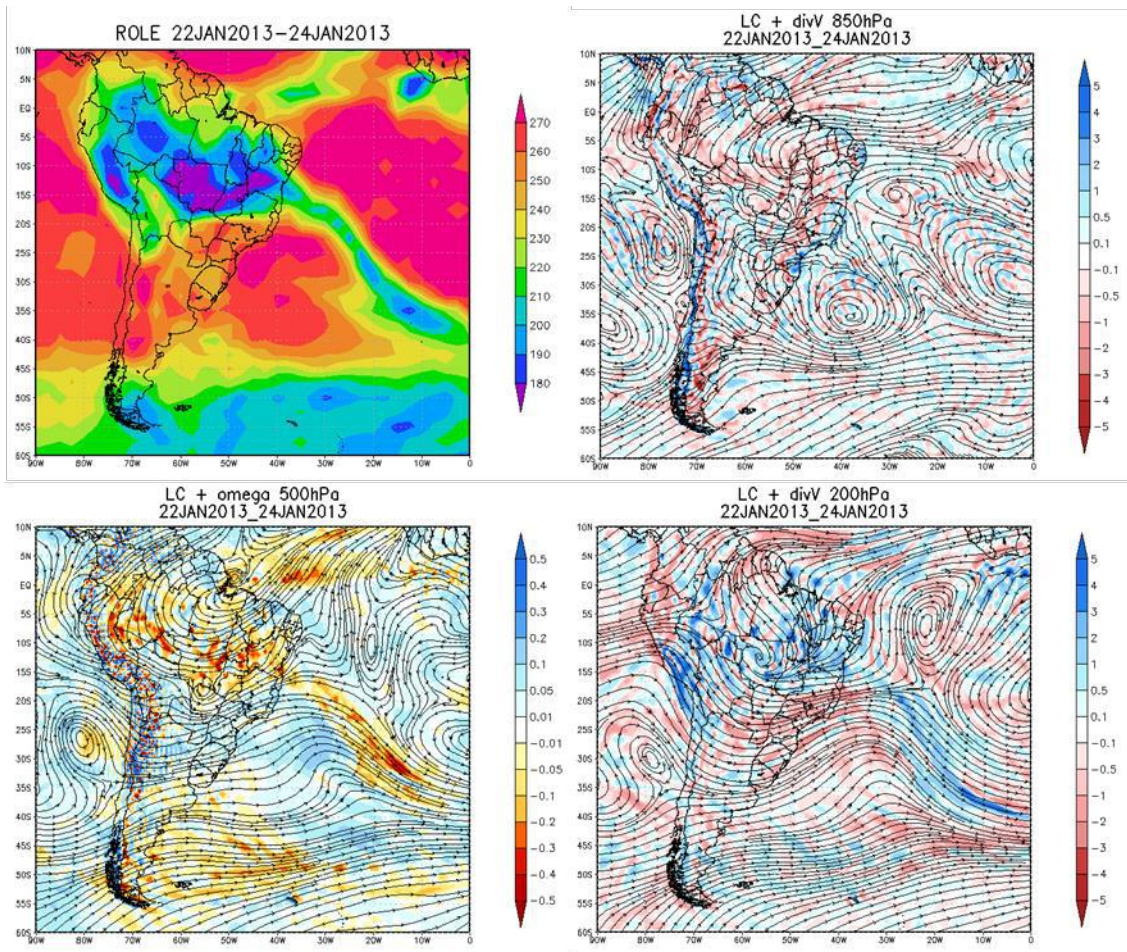


Figura A.9 – Evento: ZCAS\_4. Descrição dos painéis idem a Figura A.1.

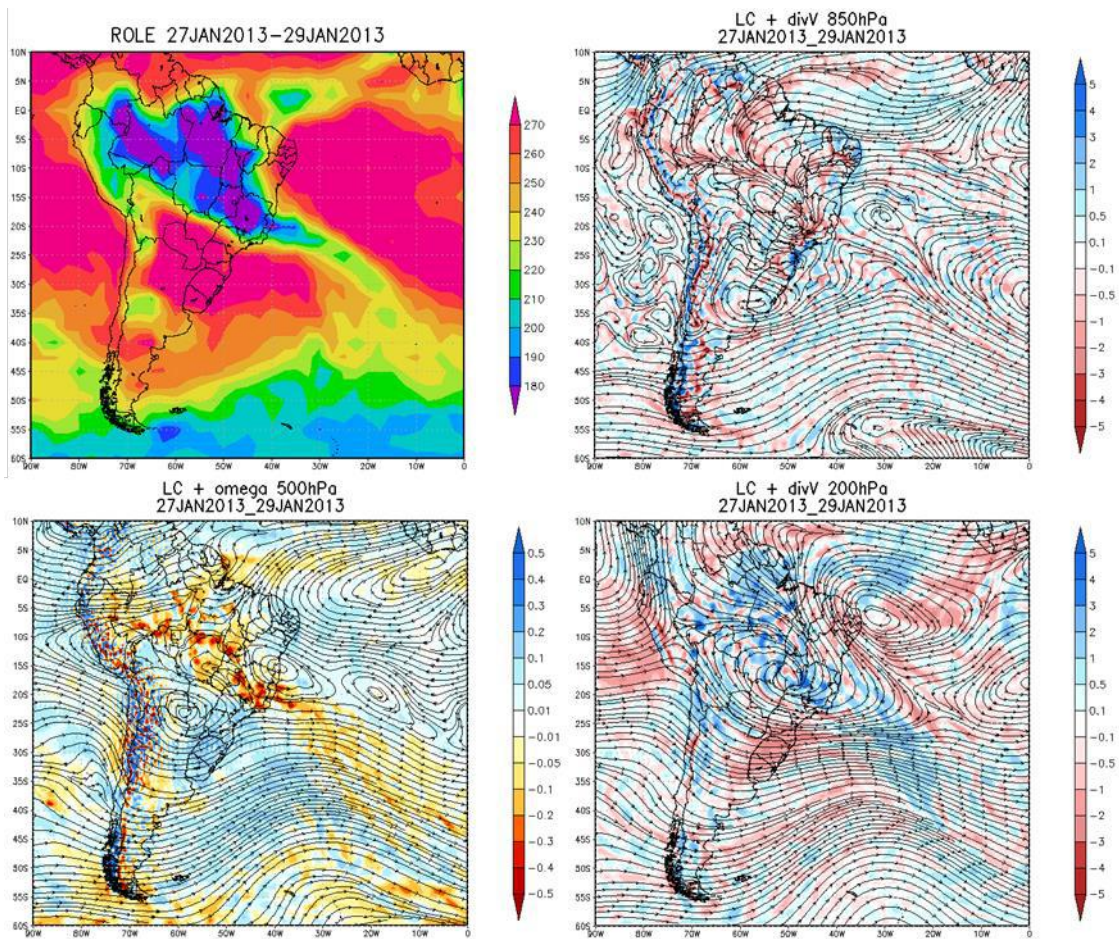


Figura A.10 – Evento: ZCAS\_5. Descrição dos painéis idem a Figura A.1.



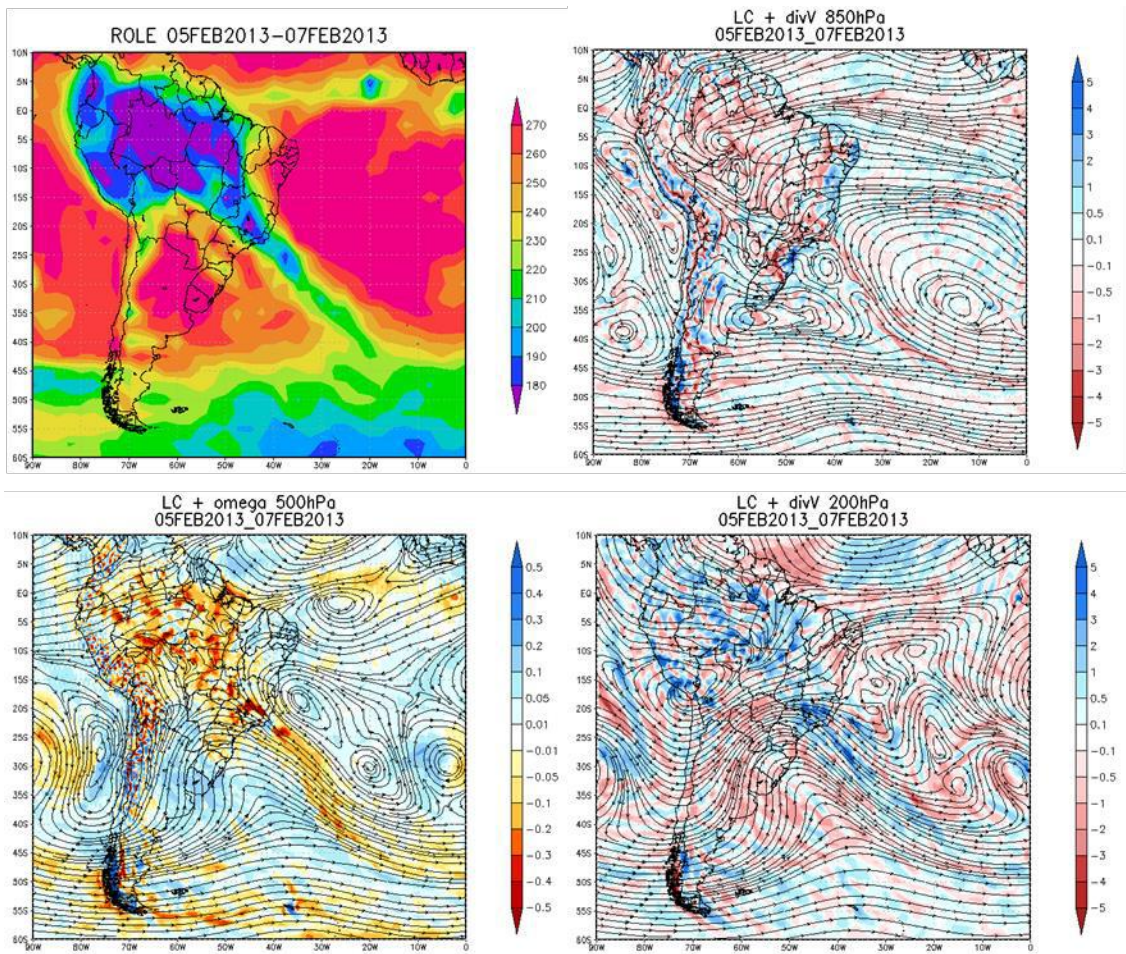


Figura A.11 – Evento: ZCAS\_6. Descrição dos painéis idem a Figura A.1.

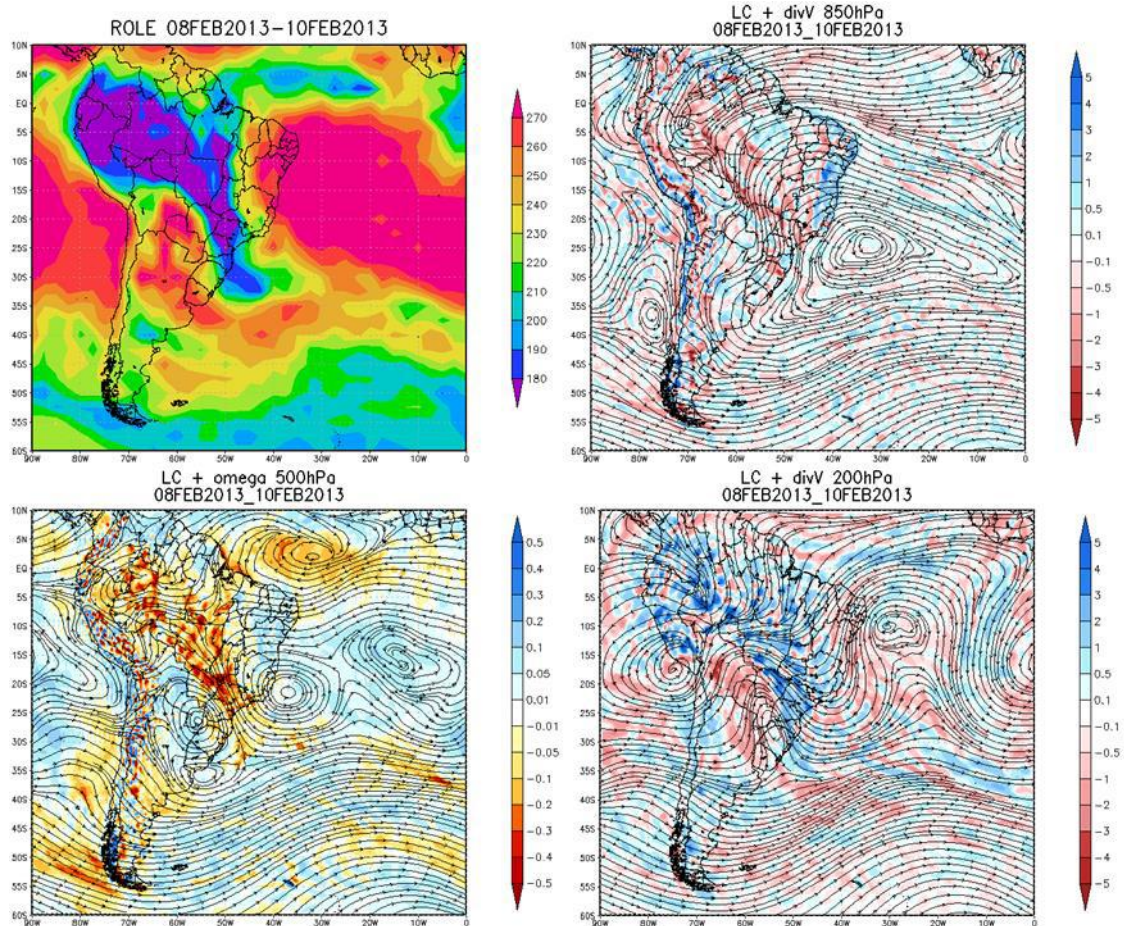


Figura A.12 – Evento: ZCOU\_6. Descrição dos painéis idem a Figura A.1.

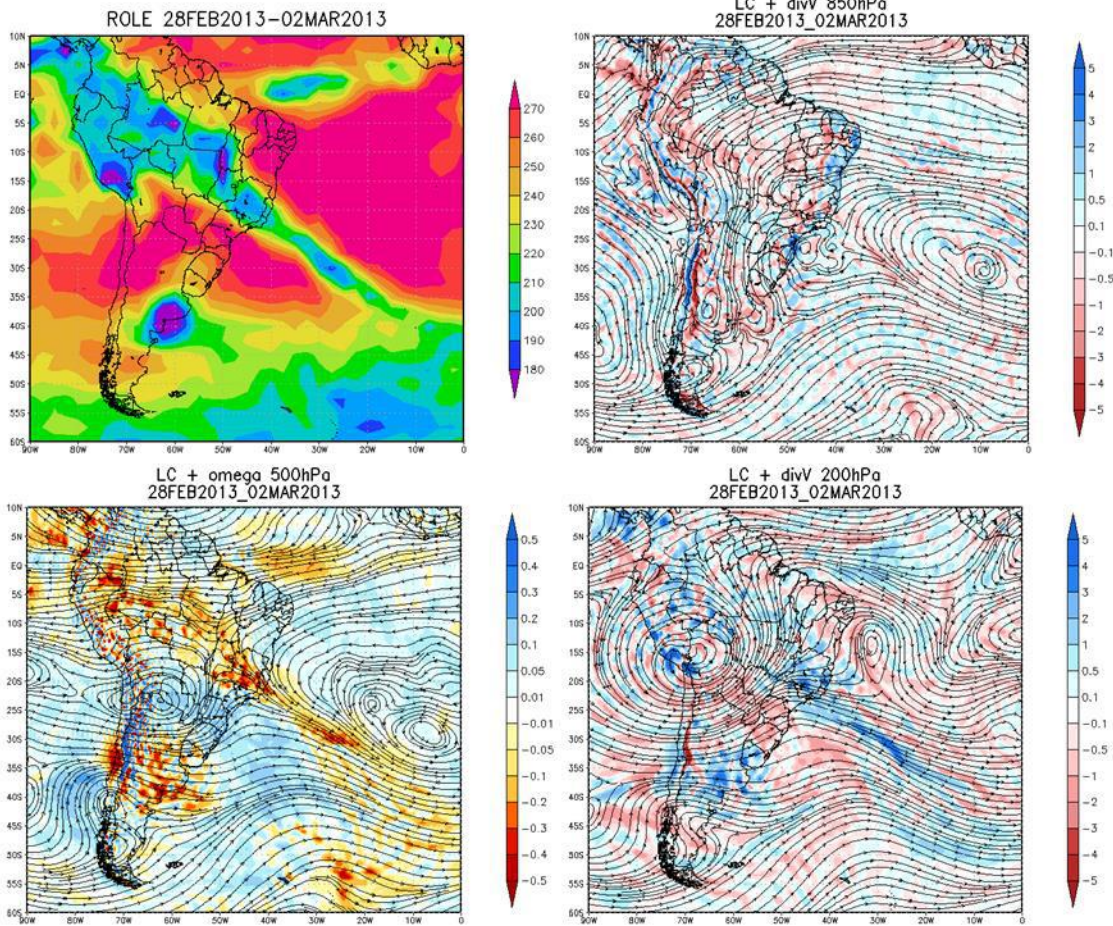


Figura A.13 – Evento: ZCOU\_7. Descrição dos painéis idem a Figura A.1.

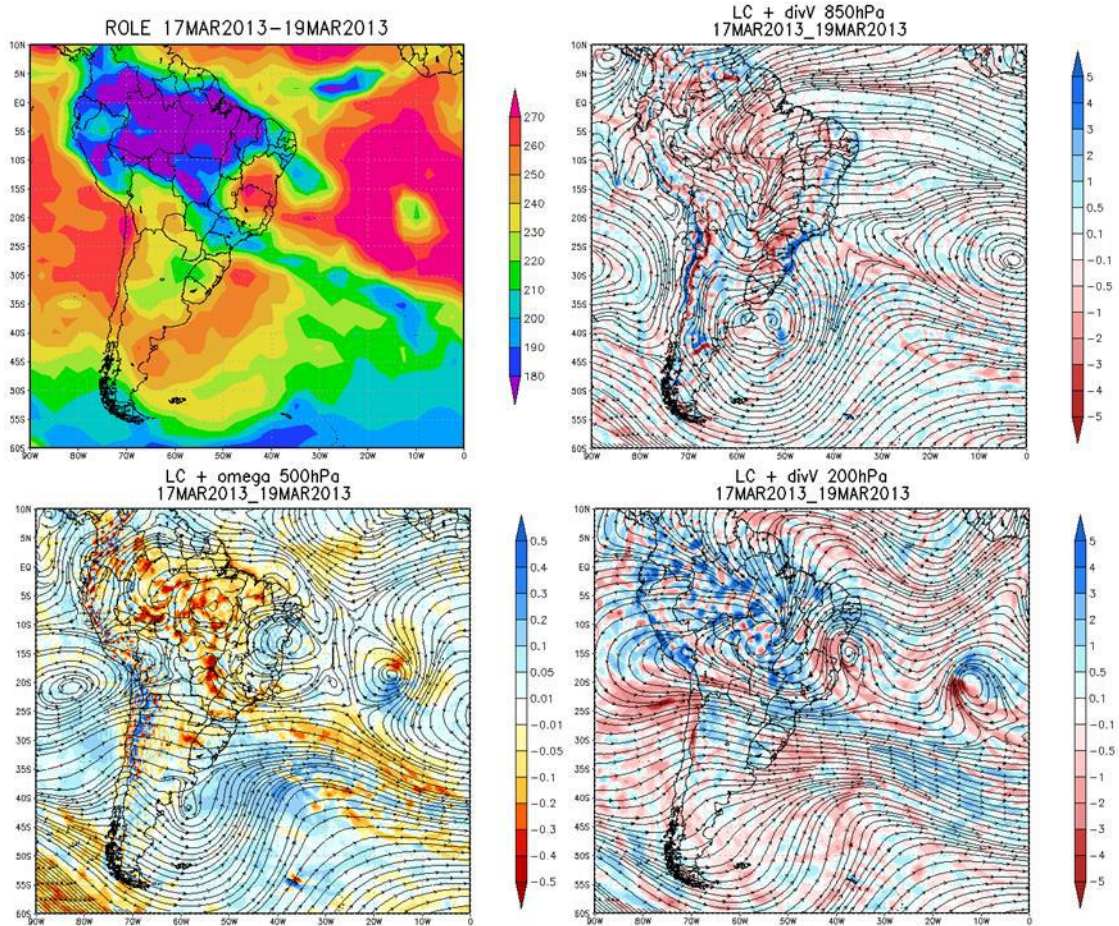


Figura A.14 – Evento: ZCOU\_8. Descrição dos painéis idem a Figura A.1.

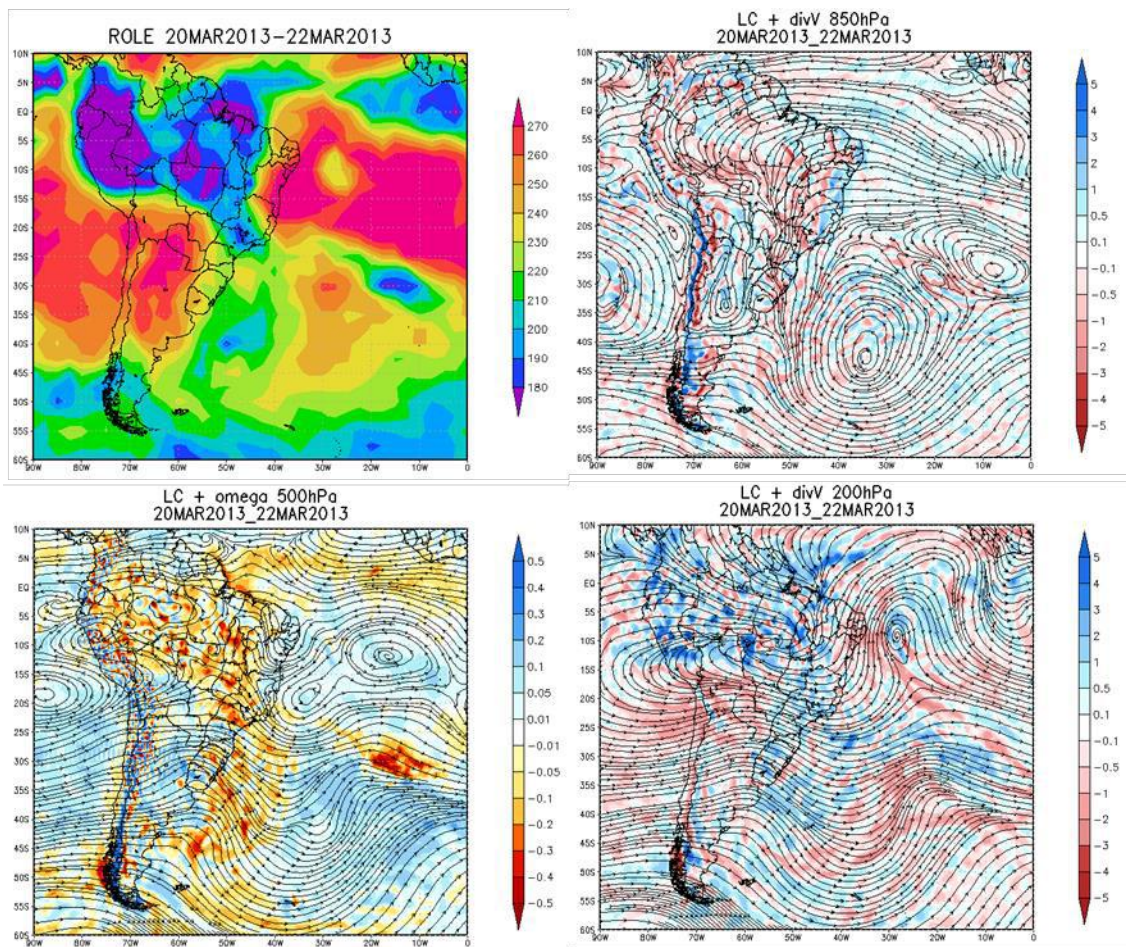


Figura A.15 – Evento: ZCOU\_9. Descrição dos painéis idem a Figura A.1.

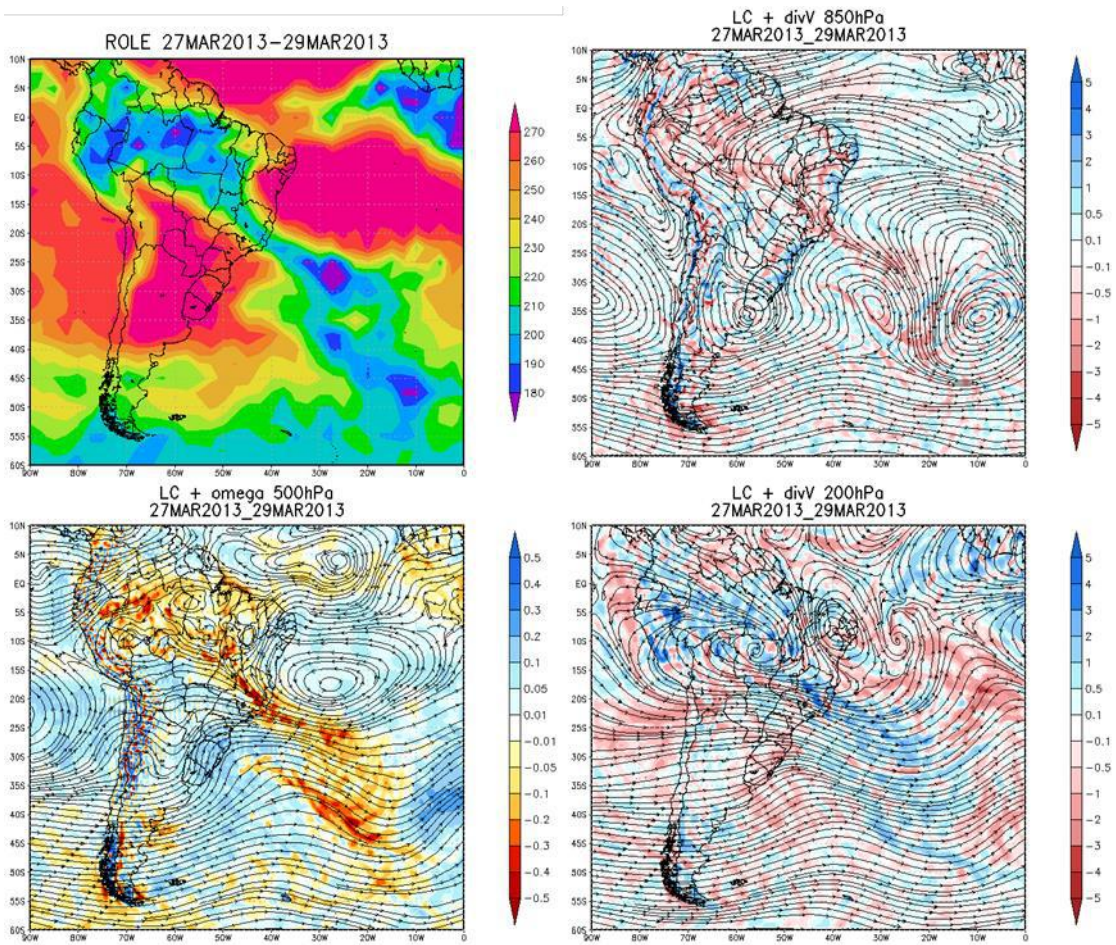


Figura A.16 – Evento: ZCAS\_7. Descrição dos painéis idem a Figura A.1.

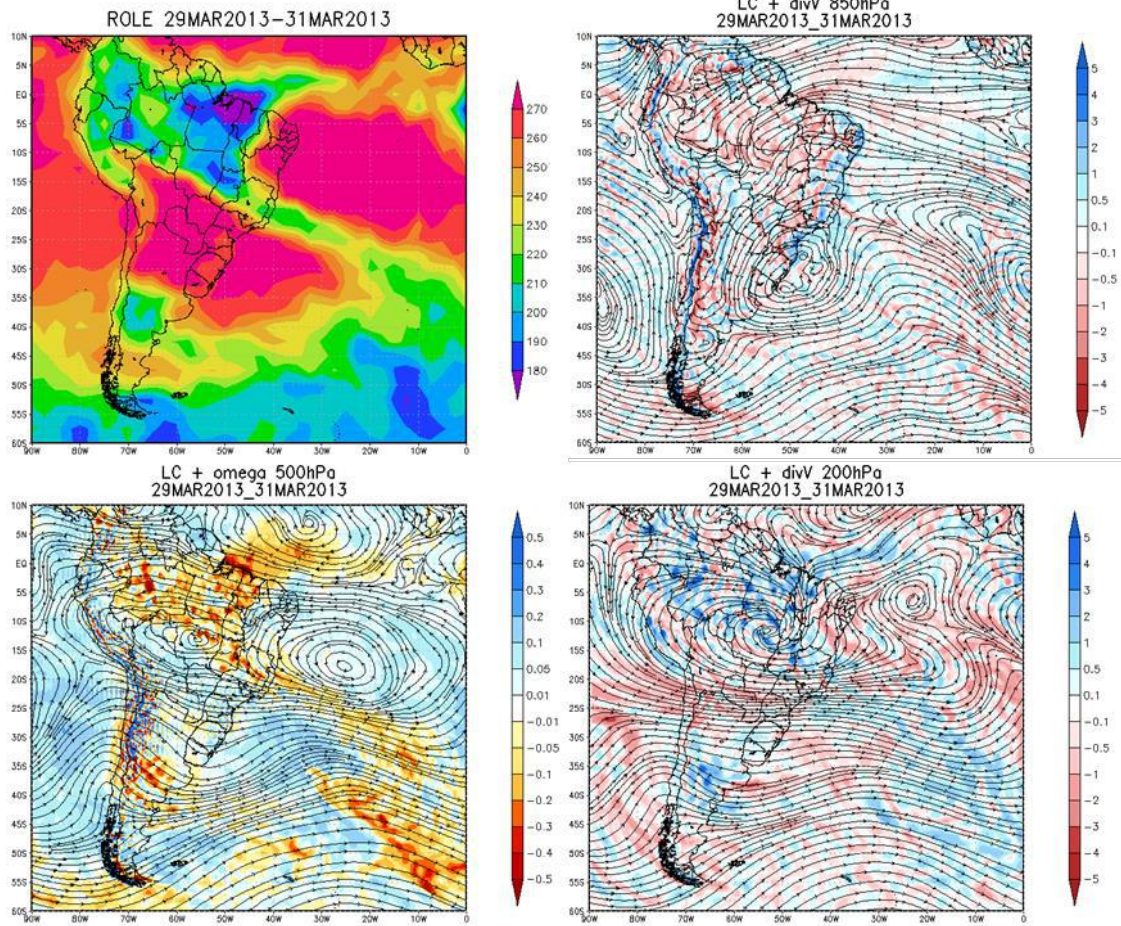


Figura A.17 – Evento: ZCOU\_10. Descrição dos painéis idem a Figura A.1.

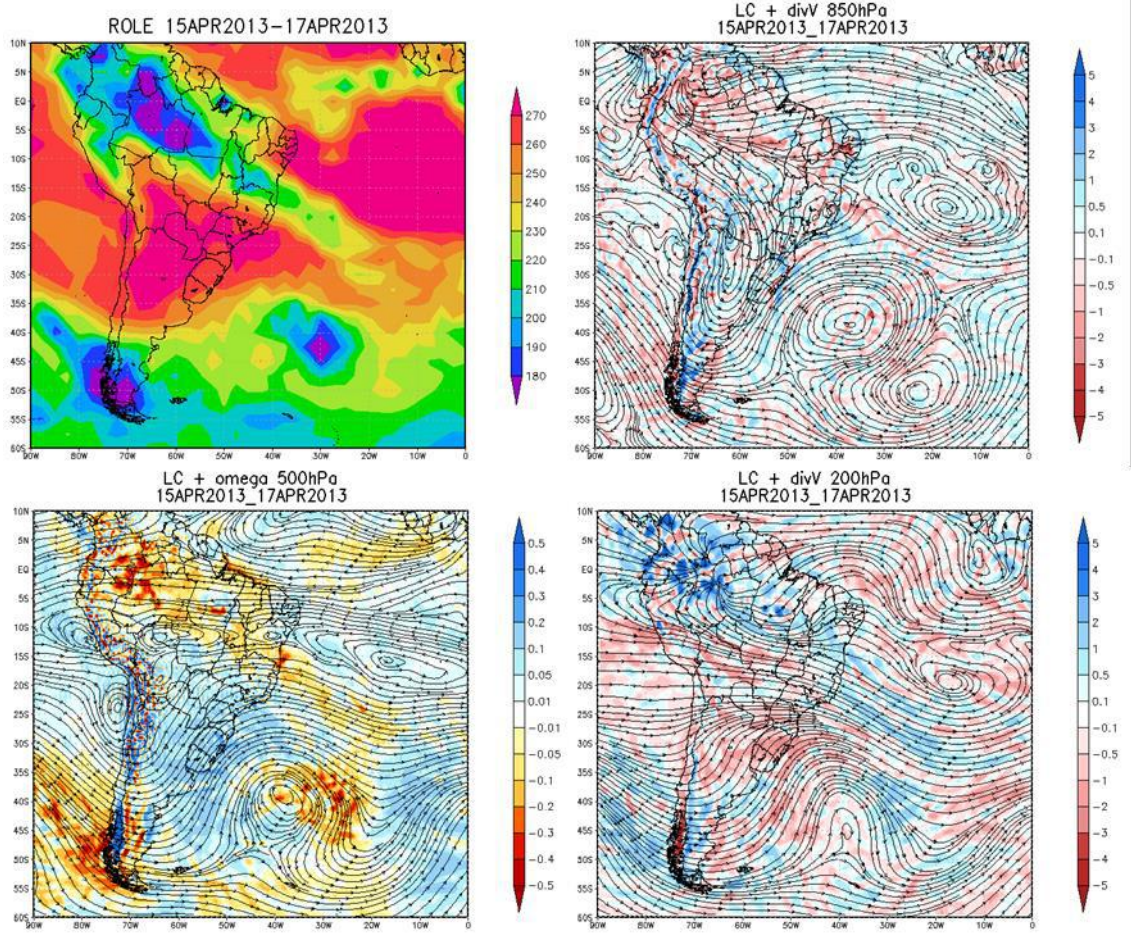


Figura A.18 – Evento: ZCOU\_11. Descrição dos painéis idem a Figura A.1.



## APÊNDICE B

Aqui são apresentadas as figuras correspondentes aos fluxos de umidade dos períodos ativos dos casos presentes na Tabela 3.1.

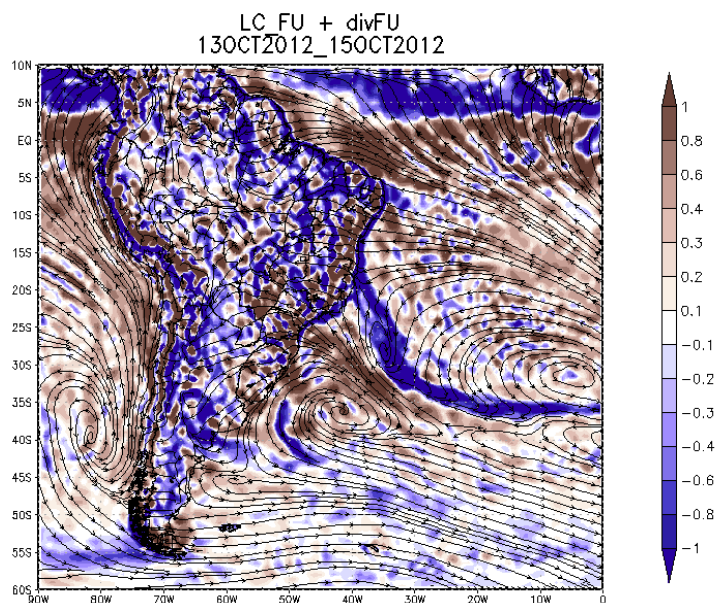


Figura B.1 – Fluxo de umidade integrado verticalmente em linhas de corrente e divergência do fluxo de umidade (sombreado) ( $\times 10^{-6} \cdot \text{kg} \cdot \text{m}^{-2} \cdot \text{s}^{-1}$ ) durante ZCOU\_1.

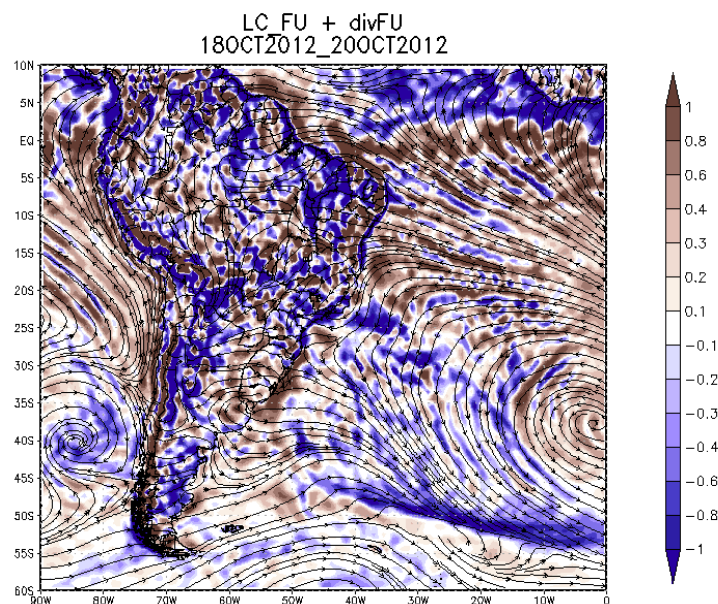


Figura B.2 – Idem a Figura B.1, exceto para ZCOU\_2.

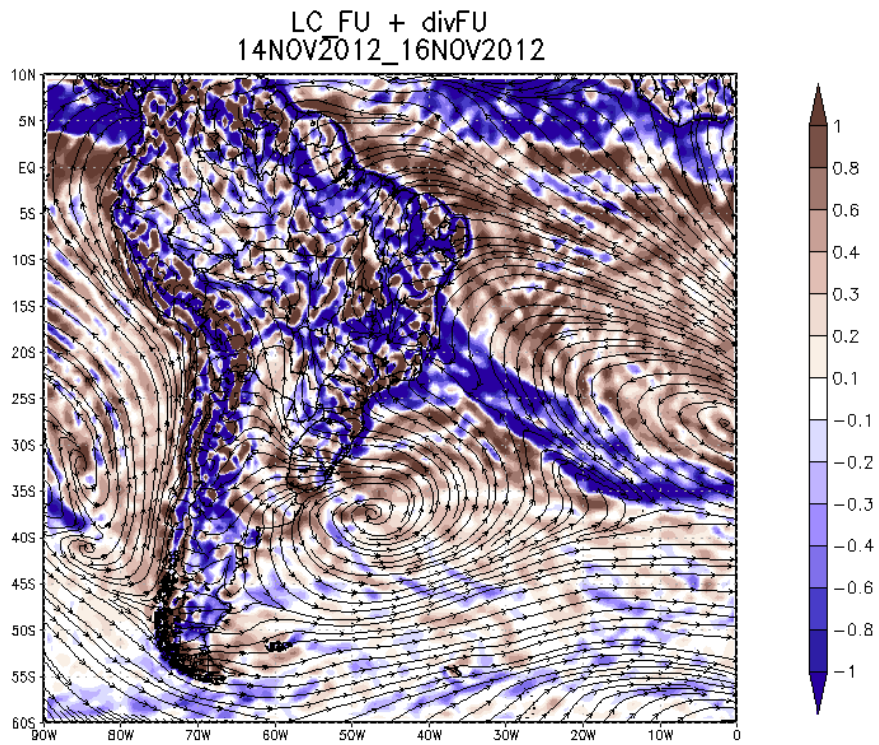


Figura B.3 – Idem a Figura B.1, exceto para ZCAS\_1.

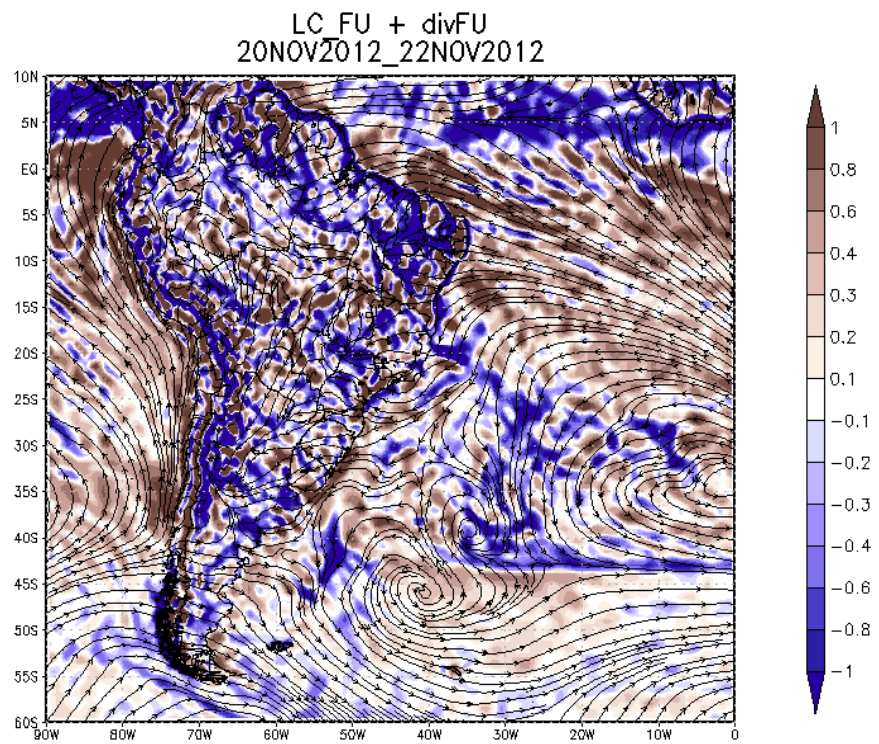


Figura B.4 – Idem a Figura B.1, exceto para ZCOU\_3.

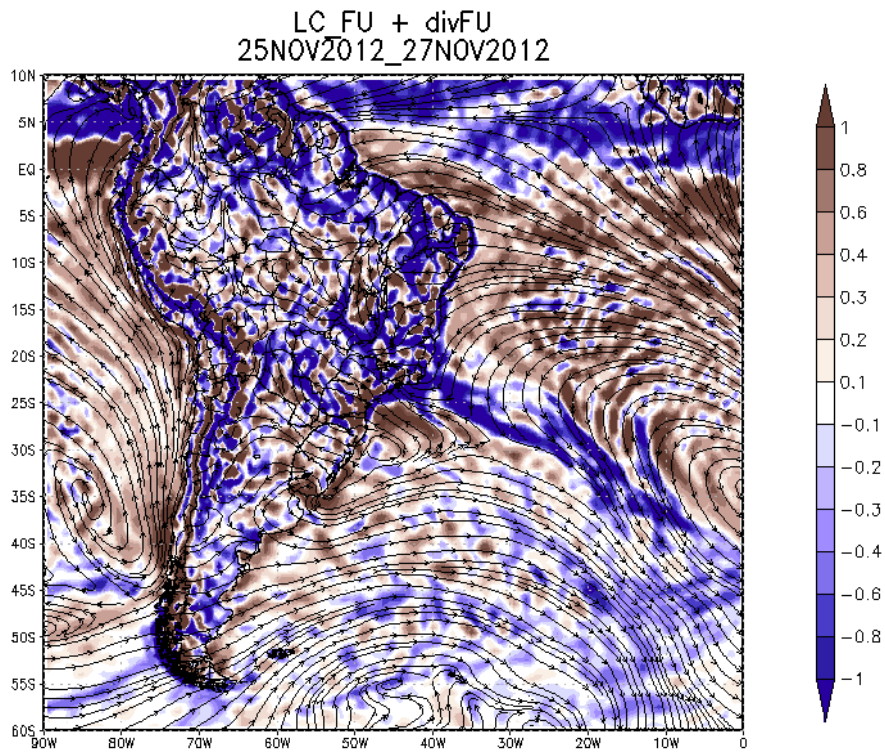


Figura B.5 – Idem a Figura B.1, exceto para ZCOU\_4.

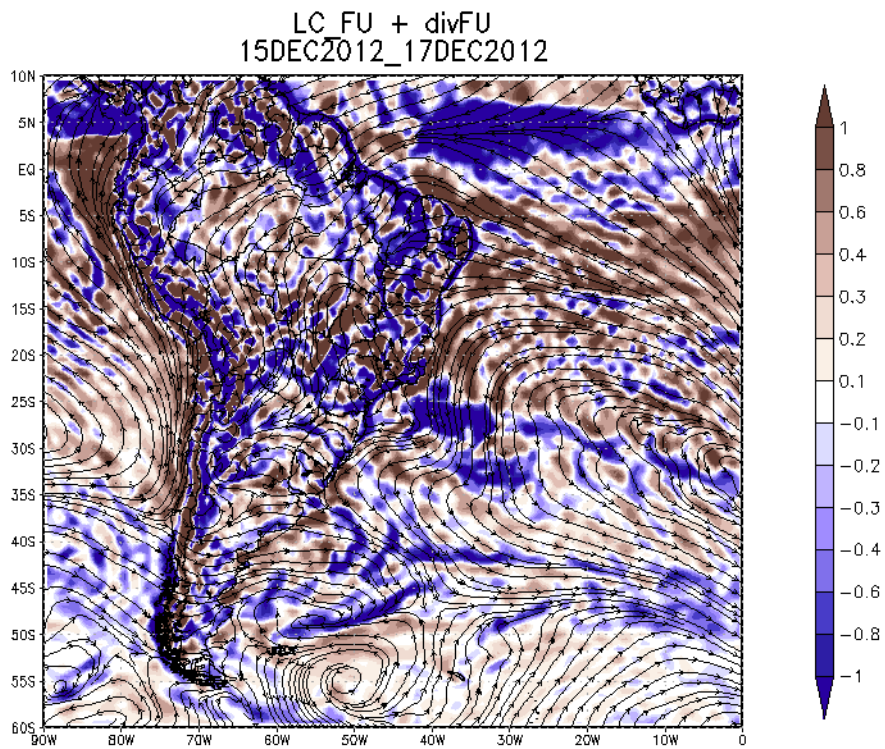


Figura B.6 – Idem a Figura B.1, exceto para ZCAS\_2.

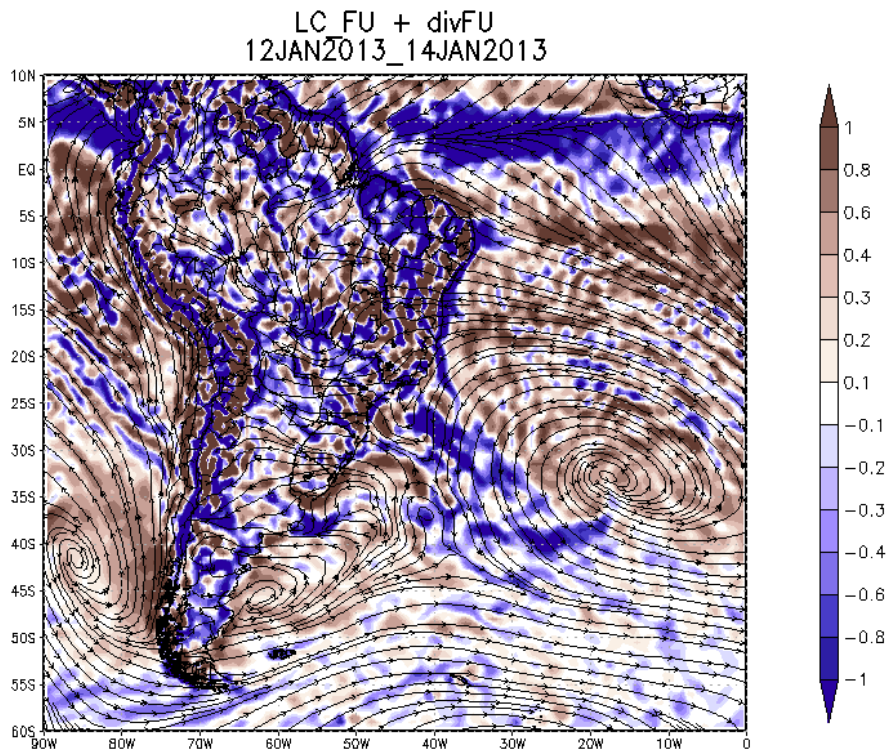


Figura B.7 – Idem a Figura B.1, exceto para ZCAS\_3.

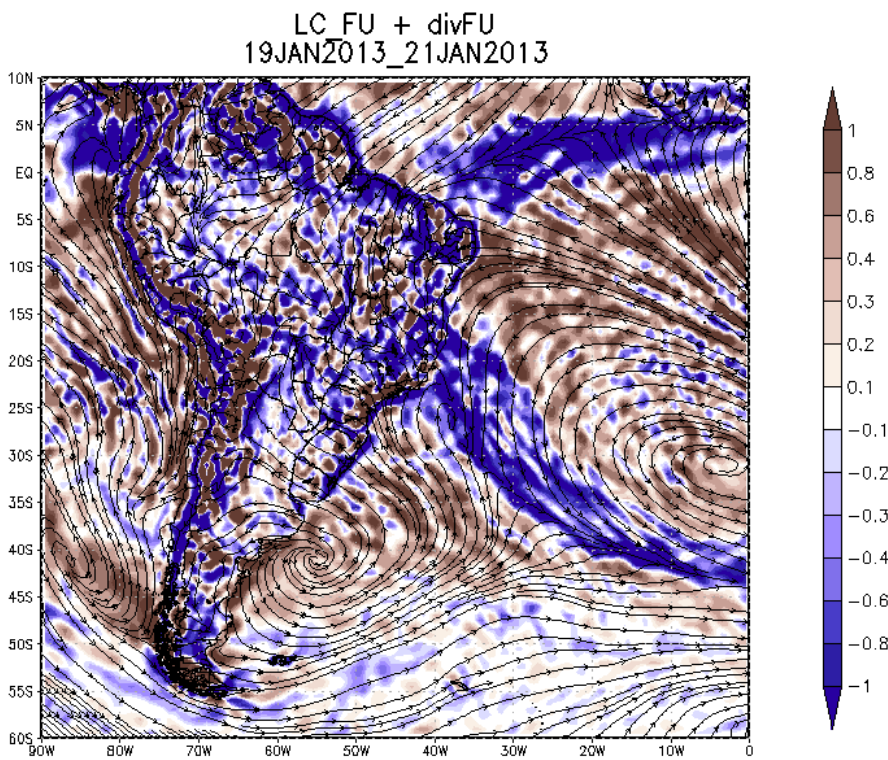


Figura B.8 – Idem a Figura B.1, exceto para ZCOU\_5.

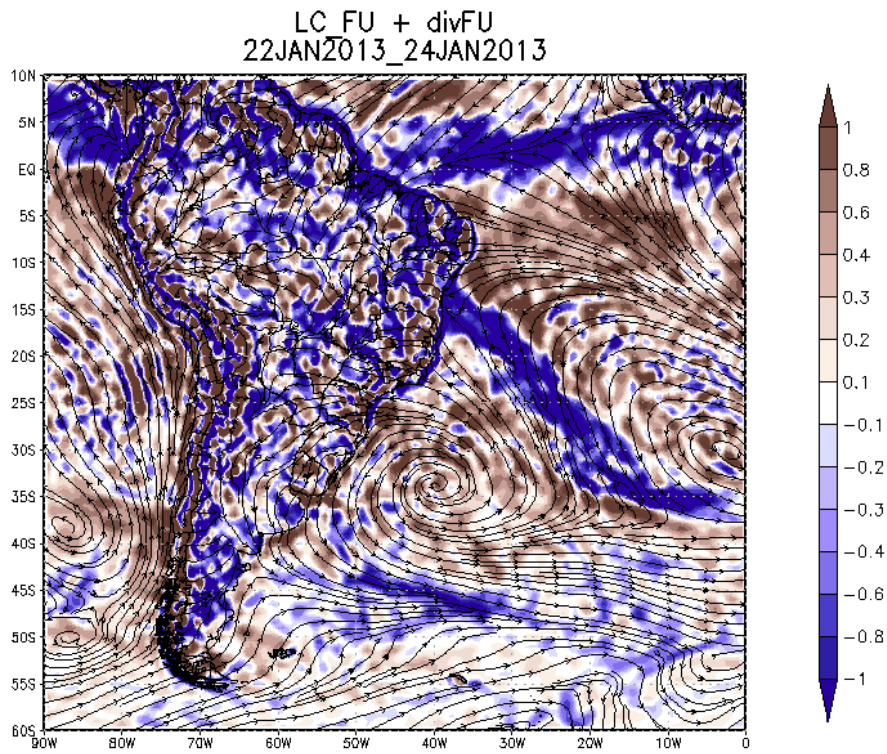


Figura B.9 – Idem a Figura B.1, exceto para ZCAS\_4.

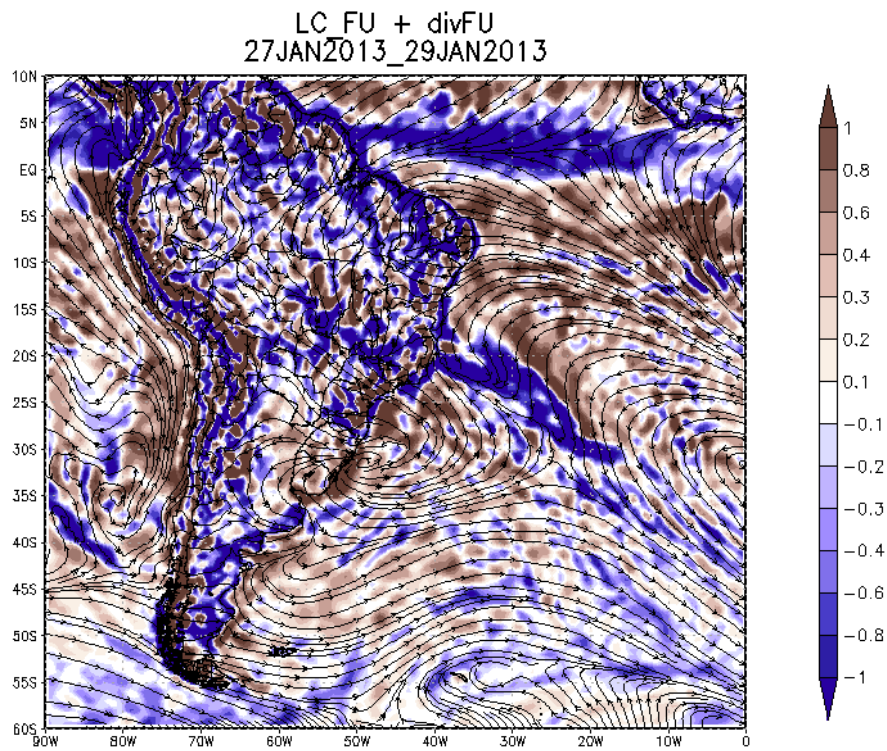


Figura B.10 – Idem a Figura B.1, exceto para ZCAS\_5.

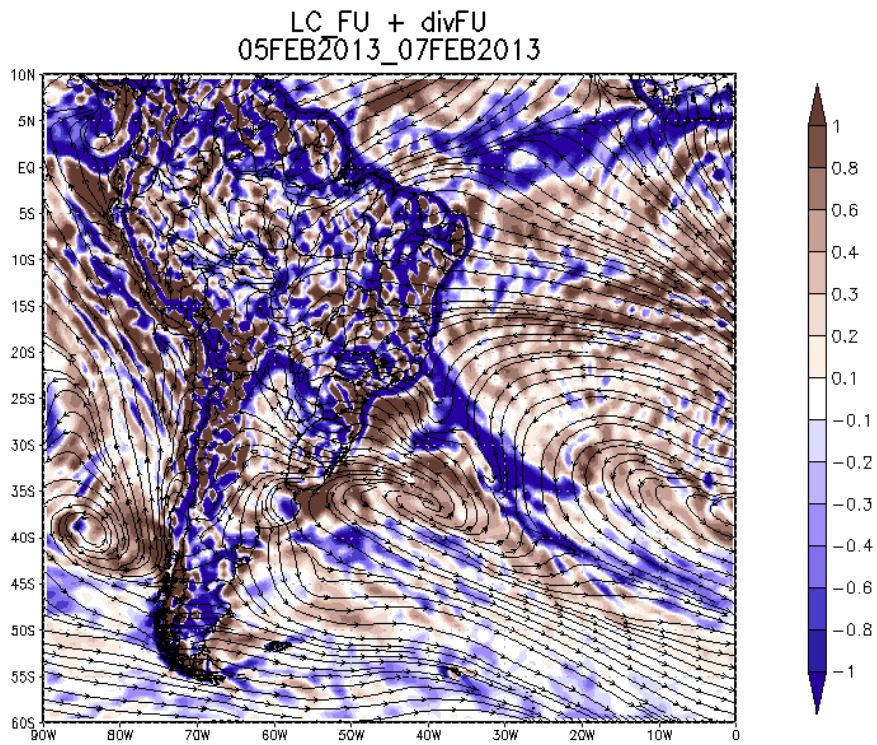


Figura B.11 – Idem a Figura B.1, exceto para ZCAS\_6.

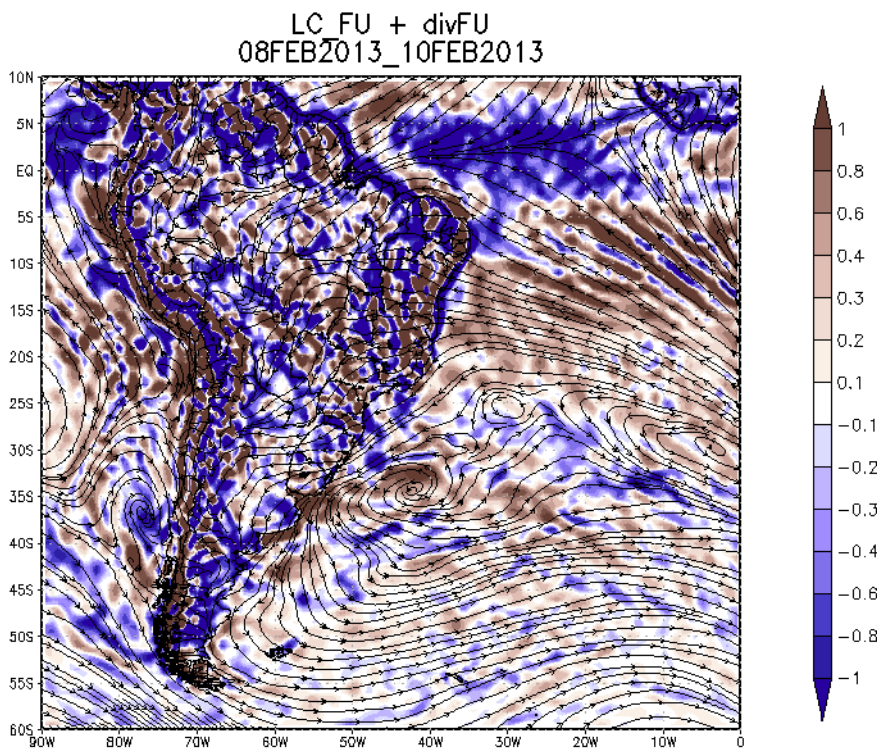


Figura B.12 – Idem a Figura B.1, exceto para ZCOU\_6.

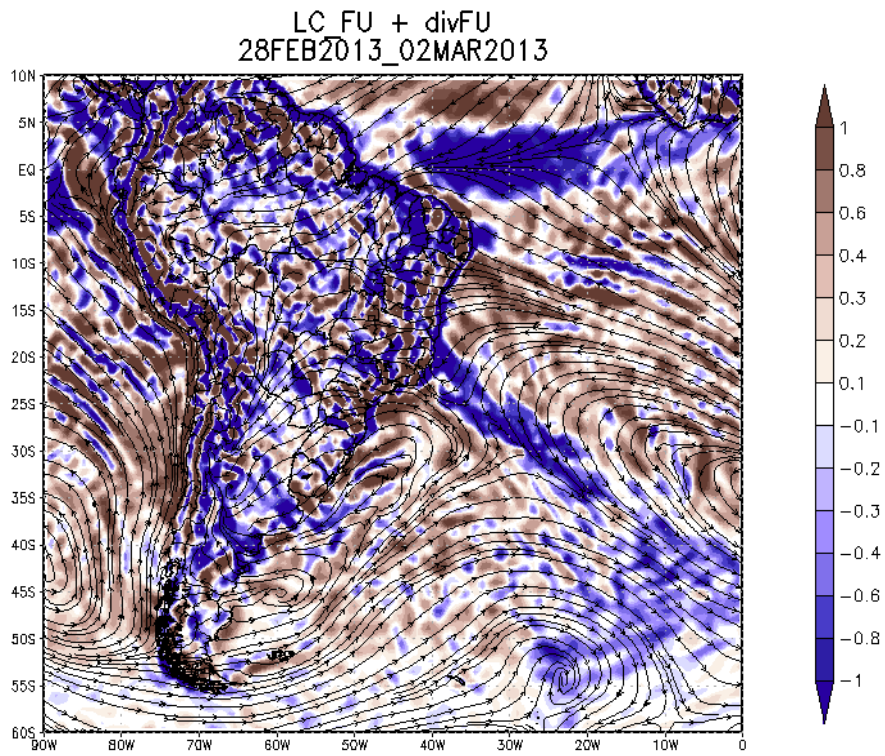


Figura B.13 – Idem a Figura B.1, exceto para ZCOU\_7.

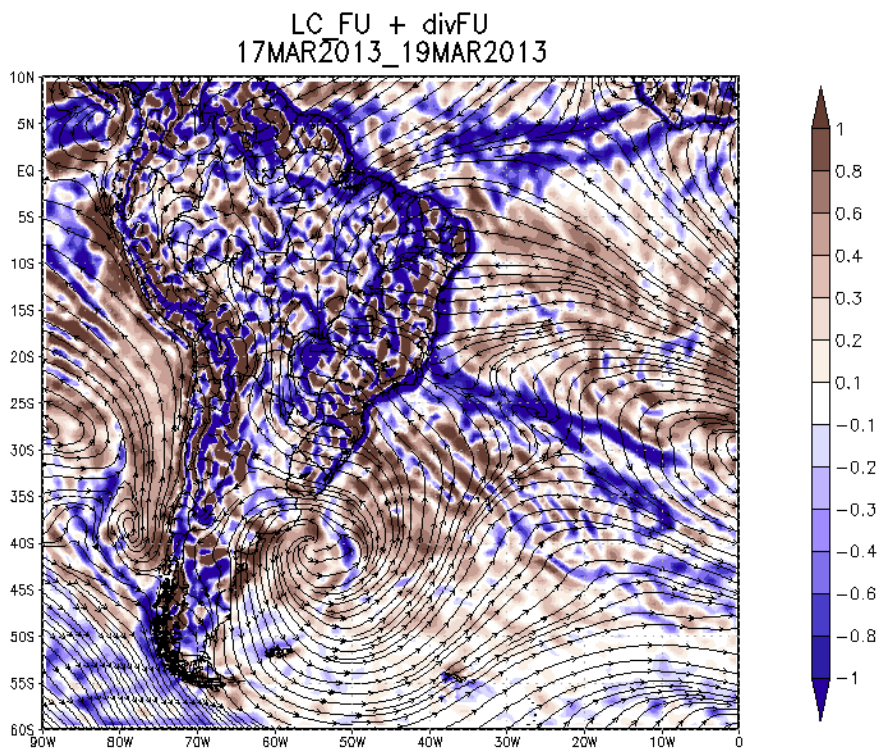


Figura B.14 – Idem a Figura B.1, exceto para ZCOU\_8.

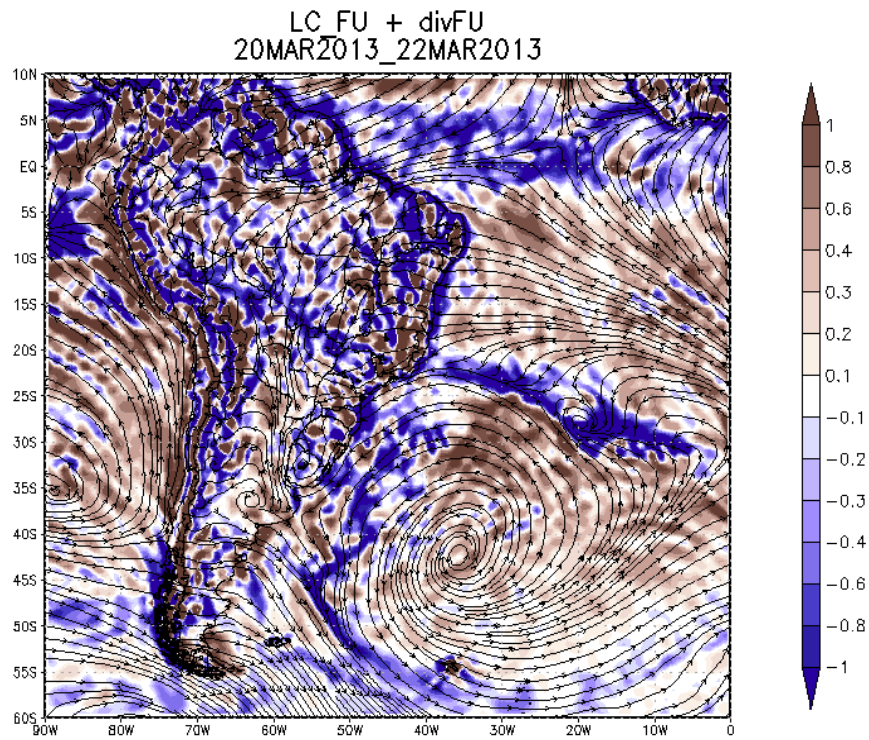


Figura B.15 – Idem a Figura B.1, exceto para ZCOU\_9.

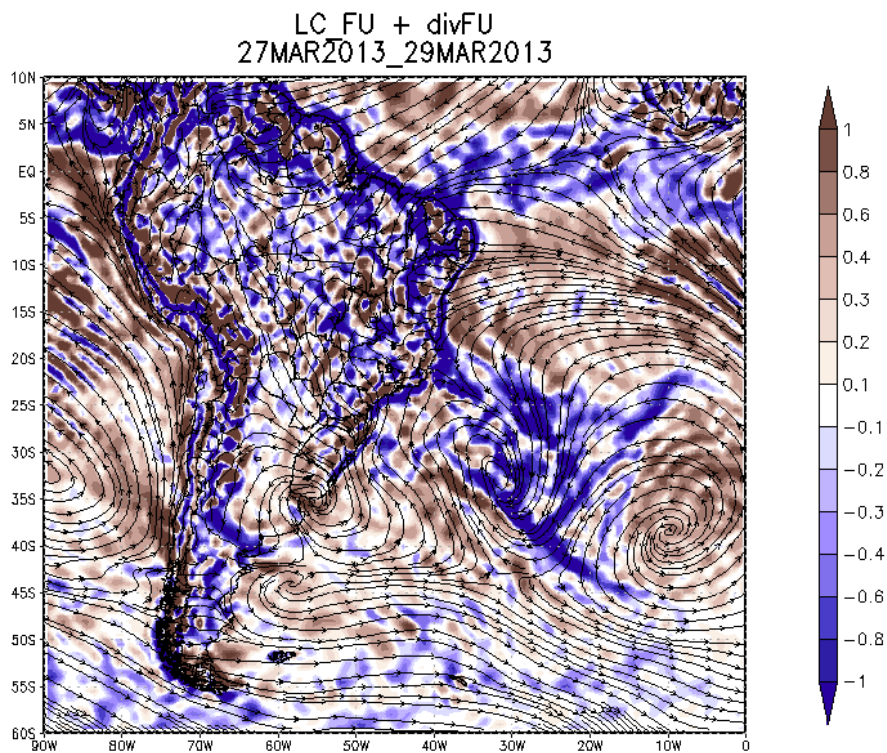


Figura B.16 – Idem a Figura B.1, exceto para ZCAS\_7.



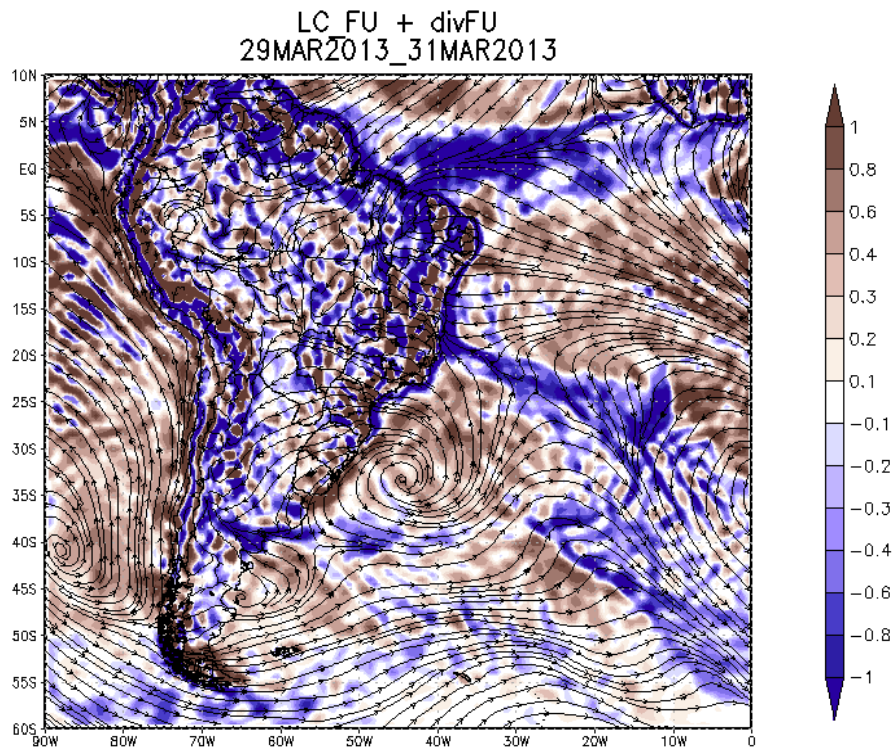


Figura B.17 – Idem a Figura B.1, exceto para ZCOU\_10.

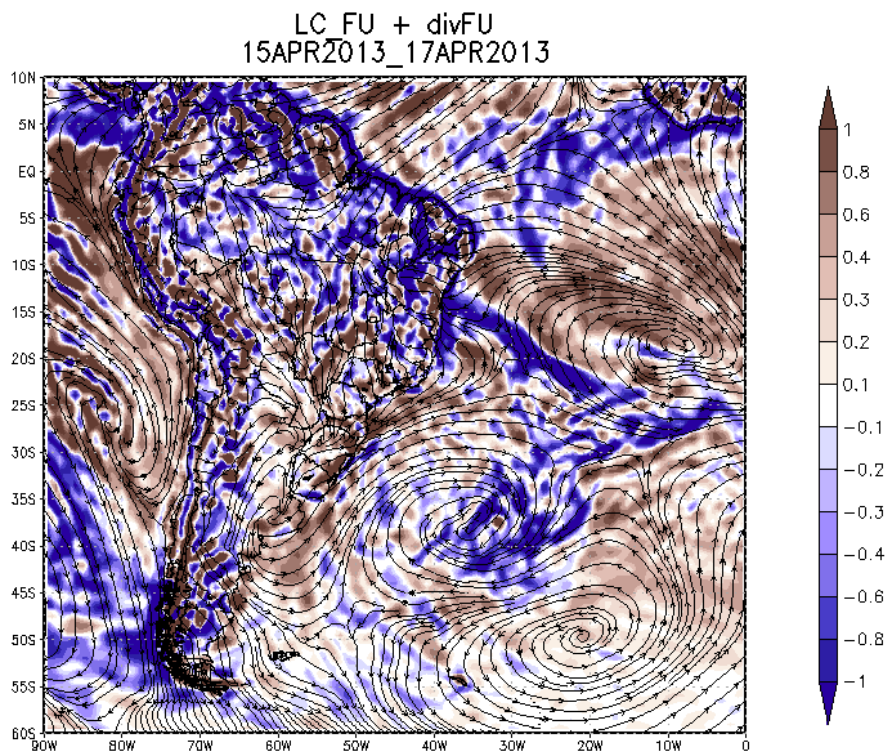


Figura B.18 – Idem a Figura B.1, exceto para ZCOU\_11.

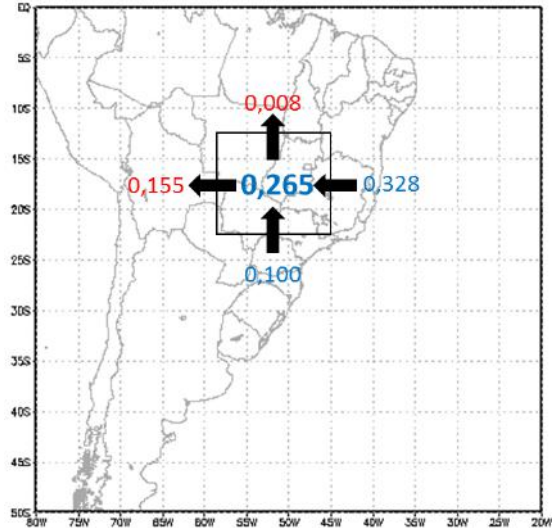
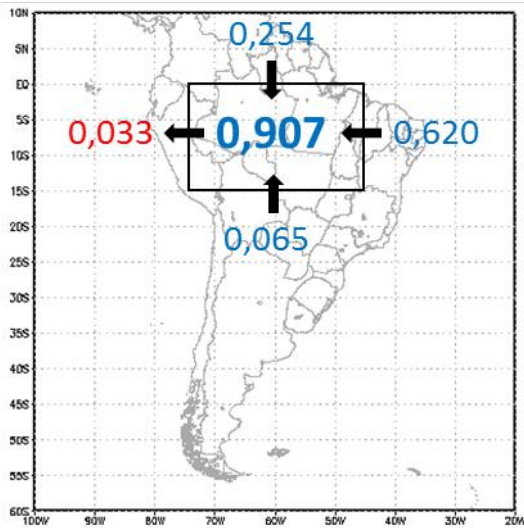


Figura B.19 – Saldo do fluxo de umidade ( $\times 10^7 \cdot \text{kg} \cdot \text{s}^{-1}$ ) em A1 (à esquerda) e A2 (à direita) durante ZCOU\_1.

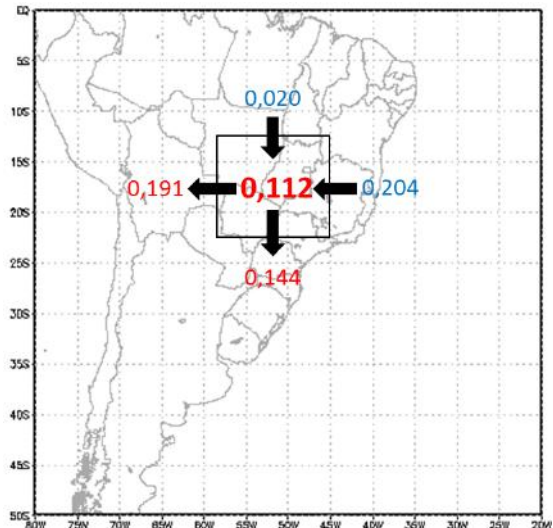
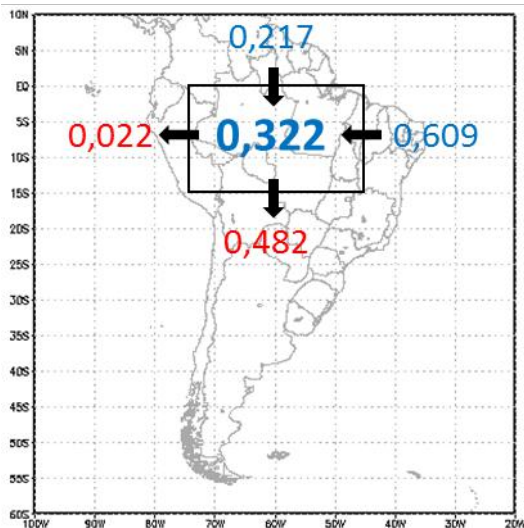


Figura B.20 – Idem a Figura B.19, exceto para ZCOU\_2.

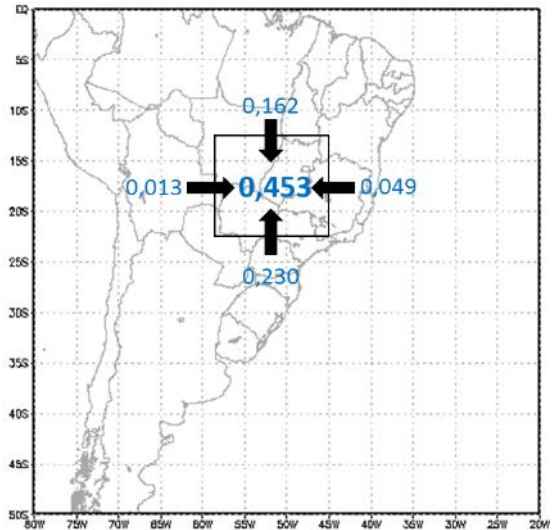
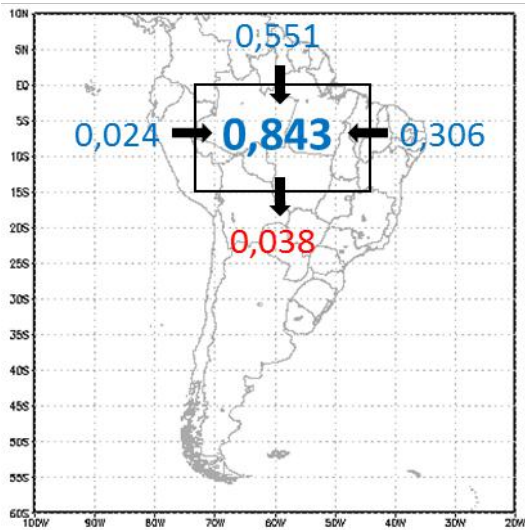


Figura B.21 – Idem a Figura B.19, exceto para ZCAS\_1.

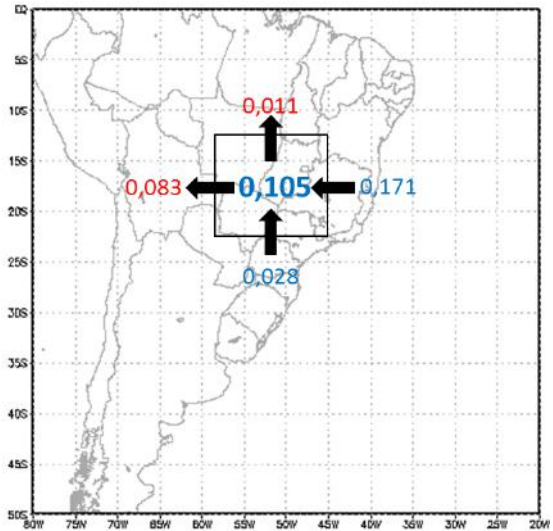
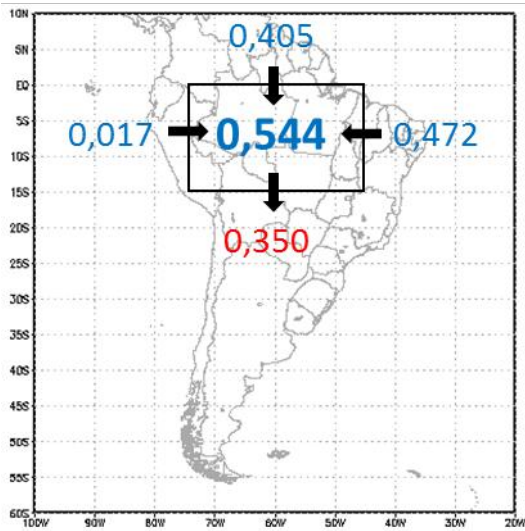


Figura B.22 – Idem a Figura B.19, exceto para ZCOU\_3.

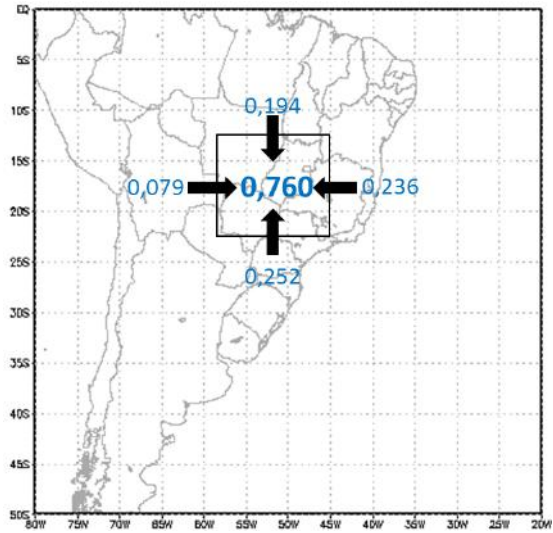
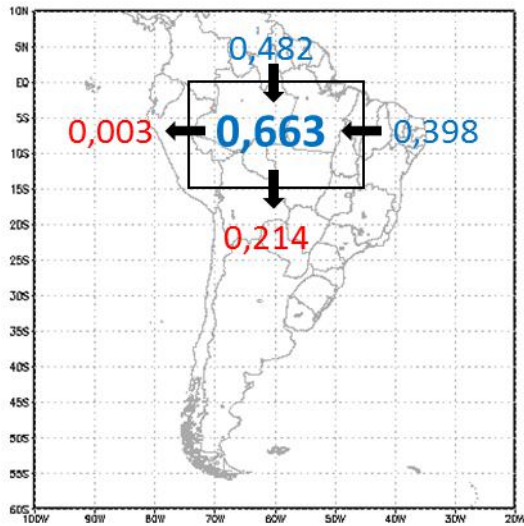


Figura B.23 – Idem a Figura B.19, exceto para ZCOU\_4.

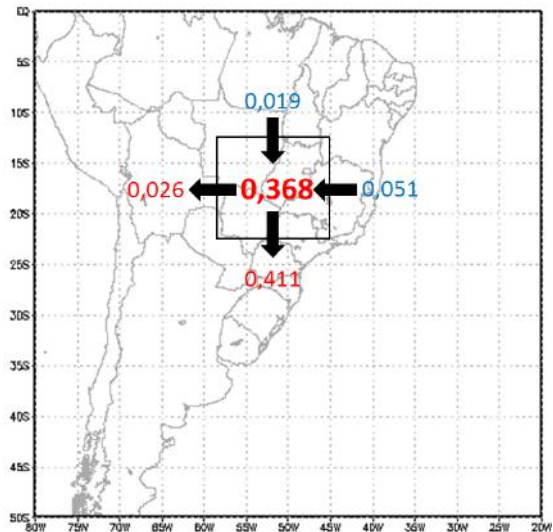
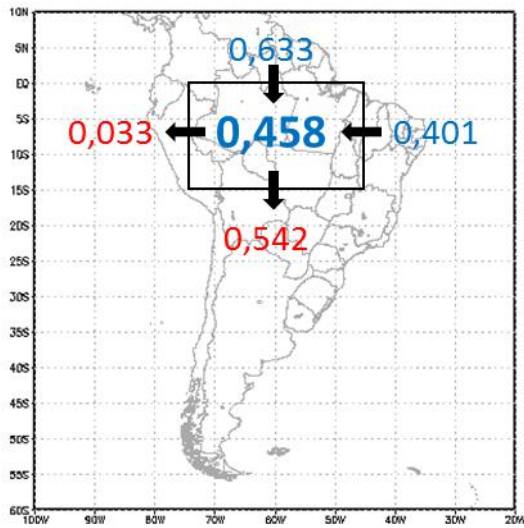


Figura B.24 – Idem a Figura B.19, exceto para ZCAS\_2.

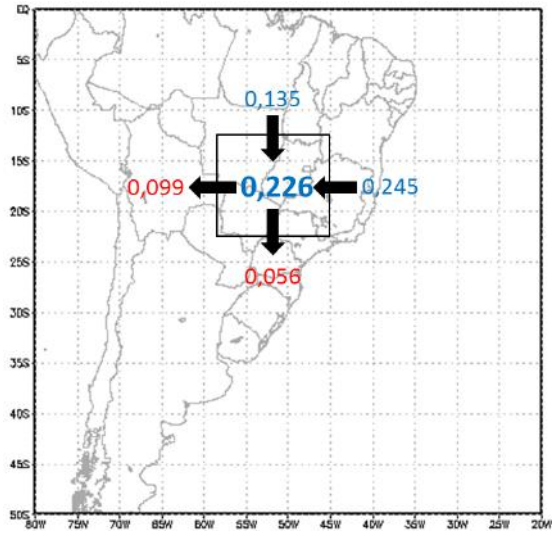
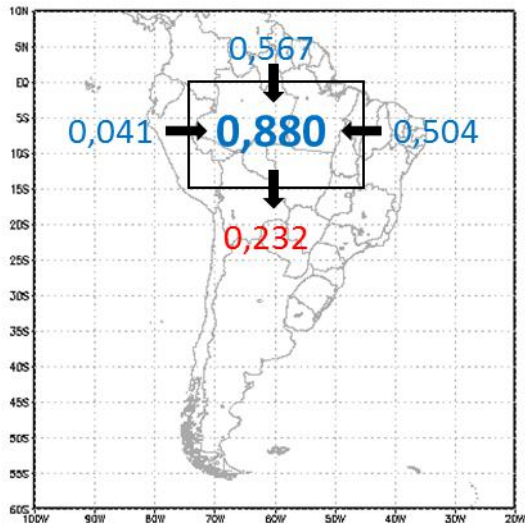


Figura B.25 – Idem a Figura B.19, exceto para ZCAS\_3.

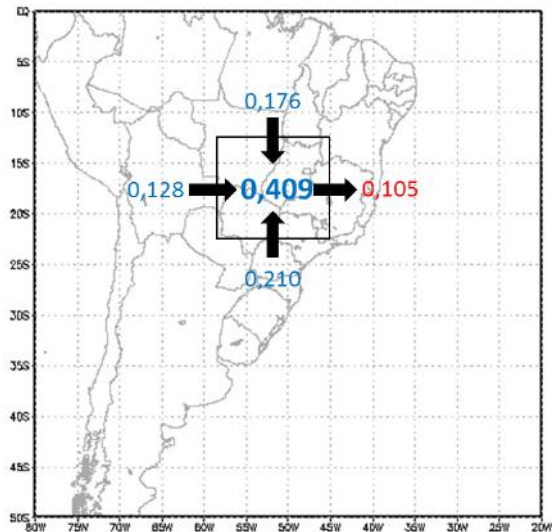
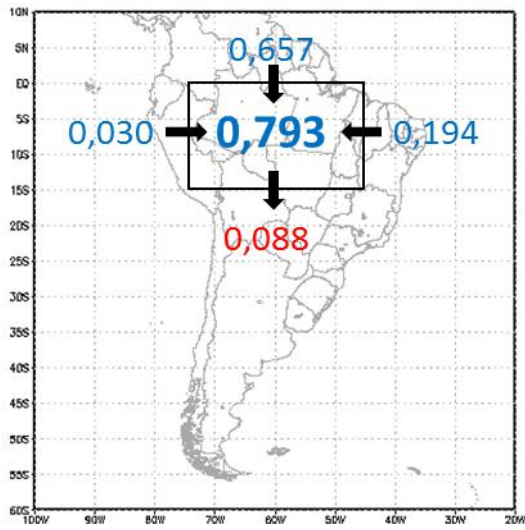


Figura B.26 – Idem a Figura B.19, exceto para ZCOU\_5.

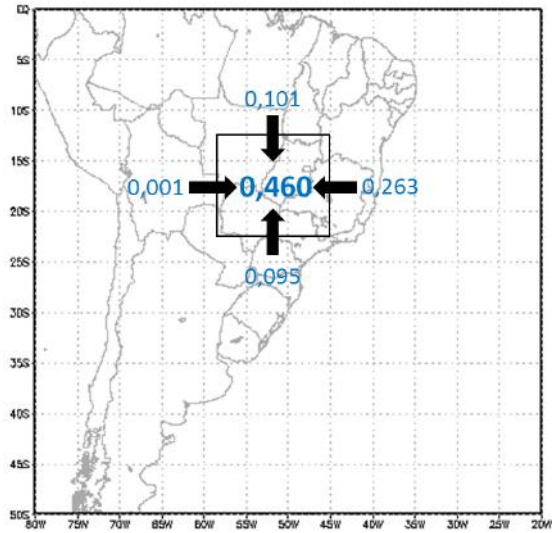
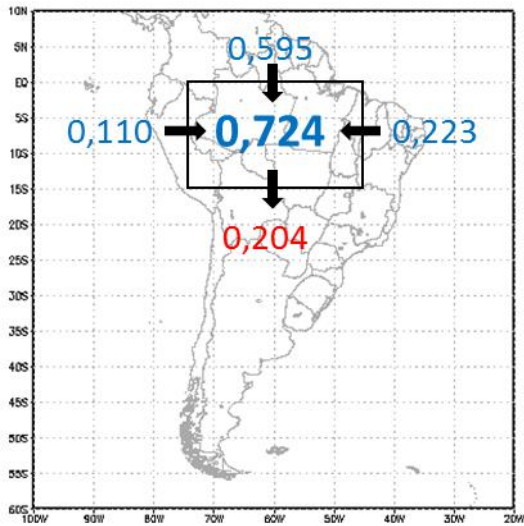


Figura B.27 – Idem a Figura B.19, exceto para ZCAS\_4.

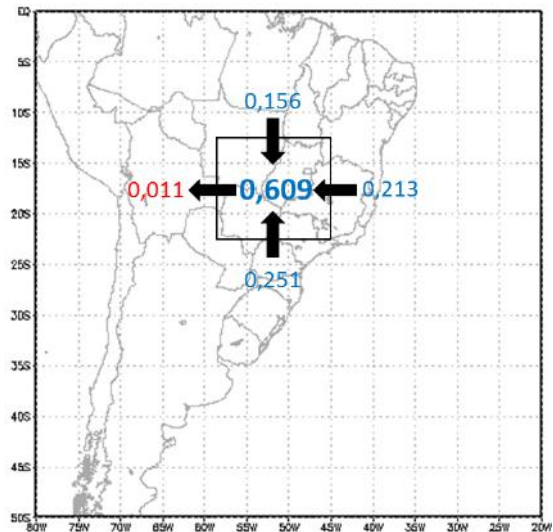
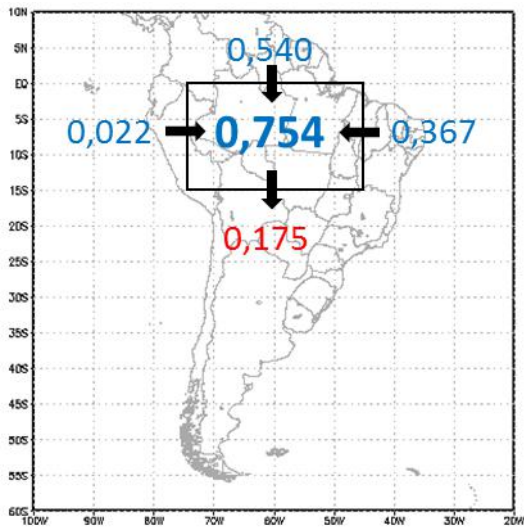


Figura B.28 – Idem a Figura B.19, exceto para ZCAS\_5.

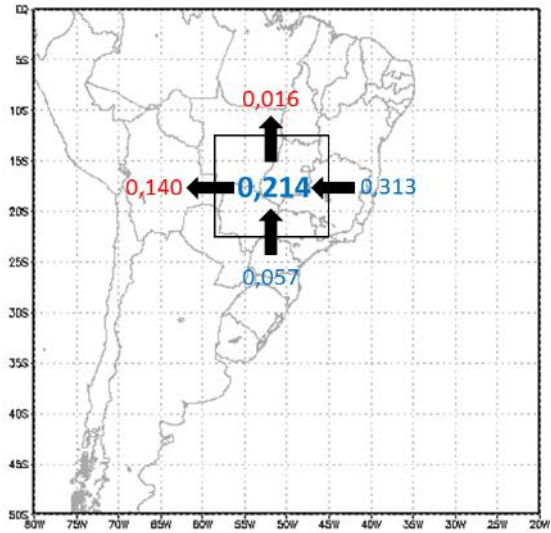
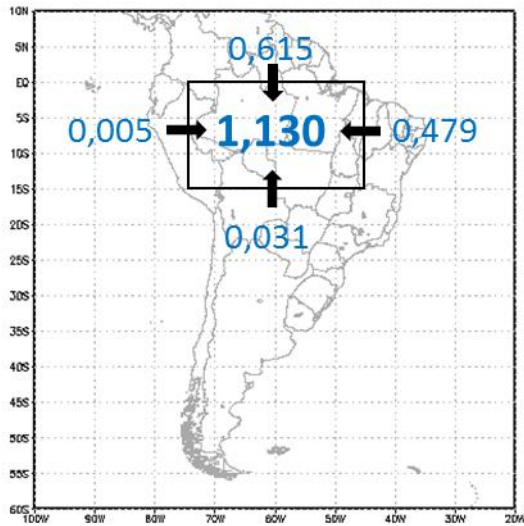


Figura B.29 – Idem a Figura B.19, exceto para ZCAS\_6.

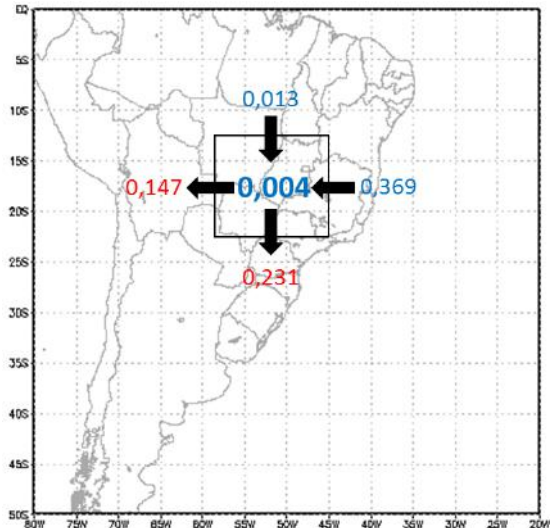
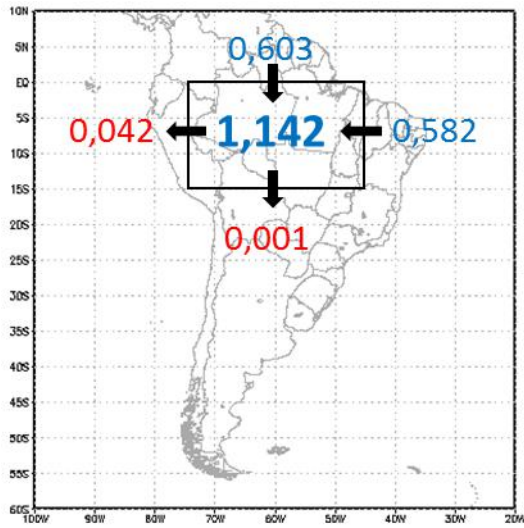


Figura B.30 – Idem a Figura B.19, exceto para ZCOU\_6.

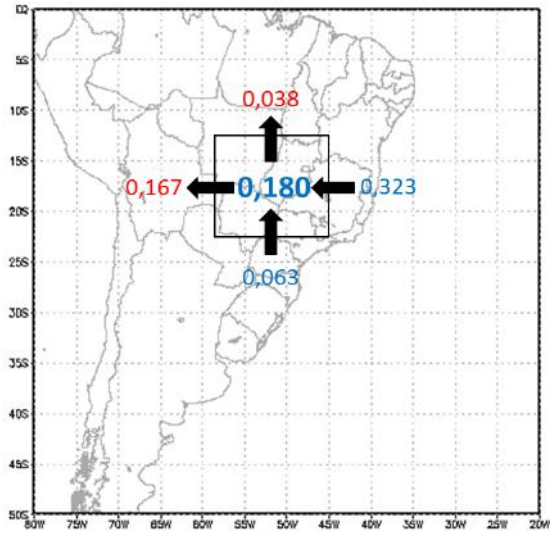
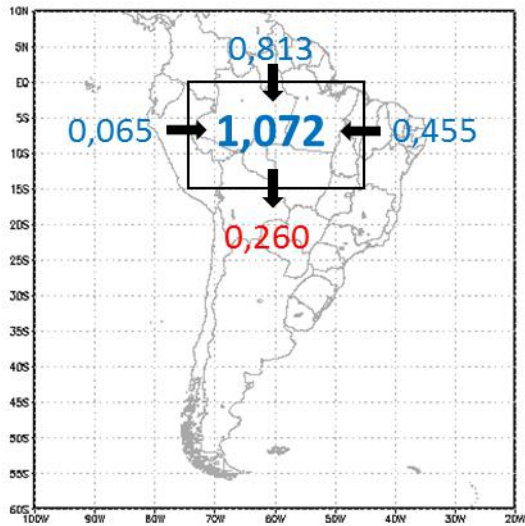


Figura B.31 – Idem a Figura B.19, exceto para ZCOU\_7.

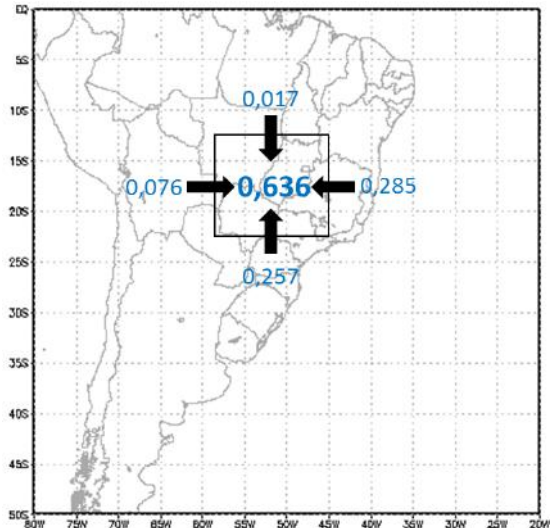
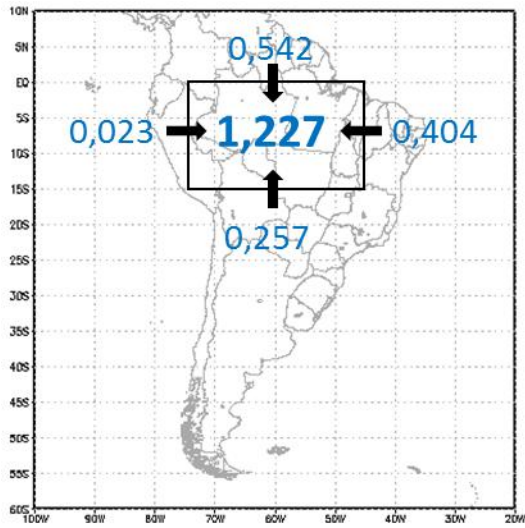


Figura B.32 – Idem a Figura B.19, exceto para ZCOU\_8.



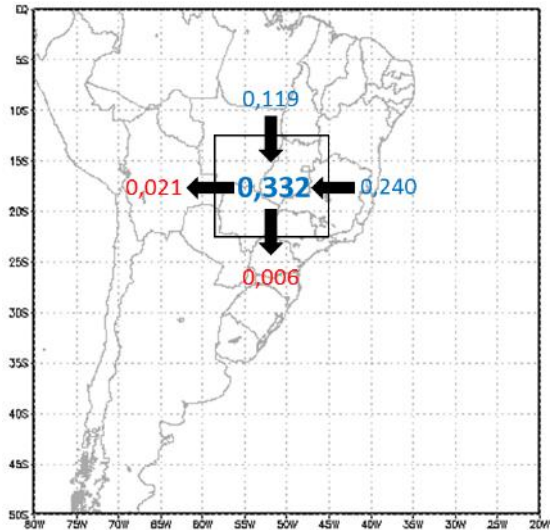
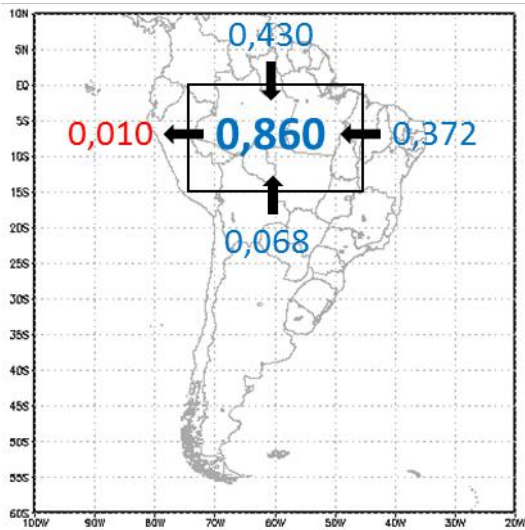


Figura B.33 – Idem a Figura B.19, exceto para ZCOU\_9.

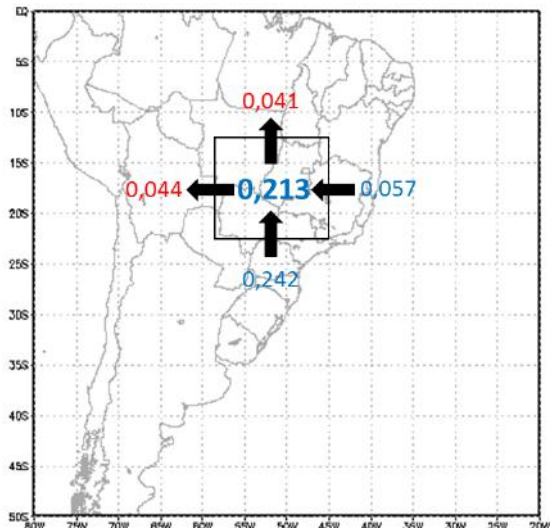
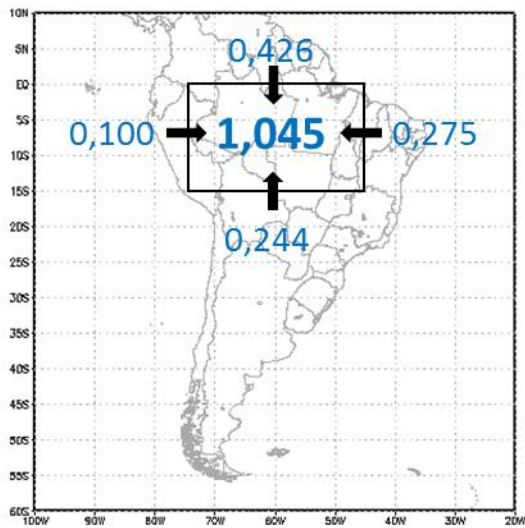


Figura B.34 – Idem a Figura B.19, exceto para ZCAS\_7.

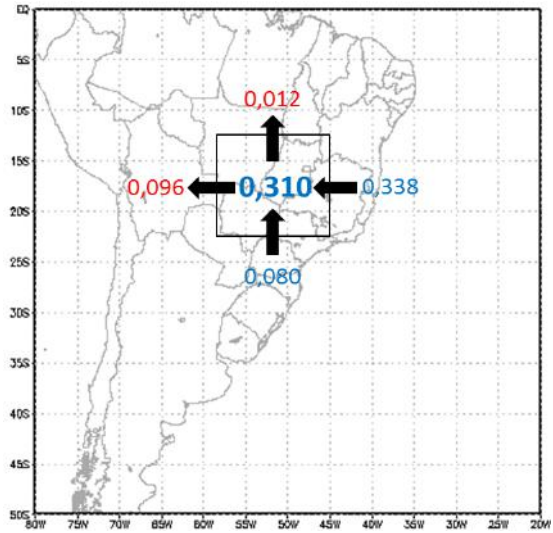
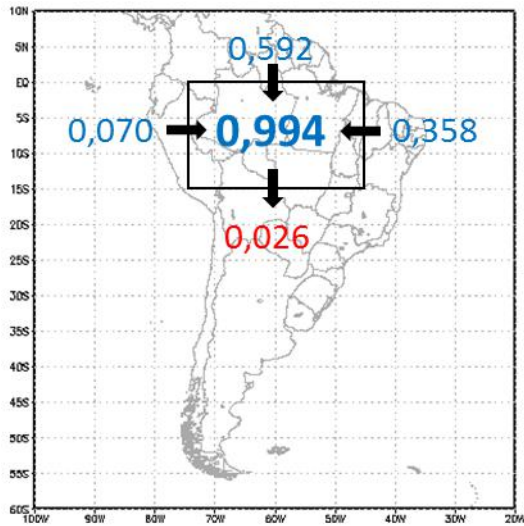


Figura B.35 – Idem a Figura B.19, exceto para ZCOU\_10.

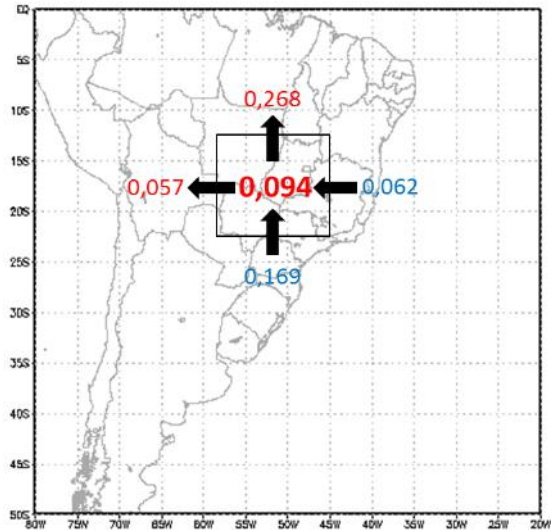
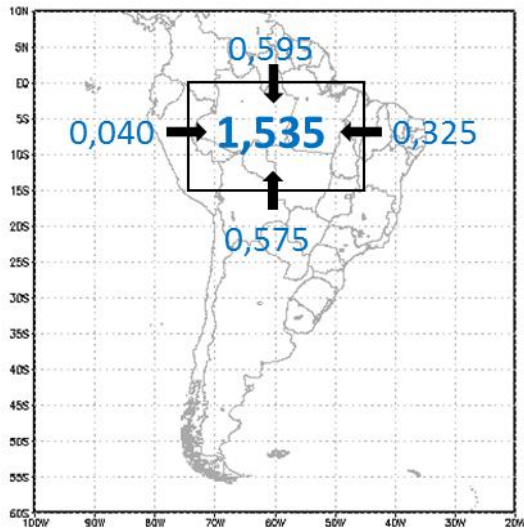


Figura B.36 – Idem a Figura B.19, exceto para ZCOU\_11.