



Variabilidade Climática Clima e Oceano

Estudo das componentes do balanço hidrológico durante ep de ZCAS

Study of the components of the hydrological balance during episode of SAC

Ana Paula da Silva Faggiani ^I

Mário Francisco Leal de Quadro ^{II}

Luis Gustavo de Gonçalves de Gonçalves ^{III}

Dirceu Luis Herdies ^{IV}

^I Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. E-mail: anapaula.svf@gmail.com.

^{II} Instituto Federal de Santa Catarina, Florianópolis, Brasil. E-mail: mquadro95@gmail.com.

^{III} Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Cachoeira Paulista, Brasil. E-mail: gustavo.degoncalves@gmail.com.

^{IV} Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos, Cachoeira Paulista, Brasil. E-mail: dherdies@gmail.com.

RESUMO

A Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) é um dos sistemas meteorológicos com forte papel no regime de chuvas na região Norte, Centro-Oeste e Sudeste do Brasil. Nesse sentido, este trabalho tem como objetivo analisar o ciclo diurno das componentes do balanço hidrológico durante eventos de ZCAS. Por meio dos dados horários da reanálise atmosférica Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA-2) foram analisadas as variáveis evapotranspiração, precipitação, convergência do fluxo de vapor de água e a variação do armazenamento de umidade na atmosfera com o tempo durante os períodos de madrugada, manhã, tarde e noite em toda a região da ZCAS e especificamente na Amazônia e Sudeste brasileiro. Na análise das regiões separadamente verifica-se que durante o período noturno, existe a atividade convectiva e divergência de vapor de água na Amazônia o que permite que o fluxo de vapor seja transportado para o Sudeste mesmo nos períodos noturnos. Sobre a região Sudeste é possível verificar que durante a madrugada a convergência de umidade atmosférica pode explicar quase totalmente a precipitação do período noturno. Ao longo do dia, grande parte da precipitação pode ser explicada pela diferença entre a evapotranspiração sobre o Sudeste.

ABSTRACT

The South Atlantic Convergence Zone (SACZ) is one of the meteorological systems that plays a strong role in the rainfall regime in many regions of Brazil. This work aims to analyze the diurnal cycle of the components of the hydrological balance during events of SACZ. Through data from the atmospheric reanalysis of Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA2) the variables evapotranspiration, precipitation, convective moisture flow and variation of moisture storage in the atmosphere with time during the day were analyzed. from dawn, morning, afternoon and night throughout the region of the SACZ, therefore, specifically in the region of the Amazon and Southeast Brazil. The analysis of the diurnal cycle separately shows that even during the night there is convective activity and divergence of moisture vapor in the Amazon, which allows the flow of steam to be transported to the southeast during the night periods. Over the Southeast region it is possible to verify that during the convergence of atmospheric humidity can explain almost entirely the precipitation during the night. During the hours of the day, much of the precipitation can be explained by the increase in evapotranspiration over the Southeast.

Keywords: Precipitation; Diurnal Cycle; Southeast; Amazon.

1 INTRODUÇÃO

De acordo com a Agência Nacional de Águas (ANA) as regiões brasileiras próximas ao oceano Atlântico possuem a menor concentração de recursos hídricos do país, possuem a maior densidade demográfica e, por conta disso, o uso da água é imprescindível para o bem-estar da população bem como a economia destas regiões. Na bacia Amazônica possui um papel importante na precipitação destas regiões, pois recebe água por meio do vapor transportado do Atlântico Tropical (MARENGO, 2005 e 2006a) e pela água do solo por meio da evapotranspiração da vegetação (TRENBERTH, 1999).

Assim como as antigas civilizações foram obrigadas a compreender como o clima varia ao longo das divisões das estações do ano, para que pudessem plantar e colher seu alimento no momento certo, atualmente é necessário que os principais fenômenos meteorológicos sejam compreendidos corretamente uma vez que, eles interferem na vida de inúmeras pessoas. Por consequência, decorrer dos últimos anos, estudos apontam a influência da Zona de Convergência do Sul (ZCAS) nos eventos extremos de precipitação. Carvalho *et al.* (2002) mostraram que a ZCAS está relacionada a intensos episódios de precipitação. Entretanto, Coelho *et al.* (2015) verificaram que a seca que afetou todo o Sudeste brasileiro esteja relacionada com a falta de formação da ZCAS.

Durante os meses de maior atividade convectiva no Hemisfério Sul, em geral entre os meses de outubro a março, o Sistema de Monção da América do Sul (SMAS) é responsável

transporte de umidade desde a região central da Amazônia até a região Sudeste do Brasil, responsável por grande parte da precipitação que ocorre na região da ZCAS (NOGUÉ: *et al.*, 2002; GRIMM, 2011; MATOS *et al.*, 2014; AMBRIZZI e FERRAZ, 2015). A ZCAS é um dos componentes do SMAS e é caracterizada por uma extensa banda de nebulosidade convectiva estacionária por vários dias, provocando alterações consideráveis no regime de chuvas das regiões afetadas, e compreende a região Noroeste da Amazônia estendendo-se a região do oceano Atlântico Sul. Esta zona de convergência é um dos sistemas meteorológicos atuantes da região Central do Brasil, pois afeta significativamente as regiões Norte, Centro-Oeste e Sudeste, sendo responsável por grande concentração de índices pluviométricos principalmente nos meses do verão austral (dezembro, janeiro e fevereiro) (FERREIRA *et al.*, 2004).

1.1 A Zona de Convergência do Atlântico Sul

Durante os meses de verão, a ZCAS está inserida em um padrão de circulação associado aos sistemas sinóticos característicos dessa época do ano como o SMAS, a Alta da Bolívia e o cavado (ou vórtice ciclônico) na costa nordeste do Brasil (FERREIRA *et al.*, 2004). Os estudos que notaram a presença de uma banda de nebulosidade convectiva por meio de observações de satélite ocorreram na década de 70. Taljaard (1972) observou a presença de uma banda de nebulosidade sobre a Amazônia e Krishnamurti *et al.* (1973) e Streten (1973) mostraram que a mesma banda está localizada próximo à costa leste dos continentes do Hemisfério Sul orientada na direção noroeste-sudeste. Quadro (1994) ressalta que a presença dessa banda de nebulosidade, que se estende desde o sul da Amazônia em direção sudeste até o Atlântico Subtropical, modifica consideravelmente o regime de chuvas das regiões afetadas. O autor ainda ressalta a influência da convecção tropical que contribui para a geração e manutenção da ZCAS. Segundo Quadro (1994), as características mais marcantes observadas nos campos meteorológicos analisados em episódios de ZCAS por um período de pelo menos 10 dias são: (i) convergência de umidade entre baixos e médios níveis (850 e 500 hPa); (ii) presença de um cavado na costa leste da América do Sul (AS) aliado a um movimento vertical ascendente com orientação noroeste-sudeste localizada em níveis da troposfera; (iii) na faixa de nebulosidade convectiva, uma crista é detectada no nível de pressão associado ao campo de temperatura potencial equivalente (θ_e) onde ocorre um forte contraste de temperatura na faixa de nebulosidade, que separa a massa de ar quente e úmida vinda dos trópicos da massa de ar frio e seco vinda de regiões de latitudes médias e altas; (iv) em níveis da troposfera (200 hPa) é observado uma área de vorticidade relativa positiva (ζ).

Sabe-se que as monções, de forma geral, são fenômenos que estão ligados a fortes variações de precipitação ou secas significativas durante diferentes épocas do ano. Segundo Quadro (1994), estes sistemas são caracterizados pela mudança sazonal, em baixos níveis, do vento e da precipitação às regiões continentais e oceânicas por conta do contraste térmico que elas possuem. Durante o verão, a circulação de leste prevalece no Atlântico Tropical e no Norte da AS durante todo o ano. Lau (1998) demonstraram que a estação de verão na AS é caracterizada pela mudança de anomalias mensais de ventos em baixos níveis. Uma das principais contribuições do S

regime pluviométrico da região central e norte da AS. Gan *et al.* (2004) comentaram que 50% da precipitação que ocorre durante o ano, na região da América do Sul tropical e acontecem nos meses de dezembro a fevereiro. Bombardi *et al.* (2014) mostraram que a precipitação nestas regiões está ligado ao deslocamento de ciclones extratropicais norte juntamente com o aumento da ciclogênese próximo à região Sudeste do Brasil. Albritton *et al.* (2015) constataram que nos meses de verão austral, onde o SMAS está presente, há probabilidade de ocorrer forte precipitação na região das ZCAS entre as fases 8 e 1 da fase de Madden - Julian (OMJ).

Marengo *et al.* (2012) citaram que um dos fatores que possui relação direta com a formação e manutenção da ZCAS, além da SMAS, é a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT). Correa (2013) durante o verão há a configuração de Zonas de Convergência (ZC) que contribuem no surgimento de sistemas atmosféricos que modificam as condições do tempo na região. A ZCIT, assim como todas as outras ZC, é uma banda de nuvens que, neste caso, atua em todo o globo terrestre na parte equatorial. Formada basicamente pela confluência de massas de ar alísios vindos do hemisfério sul e norte, ela influencia boa parte da bacia Amazônica trazendo calor e umidade provindos dos oceanos para as latitudes médias e altas. Segundo Kodama e Grimm e Silva Dias (1995), outra ZC que contribui para o estabelecimento e controle da ZCAS é a Zona de Convergência do Pacífico Sul (ZCPS). A ZCPS está situada sobre a região do oceano Pacífico e, assim como a ZCAS, também possui orientação de noroeste-sudeste. Segundo os autores, por meio desta contribuição, a ZCAS acaba interferindo na Zona de Convergência do Índico Sul (ZCIS).

Para identificar de forma mais clara os eventos de ZCAS foram utilizados estudos de modelagem numérica da atmosfera. Um dos primeiros estudos neste sentido foram aplicados por Figueroa *et al.* (1995) e Lenters e Cook (1995), que ressaltaram a importância da umidade presente na Amazônia, bem como a análise do fluxo de calor para caracterizar satisfatoriamente a detecção dos eventos de ZCAS. Dessa forma, Nielsen *et al.* (2019) mostram que existe a possibilidade de quantificar a ZCAS e o SMAS em diferentes escalas de tempo. Para analisar períodos chuvosos do SMAS e três modelos de configuração da ZCAS, os autores apresentaram resultados positivos no período úmido do SMAS com as anomalias interanuais de precipitação.

Dentre as análises que auxiliam na detecção de episódios de ZCAS, alguns autores desenvolveram métodos objetivos, por meio de dados observacionais. Ambrizzi e Ferraz (2008) apresentaram um critério objetivo que leva em consideração apenas a precipitação, visto que esta é uma variável que é adquirida de maneira mais fácil em modelos de circulação geral. O método proposto pelos autores ter superestimado o número de eventos de ZCAS, o que foi considerado satisfatório quando comparado com dados de precipitação simulada e observada. Escobar (2019) ao elaborar uma nota técnica, revela outro método objetivo tendo em vista a aplicação nos centros meteorológicos operacionais do país ao analisar quantitativamente a metodologia em dois eventos de ZCAS que mostraram diferentes padrões sinóticos. Rosa (2020), ao apresentar um algoritmo de detecção automática para ZCAS revela que

dias ativos de ZCAS aconteceram durante o verão austral. A autora sugere que o vórtice nos casos apresentados, que fica mais ao norte da posição climatológica, seja útil para diferenciar as ZCAS continentais das oceânicas.

É de conhecimento comum que diferentes sistemas em diferentes escalas podem influenciar a distribuição ou manutenção da ZCAS. Na escala interanual, Ferreira *et al.* (2004) observaram em anos de El Niño o número de ZCAS registrado foi menor do que em anos de La Niña. Entretanto, Nogués-Paegle e Mo (1997) também compararam as fases quente e fria da ZCAS, mostrando que em anos de El Niño (La Niña) ocorre o favorecimento de ZCAS (Continental). Quadro (1994) sugeriu, ao examinar dois casos extremos de ZCAS, que a ZCAS de um evento de El Niño, a mesma tende a se formar em regiões atípicas e de um evento de La Niña, a mesma tende a ser menos intensa. Entretanto, na escala intrasazonal, Carvalho *et al.* (2004) mostraram como a ZCAS modula a intensidade de eventos de ZCAS. Robertson e Mechoso (2000) ressaltaram que as anomalias positivas da temperatura de superfície do mar (TSM) são associadas ao enfraquecimento da ZCAS.

Embora muitos trabalhos expliquem a interação da ZCAS com fenômenos climáticos em escalas maiores, poucos destes buscaram compreender os fatores que contribuem para os padrões de precipitação hidrológicos e como a precipitação se comporta nesses eventos. Nogués-Paegle e Mo (1997) mostraram que a intensidade e localização da ZCAS é afetada pelo Jato de Baixos Pressões (JBNAS) por meio da gangorra, onde ocorre a diminuição (aumento) do fluxo de umidade (aumento (diminuição) da precipitação na região da ZCAS. Sanches *et al.* (1996) analisaram a variação do ciclo diurno onde constataram que a convecção pertencente a região da ZCAS permanece centralizada sobre o continente no período da tarde e noite, disseminando-se para o oceano apenas no período da madrugada e manhã.

1.2 Umidade na região da ZCAS

O balanço hidrológico é o somatório das quantidades de água que entram e saem de uma determinada área da atmosfera (solo), e seu estudo é imprescindível visto que, a quantidade de água líquida que permanece na atmosfera (solo) pode contribuir significativamente para a manutenção e transporte da precipitação dentro da região da ZCAS. Nesse sentido, vários estudos apontam que, devido ao processo de evapotranspiração, o escoamento de umidade pode modificar a intensidade da convergência da mesma (CAVALCANTI *et al.*, 2002, REBORETO *et al.*, 2009, MARENGO, 2005). Berbery e Barros (2002) mostraram que a umidade contida na atmosfera Amazônica auxilia, durante o verão austral, com a manutenção da precipitação na bacia Amazônica por meio do fluxo de umidade horizontal. Satyamurty *et al.* (2013) destacaram que os índices pluviométricos ocorridos na bacia Amazônica durante a estação chuvosa de verão resultaram da atividade convectiva ocorrida sobre o continente, apoiada pelo aumento da convergência de umidade.

Para conseguir compreender como ocorre a distribuição e o ciclo da precipitação na região da atuação da ZCAS, deve-se olhar primeiramente para o balanço de umidade que se estabelece na área. Quadro *et al.* (2013) citaram que, na região tropical, o fluxo de umidade vem

integrado está ligado com a condução de umidade que é transportada por meio dos ventos. Entretanto, Herdies *et al.* (2002) mostraram que o Jato de Baixos Níveis (JBN) permanece forte e se posiciona mais a leste, implicando em um fluxo de umidade e convergência concentrados perto do Sudeste do Brasil, alimentando a convecção associada à ZCAS. (2006) utilizaram um modelo numérico de previsão para avaliar o impacto de diferentes níveis de umidade do solo nos padrões de precipitação relacionados a um evento de ZCAS.

Ao identificar como o balanço de umidade se comporta na região da ZCAS, a compreensão da modulação diurna da convecção é facilitada. Por meio deste entendimento pode-se entender como de fato ocorre, a precipitação nestas áreas. Alguns estudos foram realizados com o intuito de entender este comportamento. Cutrim *et al.* (2000) estudaram a frequência com que ocorrem os episódios de precipitação e como ela varia durante o dia, mostrando que no leste da América do Sul o pico de precipitação ocorre no final da tarde (às 16 horas local). Sanches (2002) identificou que a atividade convectiva mais intensa ocorre na parte continental da ZCAS em comparação com a oceânica, o mesmo sugere que a AB, juntamente com a topografia e a alta umidade contribuem para esse aumento de intensidade. Kousky *et al.* (2006) analisaram o ciclo diurno de precipitação na AS, com base na NOAA's Climate Prediction Center morphing technique, e identificaram um máximo de precipitação ocorrendo no período da noite sobre o oceano próximo a região da ZCAS.

Estudos mostram a importância do ciclo diurno da precipitação revelando que a variabilidade dos sistemas meteorológicos é encontrada na escala de tempo diurna. Além disso, os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCM) possuem grande importância na precipitação da costa nordeste da AS, por meio da formação de linhas de instabilidade que se estendem para o sudeste do continente colaborando para picos de precipitação a tarde central e oriental (JANOWIAK *et al.*, 2005; ROMATSCHKE e HOUZE, 2010; REBOITA e YANG e SMITH, 2006). Da Rocha (2009) verificou o desempenho do *Regional Climate Model version 3* (RegCM3) ao comparar a precipitação simulada por este com diversos dados observados de precipitação. O autor ressalta que embora o RegCM3 tenha respondido de maneira convergente a escala local, mesoescala e grande escala o mesmo conseguiu descrever as características referente a fase e potência do ciclo diurno da precipitação na AS. Giles e Thompson (2003) identificaram a bacia Amazônica, o planalto brasileiro, a costa nordeste da AS entre outros locais onde o ciclo diurno é mais significativo. Os autores averiguaram o ciclo diurno de precipitação na AS utilizando uma reanálise, dois modelos climáticos regionais e dois dados de precipitação por satélite analisando a média climatológica do ciclo diurno da precipitação dos meses de outubro a março (período em que ocorre o SMAS). Ainda mostrando que os modelos analisados, por exemplo, não retratam a precipitação noturna que ocorre no Sudeste da AS devido ao SCM visto que a resolução espacial destes modelos não descreve os sistemas convectivos de mesoescala.

Tendo em vista os estudos apresentados, por meio deste estudo pretende-se melhorar a compreensão dos processos que ocorrem em pequena escala espacial e temporal, e identificar os episódios de ZCAS. Para isso, pretende-se: (i) entender o papel das componentes c

hidrológico no ciclo diurno da ZCAS e (ii) identificar regiões com maior acúmulo de precipitação como estas se comportam durante o ciclo diurno.

2 MATERIAL E MÉTODOS

Para realizar o estudo das componentes do balanço hidrológico durante o ciclo diurno da ZCAS foram analisadas as duas áreas em destaque na Figura 1, que representam a bacia Amazônica (quadrado do canto superior esquerdo) e a região Sudeste brasileira do canto inferior direito). A Tabela 1 apresenta os eventos de ZCAS selecionados para estudo. A sequência de datas dos respectivos episódios escolhidos para a análise foi feita por meio do método automático de detecção proposto por ROSA (2017). A autora elaborou um algoritmo automático que contribuiu para a detecção da ZCAS por meio da característica de escala espacial e temporal da Radiação de Onda Longa Emergente (ROL) associada ao aparecimento da banda de nebulosidade da Zona de Convergência do Atlântico Sul.

Figura 1 – Área de estudo com o retângulo maior representando a região de atuação da ZCAS e ambos os quadrados representando áreas de análise do ciclo diurno do Balanço Atmosférico e em Superfície

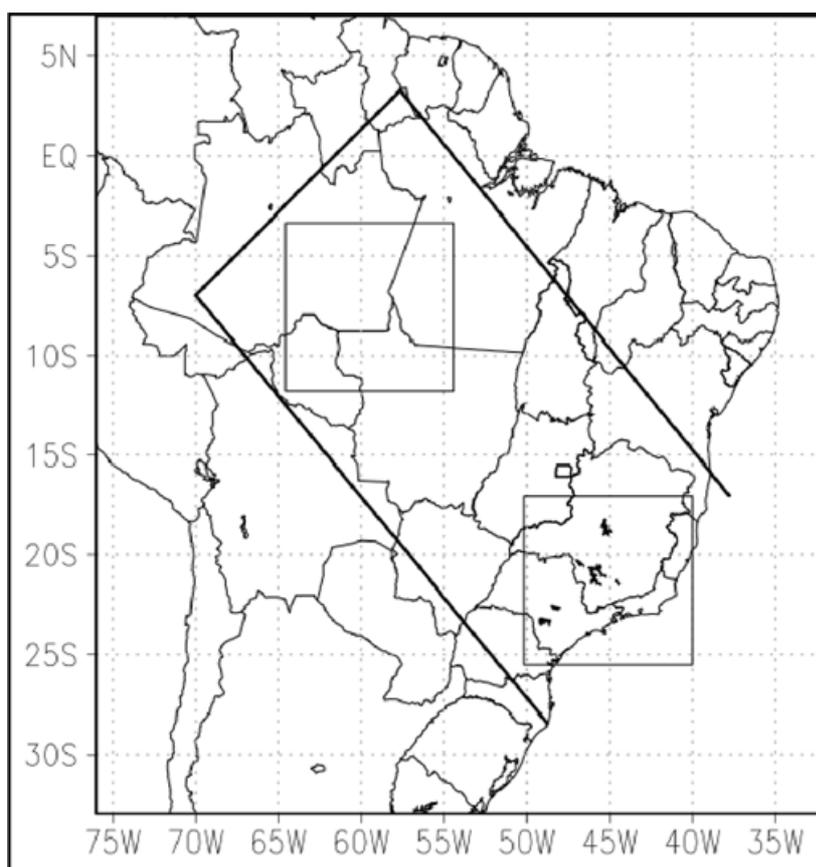


Tabela 1 – Período e número de dias de ocorrência dos episódios de ZCAS

Período	Nº dias	Período	Nº dias
02/01/1997 - 05/01/1997	4	20/01/1997 - 29/01/1997	10
10/12/2013 - 25/12/2013	16	15/01/2014 - 20/01/2014	6

Os dados utilizados neste estudo, com resolução de $0.625^\circ \times 0.5$, foram disponibilizados pelo meio da reanálise atmosférica do *Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications, Version 2 (MERRA2)*. O MERRA2 foi desenvolvido pelo *Global Modeling Assmilation Office (GMAO)* da *National Aeronautics and Space Administration (NASA)* a partir da versão original *Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications* conforme Rienecker *et al.* (2011) que utilizou a versão mais atual do *Goddard Earth System Model (GEOS-5)*. Um dos motivos para tal mudança foi o aumento no número de observações acessíveis para a assimilação no MERRA2. Vale ressaltar que, a atual versão do MERRA2 apresenta a precipitação com o viés corrigido, que será utilizada nesse estudo e denominada *precipcorr*, baseado no calibre elaborado para MERRA-Land (REICHLE e REICHLE, 2012; REICHLE e LIU, 2014). Os dados estão disponíveis on-line por meio do *Earth Sciences (GES) Data and Information Services Center* (<http://disc.sci.gsfc.nasa.gov/mdisc/>), conforme BOSILOVICH *et al.* (2016).

Para a configuração do balanço hidrológico durante o ciclo diurno da ZCAS, a Equação 1 é a equação do balanço hidrológico levando em consideração apenas a parte atmosférica (Equação 1) e apenas a parte superficial (Equação 2). Dessa forma, o balanço de umidade para a superfície pode ser descrito como:

$$\frac{\Delta \omega a}{\Delta t} - \nabla \cdot Q = \varepsilon - \mathcal{P}$$

em que, ε é a evaporação superficial ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$), \mathcal{P} é a precipitação acumulada na superfície ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) com bias corrigido, $\nabla \cdot Q$ é a convergência de umidade integrada na atmosfera ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) e $\frac{\Delta \omega a}{\Delta t}$ é a variação do armazenamento de umidade na atmosfera ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) com o tempo. Entretanto, a Equação 2, por sua vez, apresenta o balanço hidrológico na superfície:

$$\varepsilon - \mathcal{P} = \varphi - \mathcal{R} - \frac{\Delta \omega s}{\Delta t}$$

em que, φ é a taxa residual de água no solo ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$), \mathcal{R} é a soma do escoamento superficial com o escoamento de base ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$), e $\frac{\Delta \omega s}{\Delta t}$ é a variação do armazenamento de umidade na superfície ($\text{kg m}^{-2} \text{s}^{-1}$) com o tempo.

As componentes calculadas nas Equações 1 e 2 são comparadas, para cada região selecionada na Tabela 1, buscando caracterizar o balanço hidrológico (atmosférico e superficial) na região da ZCAS. Para maior compreensão do comportamento das variáveis do balanço hidrológico atmosférico foi gerada a Tabela 4 e Tabela 5, para cada região respectivamente. Apresentam alguns produtos estatísticos como: valor mínimo (MIN), valor máximo (MAX), valor médio (MED) e o desvio padrão (DPA) para cada variável. Os valores apresentados são calculados para todo o período em questão de cada caso retratado. Vale ressaltar que, os valores positivos (negativos) de $\frac{\Delta\omega a}{\Delta t}$ mostra que há um incremento (decremento) em um dado passo de armazenamento de umidade na atmosfera. Neste caso, o valor máximo significa que um ganho ocorreu de um passo de tempo para o próximo período em questão. Para maior impacto que cada variável, de ambos os balanços, possui durante os episódios de seca, foram gerada a Figura 2 e Figura 6 que apresentam como as variáveis se comportam durante o período diurno.

Para facilitar a compreensão houve uma subdivisão em quatro subfiguras, que representam a região e o tipo de balanço, respectivamente. A Tabela 2 apresenta de forma detalhada as variáveis que foram analisadas para caracterizar o balanço hidrológico atmosférico. O conjunto de reanálise MERRA2 não possui a variável que apresenta a variação do armazenamento de umidade na atmosfera, por conta disso, a mesma foi isolada e obtida por meio da Equação 1. A Tabela 3, por sua vez, apresenta as variáveis que foram analisadas para caracterizar o balanço hidrológico superficial. Embora o conjunto de reanálise MERRA2 possua a variável ϕ (SPWA), neste trabalho esta variável foi obtida por meio da Equação 2. As variáveis \mathcal{E} e \mathcal{P} são as mesmas utilizadas em ambas as equações.

Tabela 2 – Descrição das variáveis para a Equação 1

Nome original da variável	Nome usual da variável	Descrição
Evland	\mathcal{E}	evapotranspiração
Prectotcorr	\mathcal{P}	precipitação total com o viés corrigido
(uflxqv;vflxqv)	$\Delta \cdot Q$	fluxo de eastward e northward do vapor de água na atmosfera

Tabela 3 – Descrição das variáveis para a Equação 2

Nome original da variável	Nome usual da variável	Descrição
runoff + baseflow	\mathcal{R}	escoamento superficial incluindo escoamento de vazão e fluxo da base, respectivamente

Por fim, para verificar como ocorre o comportamento das variáveis do balanço superficial foi gerada a Figura 3 e Figura 7 a fim de detectar o resíduo que estas possuem. Para isso é feito o somatório de todas as componentes da Equação 2 durante o período em análise. Destaca-se que, para este estudo a convergência do fluxo de água é apresentada nas tabelas e gráficos encontra-se com o oceano mascarado. Além disso, a Figura 3 apresenta apenas as componentes médias da atmosfera para o impacto integrado do balanço hídrico na atmosfera durante o período estudado. Lembrando que, a contribuição da superfície terrestre é representada pela evapotranspiração. Entretanto, em uma análise tendo em vista as interações entre os diferentes reservatórios de água, todas as componentes do balanço hídrico (atmosférico e de superfície terrestre) são apresentados nas séries temporais.

Foram gerados mapas (Figuras 4 e 5, Figuras 8 e 9) por meio do software GrADS (Grid Analysis and Display System), fornecido pelo COLA (Center for Ocean-Land-Atmosphere Interactions), que apresentam o comportamento das componentes do balanço hídrico atmosférico e superficial para os períodos da madrugada, manhã, tarde e noite. Para cada caso foi calculada, inicialmente, a média de cada hora para cada episódio e posteriormente a média acumulada (6 horas) do período. A fim de buscar atender ao ciclo diurno local, o período da madrugada abrange os horários entre 03-08 UTC, o da manhã os horários entre 09-14 UTC, a tarde os horários entre 15-20 UTC e o da noite os horários entre 21-02 UTC. Especialmente neste trabalho são apresentados os resultados para o primeiro e terceiro caso, a escolha desta maneira pois são casos de ZCAS oceânica em que ocorre um maior impacto do balanço hídrico de umidade para a região Sudeste.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Tabela 4 apresenta um sumário das componentes do balanço hídrico atmosférico para dois episódios analisados na região Sudeste do Brasil. Nota-se que a convergência de umidade é responsável pelos altos níveis de precipitação. Para os dois episódios analisados é possível observar para o balanço atmosférico que é a soma da evaporação e convergência de umidade é superior ao valor da precipitação. Com isso, verifica-se saldo positivo da variação de umidade em cada passo de tempo de umidade disponível na atmosfera. Esse padrão se observa nos mínimos, máximos e médios encontrados. Com relação ao desvio padrão, os maiores valores são observados nas componentes ε e $\frac{\Delta\omega a}{\Delta t}$, o que indica uma maior variabilidade no comportamento dessas variáveis em relação às demais. Esse fato pode indicar que, em episódios de precipitação e convergência de umidade na coluna atmosférica sofrem menor influência do ciclo diurno.

Entretanto, na região da bacia Amazônica (Tabela 5), ao analisar o balanço e para os dois casos em estudo, nota-se que o valor do mesmo é inferior ao valor da pr Esses resultados estão de acordo com os apresentados por Nascimento *et al.* (2016 autores mostraram que entre os anos 1979 e 2008 a região Amazônica se comportou sumidouro de umidade e a precipitação foi superior à evapotranspiração. Desta forma, na média um saldo negativo da variação de umidade disponível na atmosfera o que que, com o passar do tempo, ocorreu maior perda de água da atmosfera para o solo, c justificar os altos valores de precipitação. Entretanto, ao analisar o desvio padrão, c valores são encontrados nas componentes ε , $\Delta \cdot Q$ e $\frac{\Delta \omega a}{\Delta t}$, o que sugere que a precipita região está ligada a outros fatores e não a variação do ciclo diurno das componentes (hidrológico da atmosfera. Diversos autores retrataram a importância do transporte de u região da bacia Amazônica e que segue para o sul do Brasil (MARENGO, 2004; PAEGLE *et al.*, 2002; GRIMM, 2011; MATOS *et al.*, 2014; AMBRIZZI e FERRAZ, 2015).

Tabela 4 – Estatísticas dos valores acumulados (mm) das componentes do Balanço Hid atmosfera para área selecionada na Região Sudeste do Brasil

Variável	Caso 1 (ZCAS Oceânica)				Caso 3 (ZCAS Oceânica)			
	02/01/1997 - 05/01/1997				10/12/2013 - 25/12/2013			
	Min	Max	Med	Dpa	Min	Max	Med	Dpa
$\frac{\Delta \omega a}{\Delta t}$	-113,0	151,3	18,5	56,6	-159,8	214,5	51,6	71,8
$\Delta \cdot Q$	90,5	442,9	262,3	92,3	-38,9	316,2	135,1	75,5
ε	1,5	176,6	48,3	53,8	0,7	180,4	52,1	57,6
\mathcal{P}	108,7	457,6	292,1	104,9	7,1	393,7	135,6	79,6

Tabela 5 – Estatísticas dos valores acumulados (mm) das componentes do Balanço Hid atmosfera para área selecionada da bacia Amazônica

Variável	Caso 1 (ZCAS Oceânica)				Caso 3 (ZCAS Oceânica)			
	02/01/1997 - 05/01/1997				10/12/2013 - 25/12/2013			
	Min	Max	Med	Dpa	Min	Max	Med	Dpa
$\frac{\Delta \omega a}{\Delta t}$	-197,5	53,8	-41,0	49,7	-189,0	102,4	-27,4	49,3
$\Delta \cdot Q$	-69,5	30,9	-12,3	19,8	-81,4	103,8	14,0	33,3
ε	-0,3	132,5	35,5	44,2	-0,2	110,9	27,5	34,4

3.1 Caso 1 - 02/01/1997 - 05/01/1997

O ciclo diurno das componentes do balanço hidrológico de ambas as regiões é representado na Figura 2. Para a região Sudeste, analisando a evolução temporal do balanço hidrológico na atmosfera (Fig. 2a) de cada variável separadamente, nota-se que, em ambas as regiões, a variação da precipitação (\mathcal{P}) é acompanhada pela convergência de umidade, como observado na Tabela 4. Apenas nos dois últimos dias (4 e 5 de janeiro de 1997) se observa a maior influência do ciclo diurno nestas variáveis. Enquanto a evaporação (\mathcal{E}) apresenta um comportamento bem determinado pelo aquecimento diurno, a variação com o tempo da precipitação disponível na atmosfera depende do balanço entre precipitação, convergência de umidade e elevação de \mathcal{E} durante o período diurno. Durante o episódio pode-se notar também em ambas as áreas, o valor da variável $\mathcal{E}-\mathcal{P}$ encontra-se negativo (Figura 2a e 2b) o que indica a importância da convergência de umidade no aporte de umidade para a precipitação na superfície (Figura 2b) verificou-se que boa parte da água precipitada é escoada por meio do escoamento (\mathcal{R}), mas é possível observar água armazenada a cada passo de tempo (valores positivos). Outra influência direta do ciclo diurno é que, durante a noite, com a ausência de evaporação, aumenta o armazenamento de água disponível na superfície.

Sobre a bacia Amazônica (Figuras 2c e 2d), é possível observar um comportamento das variáveis do balanço mais dependente do ciclo diurno. Assim como na região Sudeste, os valores de precipitação se concentraram nos dois primeiros dias dos episódios. Nos dois últimos dias, como a redução de \mathcal{P} , possivelmente devido a redução da nebulosidade, verificou-se um aumento de \mathcal{E} , chegando a uma inversão de sinal da diferença $\mathcal{E}-\mathcal{P}$ (mais evaporação do que precipitação). Nessa região, verifica-se um aporte menor de convergência de umidade em comparação com a região Sudeste do Brasil, chegando a atingir valores negativos (divergência de umidade) durante o período vespertino (Figura 2c). Em ambas as regiões, a variação do armazenamento de água acompanha o ciclo da precipitação nos dois primeiros dias, uma vez que o escoamento é muito pequeno, invertendo seu sinal para negativo no final do período. Em ambas as regiões, as taxas residuais de água no solo ficaram em torno de zero, indicando um resíduo pequeno de umidade.

O resíduo do balanço hidrológico da superfície de ambas as regiões é apresentado na Figura 3. Apesar de ocorrer alguns picos durante o período da manhã e madrugada (Figura 3b) o somatório das componentes do balanço hidrológico mostra-se muito pequeno, uma vez que os valores estão multiplicados pela potência 14 (10^{14}). Esse fato indica um bom comportamento de todas as variáveis em estudo. Alguns autores analisaram o resíduo do balanço hídrico em uma escala de tempo maior, e constataram que este pode acarretar em um aporte de precipitação total no acumulado do período (NASCIMENTO *et al.*, 2016; MARENCO e KARAM e BRAS, 2008).

Figura 2 – Componentes do Balanço Hidrológico da Atmosfera e Superfície, respectivamente as regiões Sudeste (a) e (b) e bacia Amazônica (c) e (d)

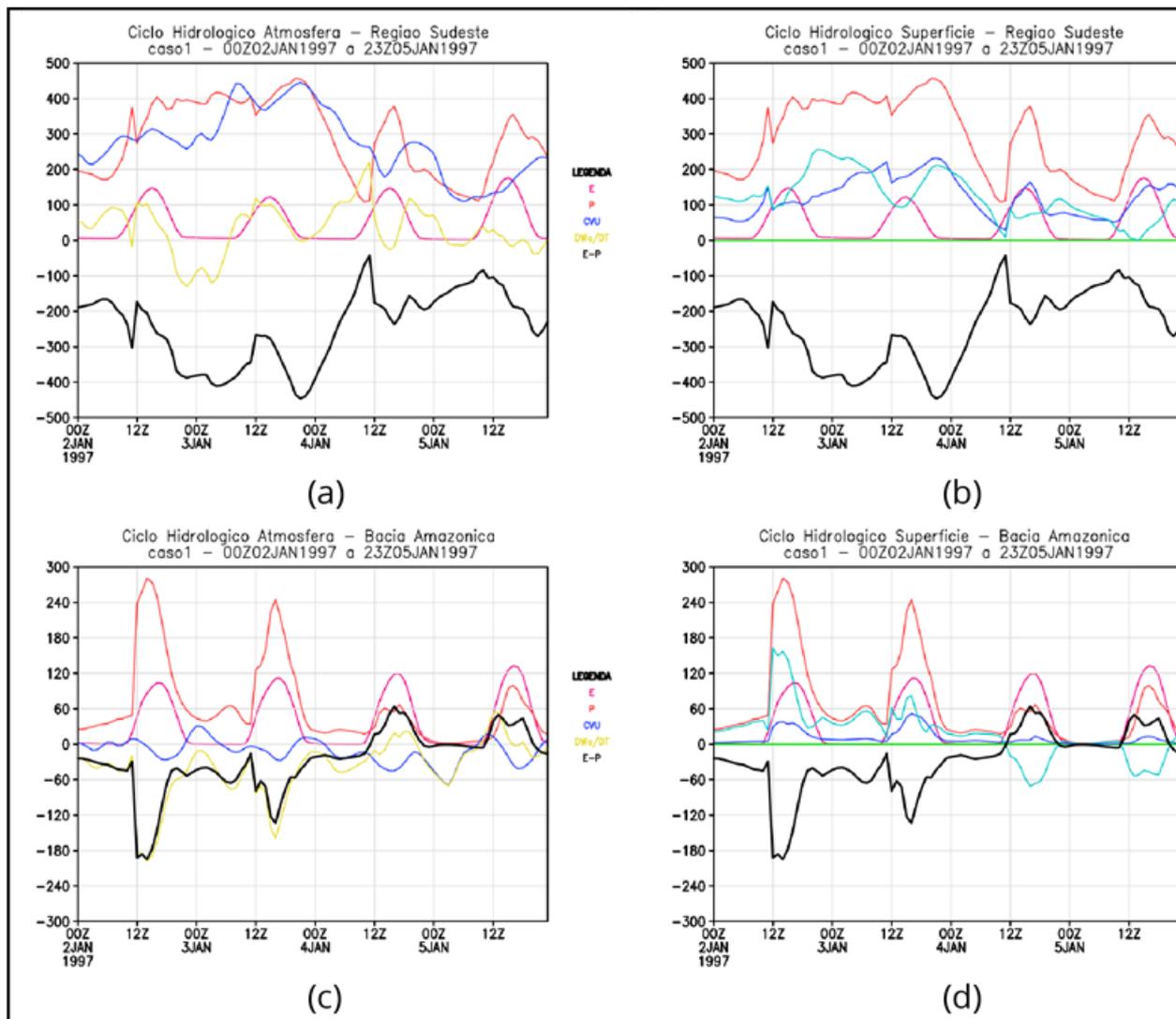
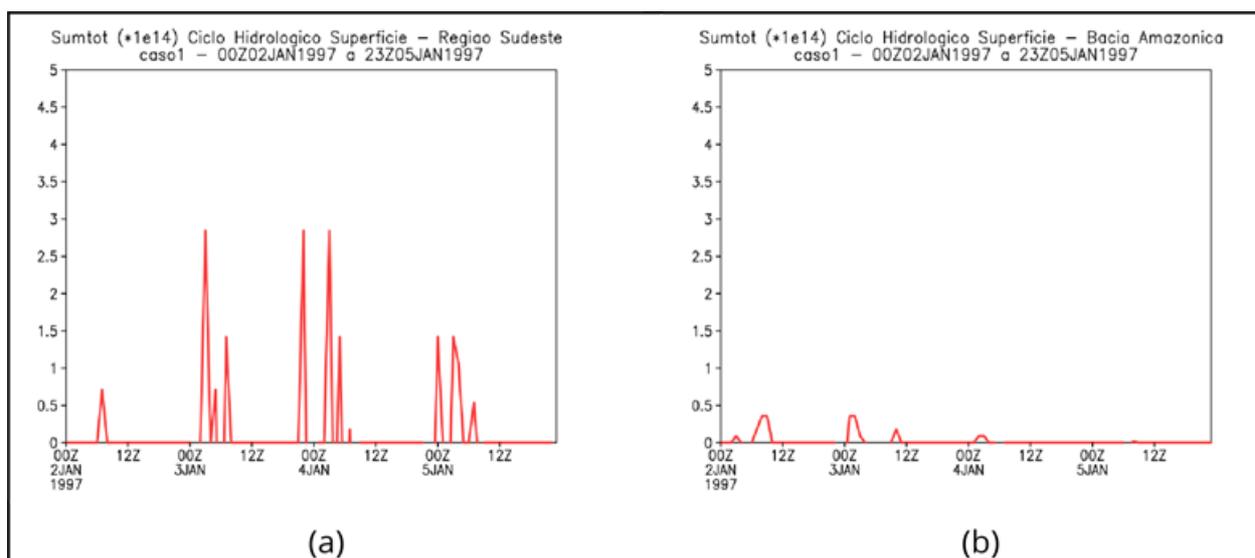


Figura 3 – Somatório das componentes do Balanço Hidrológico da Superfície para o (a) região Sudeste e (b) região da bacia Amazônica



As Figuras 4 e 5 apresentam as componentes dos balanços hidrológicos atmosféricos para os períodos diurno e noturno, respectivamente. Durante o período diurno, na componente atmosférica, verifica-se claramente maiores volumes de \mathcal{P} (Figura 4b) em comparação com o período noturno (Figura 4a), principalmente sobre a Região SE e sobre o estado de Goiás. Essa precipitação é suportada pela convergência de umidade (Figura 4c) e pelo armazenamento de umidade na atmosfera (Figura 4d) principalmente sobre os estados de São Paulo e Rio de Janeiro. Por meio da Figura 4e se observa que, em grande parte da região da ZCAS são verificados valores negativos de \mathcal{R} que ressalta a importância do aporte de umidade externa à ZCAS, oriunda principalmente dos ventos alísios (Figura 4c). Na componente superficial, associada a maior \mathcal{P} e $\Delta \cdot Q$ observa-se maiores valores de \mathcal{R} (Figura 4e) sobre o Sudeste do Brasil. Além disso, na região de maior confluência do fluxo de umidade são observados valores positivos de $\frac{\Delta \omega s}{\Delta t}$ (Figura 4d) indicando que parte da água precipitada nessa região é armazenada ao longo do tempo. Nas demais regiões ao longo da ZCAS também se observam valores positivos de $\frac{\Delta \omega a}{\Delta t}$ e \mathcal{R} , porém com menor intensidade.

Apesar de não ocorrer evapotranspiração no período noturno (Figura 5a), nota-se a confluência dos ventos na região Sudeste da ZCAS continua (Figura 5c), fazendo com que a intensidade da convergência de umidade permaneça a mesma diminuindo apenas sua atuação. Para este período, nota-se que a precipitação se mantém principalmente por causa da convergência de umidade (Figura 5c). Entretanto, analisando a Figura 5d, nota-se que na bacia Amazônica ocorre um aumento na área em que os valores do armazenamento de umidade na atmosfera são negativos fazendo com que, nessas regiões, a precipitação seja maior (Figura 5b). Particularmente sobre o norte da região Sudeste e sobre o estado de Mato Grosso, os máximos de precipitação noturna contribuem com o escoamento superficial (Figura 5e). Além disso, na Figura 5f é possível observar que durante a noite a superfície armazena água que é disponibilizada para a evaporação no dia seguinte.

Figura 4 – Mapas acumulados de (a) evaporação, (b) precipitação, (c) convergência de umidade, (d) variação do armazenamento de umidade na atmosfera, (e) escoamento superficial e (f) variação do armazenamento de umidade na superfície, médios para os períodos diurno e noturno (09UTC a 20UTC) para o episódio de ZCAS ocorrido entre 00UTC de 02 a 05 de janeiro de 1997. Unidade em mm/12h

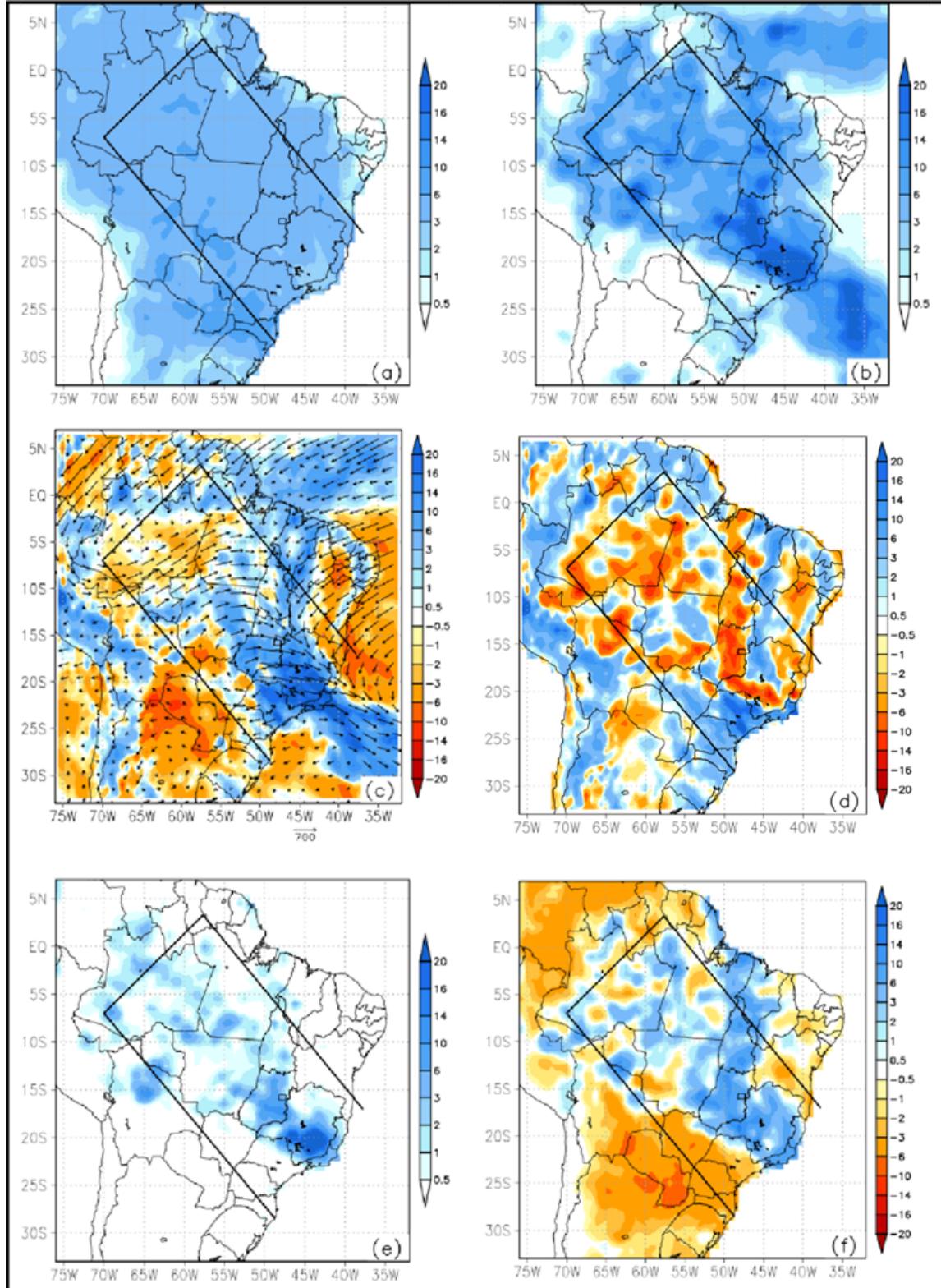
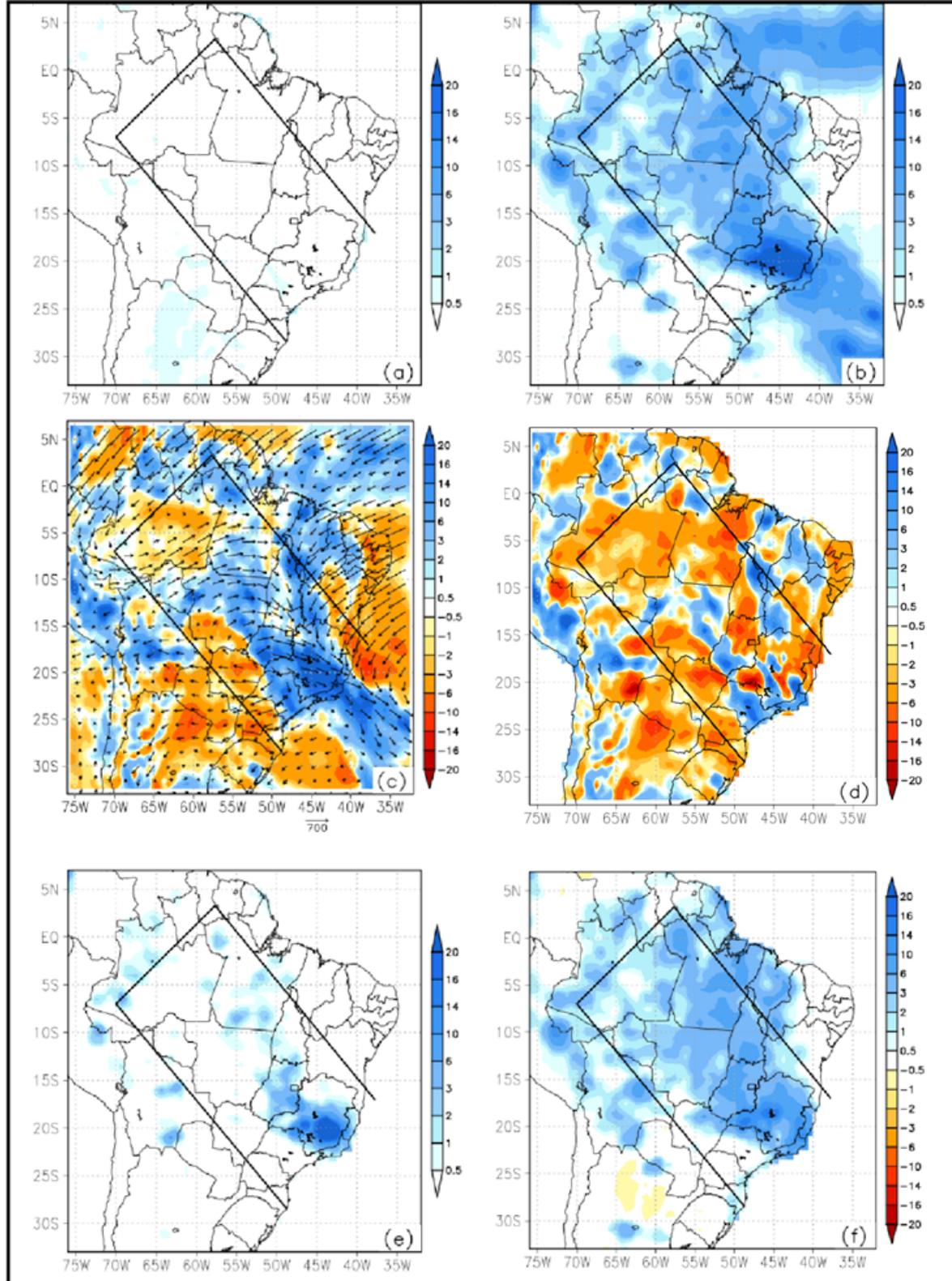


Figura 5 – Mapas acumulados de (a) evaporação, (b) precipitação, (c) convergência e divergência de umidade, (d) variação do armazenamento de umidade na atmosfera, (e) escoamento e divergência de umidade na superfície, médios para os períodos madrugada (21 a 08 UTC). Para o episódio de ZCAS ocorrido entre 00UTC de 02 a 23 de janeiro de 1997. Unidade em mm/12h.



3.2 Caso 3 - 10/12/2013 - 25/12/2013:

A variação das componentes do balanço hidrológico (superficial e atmosférico) p as regiões é representada na Figura 6. Analisando a Figura 6a observa-se que a $\nabla \cdot Q$ papel importante para o aporte de umidade, e a consequente precipitação, nesta região entre os dias 12 e 13 verificam-se valores negativos de $\nabla \cdot Q$ (divergência de ur evapotranspiração, assim como para o caso 1, apresenta um ciclo bem comportado de

pelo aquecimento diurno. Entretanto, diferentemente do caso 1, a variação com o umidade disponível na atmosfera acompanha a variação da variável $\mathcal{E}-\mathcal{P}$ na primeira período. Conforme o período avança e a $\nabla \cdot \mathcal{Q}$ aumenta esta também passa a influenciar o aumento de $\frac{\Delta \omega s}{\Delta t}$ (maior armazenamento de umidade com o tempo). Pode-se notar que $\mathcal{E}-\mathcal{P}$ oscila durante o período entre valores positivos e negativos. Os valores positivos encontram-se geralmente no período da tarde e quando a variação com o armazenamento de umidade na atmosfera ultrapassa os valores da convergência de umidade. Entretanto, para o balanço hidrológico superficial (Figura 6b), nota-se que grande \mathcal{P} é armazenada no solo, uma vez que os valores de \mathcal{R} são pequenos. Assim como identificou-se que, durante a noite, com a ausência de evapotranspiração, ocorre o armazenamento de umidade disponível na superfície. Neste caso a variação da velocidade condiz com os momentos onde a $\frac{\Delta \omega s}{\Delta t}$ encontra-se negativa.

Entretanto, analisando o balanço hidrológico atmosférico para a região da bacia Amazônica (Figura 6c) observa-se que, diferentemente da região Sudeste, \mathcal{P} começa muito pequena. $\nabla \cdot \mathcal{Q}$ é negativa (divergência). Assim como no caso 1, a precipitação ($\mathcal{E}-\mathcal{P}$) neste período é suportada pela \mathcal{E} e a variação positiva do armazenamento da umidade com o tempo durante o período da manhã. Mesmo a $\nabla \cdot \mathcal{Q}$ se elevando durante o período da madrugada, o volume de \mathcal{P} continua aumentando, o que não existe a \mathcal{E} para contribuir com o aumento de \mathcal{P} . Conforme o período avança, verifica-se então a contribuição tanto da $\nabla \cdot \mathcal{Q}$ quanto da \mathcal{E} para a manutenção da precipitação. De forma distinta ao caso 1, a divergência ocorre em diferentes períodos do dia (madrugada, manhã, tarde e noite). Neste caso, a diferença $\mathcal{E}-\mathcal{P}$ acompanha a variação do armazenamento de umidade na atmosfera durante o tempo. Na superfície (Figura 6d), a variação do armazenamento de umidade no solo começa negativo visto que ocorre pouca precipitação. Conforme a precipitação aumenta esta começa a afetar o $\frac{\Delta \omega s}{\Delta t}$ fazendo com que este acompanhe seu ciclo. Assim como no caso 1, em ambas regiões, os valores da taxa residual de água no solo (PHY) ficaram em torno de zero, indicando um resíduo pequeno no balanço de umidade.

O resíduo do balanço hidrológico da superfície de ambas as regiões é apresentado na Figura 7. Embora ocorra mais variações durante os dias na região da bacia Amazônica (Figura 7b), o somatório das componentes do balanço hidrológico, assim como no caso 1, mostra-se muito pequeno (lembrando que os valores apresentados nas figuras estão multiplicados pela 10^{14}) o que mostra um bom comportamento de todas as variáveis em estudo.

Figura 6 – Componentes do Balanço Hidrológico da Atmosfera e Superfície, respectivamente para as regiões Sudeste (a) e (b) e bacia Amazônica (c) e (d)

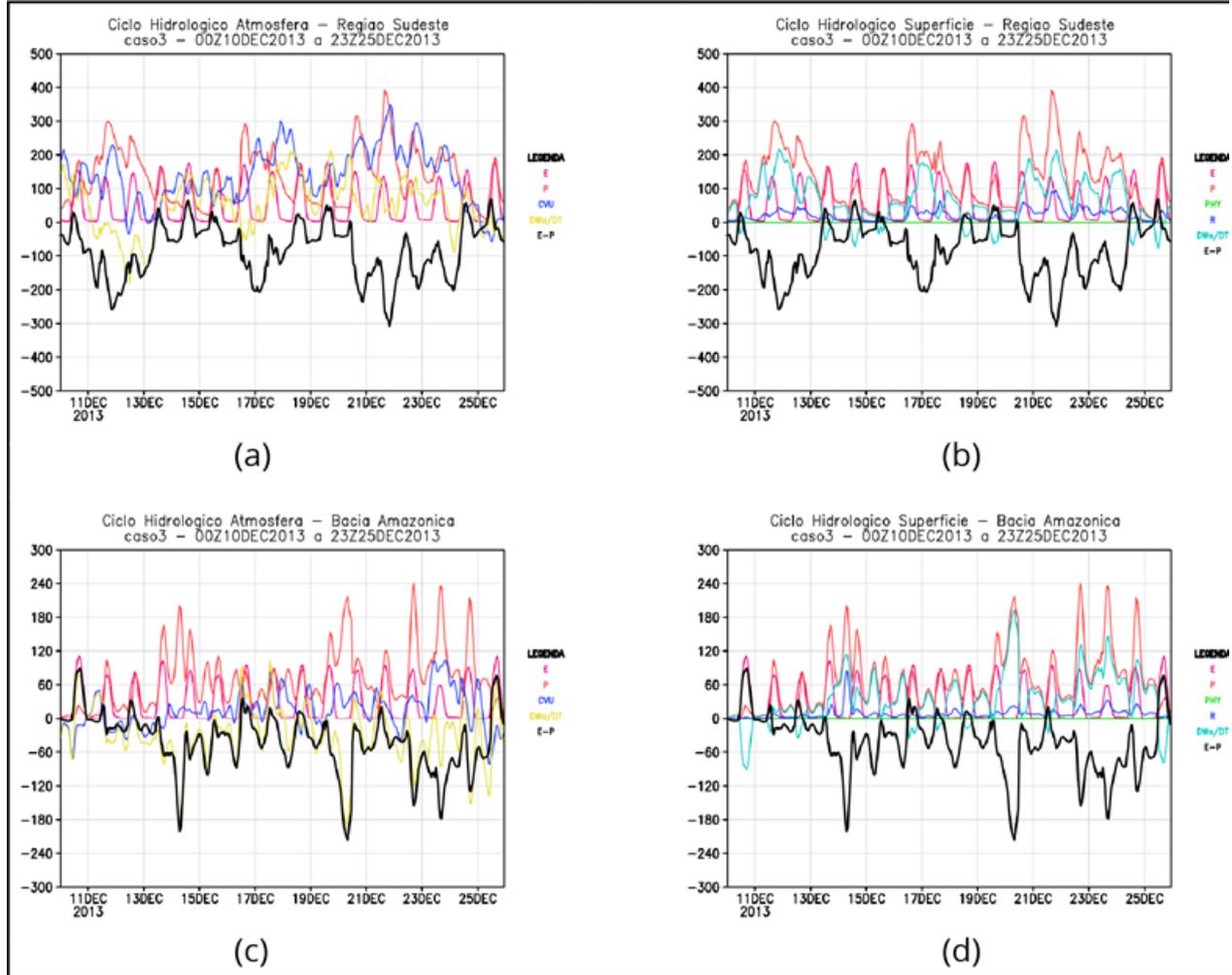
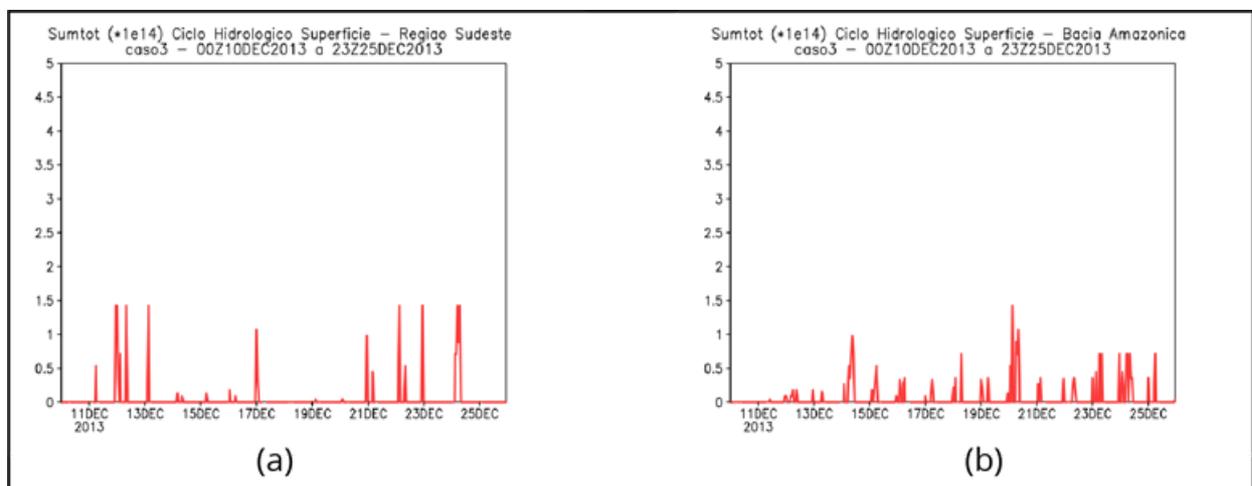


Figura 7 – Somatório das componentes do Balanço Hidrológico da Superfície para o (a) região Sudeste e (b) região da bacia Amazônica



As componentes dos balanços hidrológicos atmosférico e superficial para os diurno e noturno, respectivamente, são retratadas nas Figuras 8 e 9. Analisando o período na componente atmosférica, verifica-se que \mathcal{P} (Figura 8b) encontra-se com aproximadamente próximos aos valores apresentados para a evapotranspiração (Figura

observados dois núcleos principais de \mathcal{P} que abrange as áreas do estado de Rondônia oeste do Mato Grosso além dos estados de Minas Gerais, Espírito Santo e Rio de Janeiro. A precipitação é suportada basicamente pela convergência de umidade (Figura 8c) provenientes dos ventos alísios (bacia Amazônica) e da confluência que ocorre na região Sudeste. Na Figura 8d, nota-se que nas regiões onde ocorrem os núcleos de precipitação existem variações negativas da variação com o tempo do armazenamento de umidade na atmosfera, o que neste período, ocorre uma perda de umidade. Na componente superficial, relações maiores valores de \mathcal{P} , também se constata maiores valores de \mathcal{R} (Figura 8e). Assim como no caso 1, na região de maior confluência do fluxo de umidade são observados valores positivos de \mathcal{R} (Figura 8f), indicando que parte da água precipitada nessa região é armazenada na superfície ao longo do tempo.

Assim como no caso 1, apesar de não ocorrer evapotranspiração no período noturno (Figura 9a), nota-se que existe um aumento na convergência do fluxo de umidade (Figura 9b) que faz com que a precipitação (Figura 9c) se mantenha na região da ZCAS. No entanto, a Figura 9d, observa-se que a variação do armazenamento de umidade na atmosfera contribuiu para a manutenção de \mathcal{P} , fazendo com que a precipitação diminuiu onde ocorreram variações negativas. Por meio do núcleo de precipitação que ainda se mantém intensificado na região Sudeste, pode-se observar valores positivos do escoamento superficial (Figura 9e). De forma que é retratado no caso 1, analisando a Figura 9f, é possível observar que durante o período noturno a superfície armazena água que será disponibilizada para a evaporação no dia seguinte.

Figura 8 – Mapas acumulados de (a) evaporação, (b) precipitação, (c) convergência de umidade, (d) variação do armazenamento de umidade na atmosfera, (e) escoamento superficial, (f) variação do armazenamento de umidade na superfície, médios para os períodos matutino (00UTC a 09UTC) e vespertino (09UTC a 20UTC) para o episódio de ZCAS ocorrido entre 00UTC de 10 a 25 de dezembro de 2013. Unidade em mm/12h

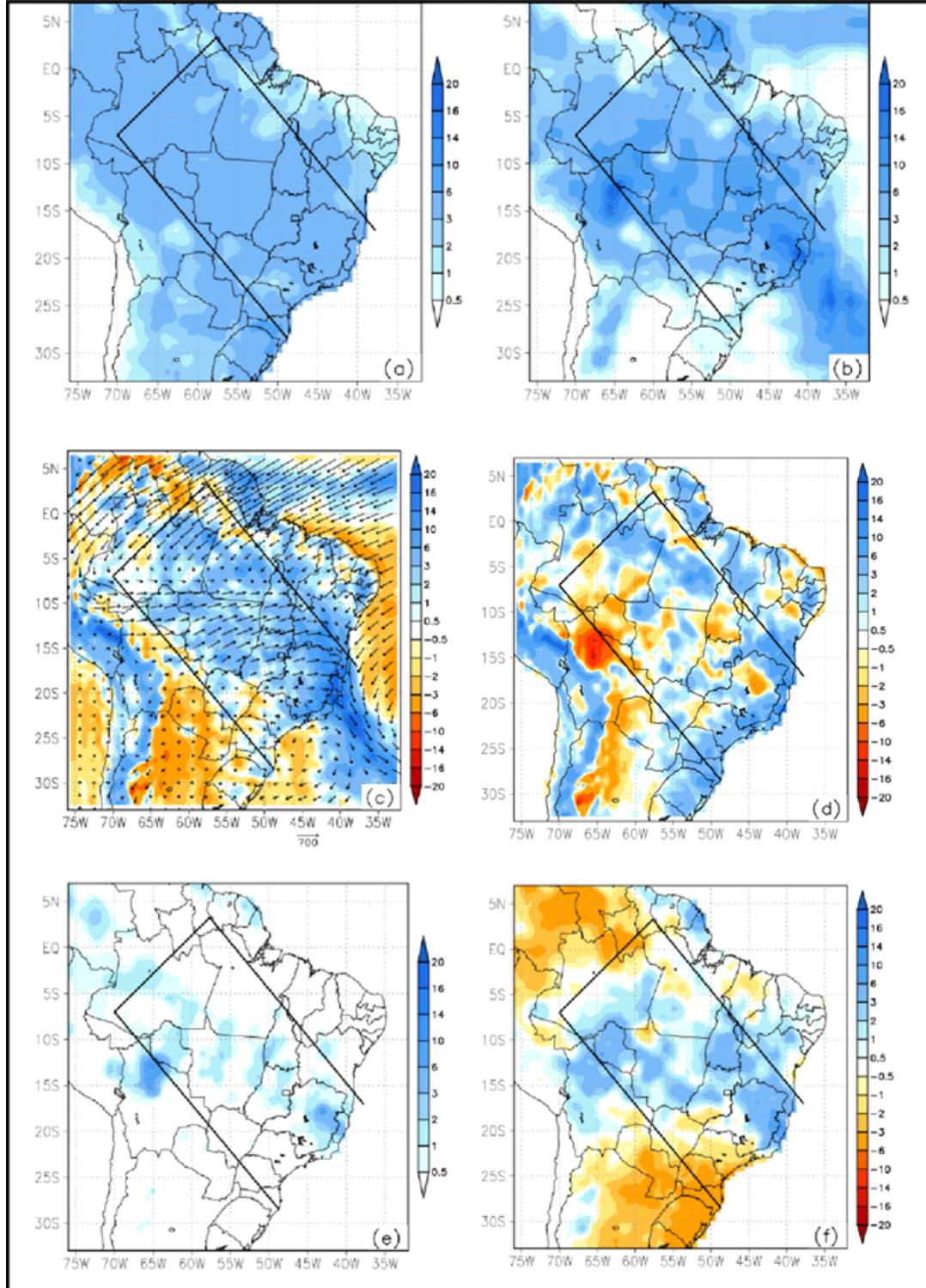
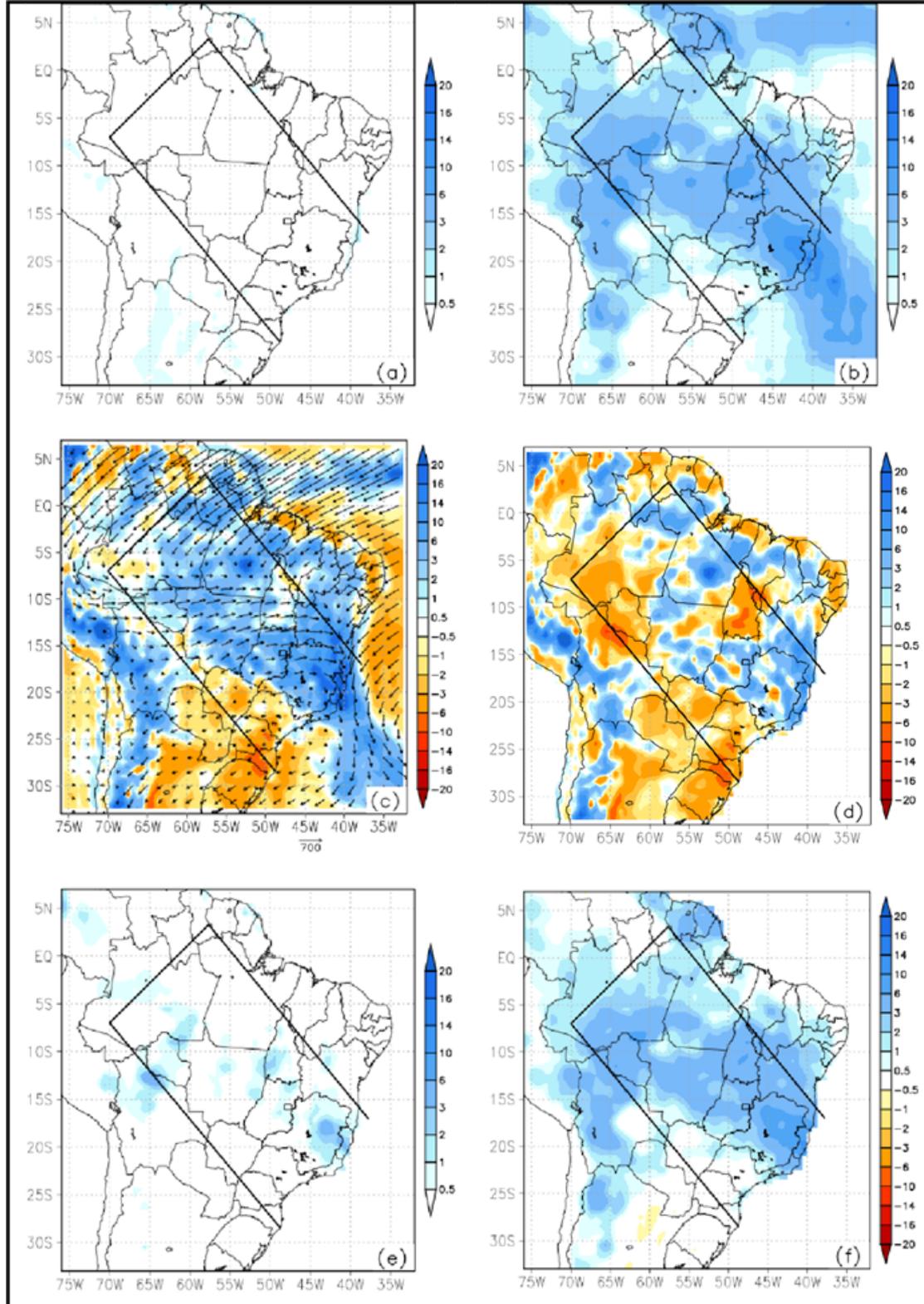


Figura 9 – Mapas acumulados de (a) evaporação, (b) precipitação, (c) convergência c umidade, (d) variação do armazenamento de umidade na atmosfera, (e) escoamento variação do armazenamento de umidade na superfície, médios para os períodos madrugada (21 a 08UTC) para o episódio de ZCAS ocorrido entre 00UTC de 10 a 23l de dezembro de 2013. Unidade em mm/12h



4 CONCLUSÃO

Este trabalho teve por objetivo identificar o papel das componentes do balanço no ciclo diurno, sobre a região da ZCAS no regime de precipitação sobre duas áreas de interesse: a Amazônia e o Sudeste brasileiro. Para isso, foram utilizados dados de

MERRA2 com o objetivo de entender a evolução das variáveis hidrológicas e sua alocação da água nas suas diferentes componentes.

Inicialmente vale ressaltar que o resíduo do balanço hidrológico superficial de casos e regiões mostrou-se muito pequeno, o que caracteriza um bom comportamento das variáveis em estudo. No geral, a precipitação na região da ZCAS é sustentada pela convergência de umidade e pela variação do armazenamento desta umidade na atmosfera que ressalta a importância do aporte de umidade externa à ZCAS que provém, principalmente, dos ventos alísios. Durante a noite notou-se a relevância no armazenamento de água na atmosfera que será disponibilizada para a evaporação no dia seguinte.

Para a região Sudeste, notou-se que a evapotranspiração e a variação do armazenamento de umidade na atmosfera possuem maior variabilidade no ciclo diurno quando comparadas com a convergência do fluxo de umidade de precipitação. Entretanto, na região da bacia Amazônica observado a influência da evapotranspiração na manutenção da precipitação, assim como valores negativos do armazenamento de umidade na atmosfera. Outro fato importante é a diferença encontrada entre os dois casos analisados, tendo o caso 3 um período maior que o caso 1. Nota-se que em períodos maiores (caso 3), ocorre uma oscilação entre valores positivos e negativos na diferença $E-P$. Os valores em que a evapotranspiração é maior que a precipitação encontram-se geralmente no período da tarde e, quando a variação com o armazenamento de umidade na atmosfera ultrapassa os valores da convergência de umidade. É também no período da tarde em que se observa divergência do fluxo de umidade.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem a Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC), Universidade Federal de Santa Catarina (UFSC) e o Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC) pelo apoio institucional.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS [Internet]. Brasília: Ministério do Desenvolvimento Sustentável (BR) [cited 2007]. Caderno de recursos hídricos. Disponibilidade e demanda de recursos hídricos no Brasil. Disponível em: https://www.ana.gov.br/informacao/institucional/publicacoes#cadernos_de_recursos_hidricos. Acesso em: 3 abr 2007.

ALVAREZ MS, VERA CS, KILADIS GN, LIEBMANN B. Influence of the Madden Julian oscillation on precipitation and surface air temperature in South America. *Climate Dynamics*. 2014; 43(2): 255-262).

AMBRIZZI, T.; FERRAZ, S. E. T. An objective criterion for determining the southern convergence zone. *Frontiers in Environmental Science*. 2015; 3 (1-9).

BERBERY EH, BARROS VR. The Hydrologic Cycle of the La Plata Basin in South America. *Journal of Hydrometeorology*. 2002; 3 (630–645).

BOMBARDI R J, CARVALHO LMV, JONES C, REBOITA MS. Precipitation over South America and the South Atlantic Sea surface temperature during neutral ENSO periods. *Journal of Climate*. 2014; 27 (1553–1568).

BOSILOVICH MG, LUCCHESI R, SUAREZ M. 2016: MERRA-2: File Specification. GMAO Note No. 9 (Version 1.1), 73 pp. Disponível em: <http://gmao.gsfc.nasa.gov/pubs/notes/>. Acesso em: 2 abr. 2020.

CARVALHO LMV, JONES C, LIEBMANN B. The South Atlantic convergence zone: Interannual persistence, and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme events. *Journal of Climate*. 2004; 17 (88–108).

CARVALHO LMV, 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*. 2002; 15 (2377–2394).

CAVALCANTI EP, GANDU AW, AZEVEDO. Transporte e balanço de vapor d'água sobre o Nordeste do Brasil. *Revista Brasileira de Meteorologia*. 2002; 17 (207-217).

COELHO CAS, OLIVEIRA CP, AMBRIZZI T, REBOITA MS, CARPENEDO CB, CAMPOS J. The 2014 southeast Brazil austral summer drought: regional scale mechanisms and teleconnections. *Climate Dynamics*. 2015; 46 (3737–3752).

CORREIA FRS. Zonas de Convergência Subtropicais na América do Sul: Características de Circulação e Fluxo de Umidade [monografia]. Rio de Janeiro: Departamento de Meteorologia/UFRJ; 2013.

CUTRIM EMC, MARTIN DW, BUTZOW DG, SILVA IM, YULAEVA. Pilot analysis of hourly precipitation over Central and Eastern Amazonia. *Journal of Climate*. 2000; 13(1326–1334).

DA ROCHA RP, MORALES CA, CUANDRA SV, AMBRIZZI T. Precipitation diurnal cycle and summer climatology assessment over South America: An evaluation of Regional Climate Model version 3 simulations. *Journal of Geophysical Research: Atmospheres*. 2009; 114, D10106.

ESCOBAR G. Zona De Convergência Do Atlântico Sul (Zcas): Critério De Detecção Para Identificação De Centros Operacionais De Previsão De Tempo 2019. Disponível em: m21c.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m21c/2019/01.07.12.08/doc/publicacao.pdf. Acesso em: 2020.

FERREIRA N, SANCHES M, and DIAS MAFS. Composite analysis of the South Atlantic Convergence Zone during el Niño and la Niña periods. *Journal of Climate*. 2004; 17 (89–99).

FIGUEROA SN, SATYAMURTY P, SILVA DIAS PL. Simulations of the summer circulation over the South American region with an eta coordinate model. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 1995; 52 (1573–1584).

GAN MA, KOUSKY VE, ROUPELEWSKI CF. The South America Monsoon Rainfall Cell over Central Brazil. *Journal of Climate*. 2004; 17 (47–66).

GAN MA, MANZI AO, CANDIDO LA. Sensibilidade da Zona de Convergência do At (ZCAS) à Condição Hídrica do Solo: um estudo de caso. ISSN 1982-4351. 2006; 43.

GILES JA, RUSSICA RC, MENÉNDEZ CG. The diurnal cycle of precipitation over Sou represented by five gridded datasets. *International Journal of Climatology*.2020; 40 (668-

GRIMM AM. Interannual climate variability in South America: impacts on seasonal pr extreme events and possible effects of climate change. *Stoch Environ Res Risk Asses*: (537–554).

GRIMM AM, SILVA DIAS PL. Analysis of tropical-extra-tropical interactions with influenc of a barotropic model. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 1995; 52 (3538–3555).

HERDIES DL, SILVA AD, DIAS MAFS, FERREIRA RN. Moisture budget of the bimoda the summer circulation over south america. *Journal of Geophysical Research*. 2002; 1 42–10).

JANOWIAK JE, KOUSKY VE, JOYCE RJ. (2005) Diurnal cycle of precipitation determin CMORPH high spatial and temporal resolution global precipitation analyses. *Geophysical Research*. 2005;110 (1–18).

KARAM HN, BRAS RL. Climatological Basin-Scale Amazonian Evapotranspiration through a Water Budget Analysis. *Journal of Hydrometeorology*.2008; 9 (1048–1060).

KODAMA Y. [Large-scale common features of Sub-tropical Convergence Zones (The B Zone, The SPCZ, and the SACZ). Part II: condicions of the circulation for generating th *Journal of Meteorological Society of Japan*. 1993; 71 (5): 581-610. Japanese.

KOUSKY VE, JANOWIAK JE, ROBERT JJ. The Diurnal Cycle of Precipitation over Sou Based on CMRPH. m16b.sid.inpe.br/col/cptec.inpe.br/adm_conf/2005/10.03.10.43/doc/1113-1116.pdf] 2006.

KRISHNAMURTI TN, KANAMITSU M, KOSS WJ, LEE JD. Tropical east-west circulati the northern winter. *Journal of the Atmospheric Sciences*. 1993; 30 (780–787).

LENTERS J D, COOK KH. Simulation and Diagnosis of the Regional Summertime P Climatology of South America. *Journal of Climate*. 1995; 8 (2988–3005).

MARENGO, JA. Interdecadal Variability and Trends of Rainfall Across the Amaz *Theoretical and Applied Climatology*. 2004; 78 (79–96).

MARENGO JA. The characteristics and variability of the atmospheric water balance in th basin: Spatial and temporal variability. *Climate Dynamics*. 2005; 24 (11–22).

MARENGO JA. On the Hydrological Cycle of the Amazon Basin: a historical review a state-of-the-art. ISSN 1982-4351. 2006a; 21 (1-19).

MARENGO JA, LIEBMANN B, GRIMM AM, MISRA V, SILVA DIAS PL, CALVALCANTI Review recent developments on the South American monsoon system. *Int. J. Climatol* (1-21).

- MATOS AJS, SILVA AS, ALMEIDA IS, and CANDIDO MO. (2014) Assessment of a real forecasting at the Doce river basin: summer 2013 event. In 6th International Conference Management (São Paulo: Brazilian Association of Water Resources–ABRHidro) [Inter Disponível em: <http://eventos.abrh.org.br/icfm6/proceedings/>. Acesso em: 2 abr. 2020.
- NASCIMENTO MG, HERDIES DL, SOUZA DO. The South American Water Bal Influence of Low-Level Jets. *Journal of Climate*.2016; 29 (1429–1449).
- NIELSEN DM, BELÉM AL, MARTON E, CATALDI M. Dynamics-based regression model South Atlantic Convergence Zone. *Climate Dynamics*. 2019; 52 (5527–5553).
- NOGUES-PAEGLE J, MECHOSO CR, FU R, BERBERY EH, CHAO WC, CHEN T, *et al* in Pan American CLIVAR Research: Understanding the South American Monsoon. *Met* 1 and 2002; 2 (3-32).
- NOGUÉS-PAEGLE J, MO EKC. Alternating wet and dry conditions over the South American summer. *Monthly Weather Review*. 1997; 125 (279–291).
- NOGUÉS-PAEGLE J, MECHOSO CR, FU R, BERBERY EH, CHAO WC, CHEN T, *et al* in Pan American CLIVAR Research: Understanding the South American Monsoon, *Met* 1 and 2. 3-32.
- QUADRO MFL. Estudo de Episódios de Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCA América do Sul [dissertação]. São José dos Campos: Instituto Nacional de Espaciais/INPE; 1994. 123.
- QUADRO MFL, BERBERY EH, SILVA DIAS MA, HERDIES DL, GONÇALVES atmospheric water cycle over South America as seen in the new generation of global reanalysis. In AIP Conf Proc. 2013; 1531 (1) (732–735).
- TRENBERTH KE. Atmospheric moisture recycling: role of advection and local evaporation of Climate. 1999; 12 (1368–1381).
- TALJAARD JJ. Synoptic Meteorology of the Southern Hemisphere. ISBN 978-1-935704- (139-213).
- STRETEN NA. Some characteristics of satellite-observed bands of persistent cloudiness Southern Hemisphere. *Monthly Weather Review*. 1973; 101 (486–495).
- QUADRO MFL, SILVA DIAS MAF, HERDIES DL, GONCALVES LGG. Análise Climatológica de Precipitação e do Transporte de Umidade na Região da ZCAS Através da Nova Geração de Reanálises. ISSN 1982-4351. 2012; 27 (152-162).
- REBOITA M, DUTRA L, DIAS C. Diurnal cycle of precipitation simulated by RegCM4 over South America: present and future scenarios. *CR* 70:39-55. 2016; 70 (39–55).
- REBOITA MS, IWABE CMN, DA ROCHA RP, AMBRIZZI T. Análise de um ciclo estacionário na costa sul do Brasil associado a bloqueio atmosférico. ISSN 1982-4351 (407-422).

REICHLER RH. The MERRA-Land Data Product, version 1.1. GMAO Office Note No. 1. Global Modeling and Assimilation Office, Goddard Space Flight Center, Greenbelt, MD, USA. 2012; 38pp. Disponível em: http://gmao.gsfc.nasa.gov/pubs/office_notes. Acesso em: 3 abr. 2020.

REICHLER RH, KOSTER RD, DE LANNOY GJ, FORMAN BA, LIU Q, MAHANAMA SP, et al. Assessment and Enhancement of MERRA Land Surface Hydrology Estimates. *Journal of Climate*. 2011; 24 (6322–6338).

REICHLER RH, LIU Q. Observation-Corrected Precipitation Estimates in GEOS-5. NASA Technical Report 104606, Vol. 35. Disponível em: <http://gmao.gsfc.nasa.gov/pubs/tm/docs/Reichle734.pdf>. Acesso em: 3 abr. 2020.

RIENECKER MM, SUAREZ MJ, GELARO R, TODLING R, BACMEISTER J, LIU E, et al. NASA's Modern-Era Retrospective Analysis for Research and Applications. *Journal of Climate*. 2011; 24 (3624–3648).

ROBERTSON AW, MECHOSO CR. Interannual and inter-decadal variability of the South American convergence zone. *Monthly Weather Review*. 2000; 128 (2947-2957).

ROMATSCHKE U, HOUZE RA. Extreme summer convection in South America. *Journal of Climate*. 2010; 23 (3761–3791).

ROSA EB. Desempenho de um método automático de detecção de episódios de convergência [dissertação]. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE; 2002. 95p.

ROSA EB, PEZZI LP, QUADRO MFL, BRUNSELL N. Automated Detection Algorithm for the South American Oceanic SACZ, and Their Climatological Features. *Frontiers in Environmental Science*. 2018; 6:18.

SANCHES MB. Análise Sinótica da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) Utilizando a Técnica de Composição [dissertação]. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais/INPE; 2002. 95p.

SANCHES MB, DIAS MAFS. Análise sinótica de verão: A influência da zona de convergência do atlântico sul (zcas). In: IX CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 1996, Curitiba, PR, Brasil. Anais do IX Congresso Brasileiro de Meteorologia. Rio de Janeiro, SBMET, 1996.

SATYAMURTY P, DA COSTA CPW, MANZI AO. Moisture source for the Amazon Basin: contrasting years. *Theoretical and Applied Climatology*. 2013; 111 (195–209).

YANG S, SMITH EA. Mechanisms for diurnal variability of global tropical rainfall observed by TRMM. *Journal of Climate*. 2006; 19 (5190–5226).

ZHOU J, LAU KM. Does a Monsoon Climate Exist Over South America? *Journal of Climate*. 2000; 11 (1020–1040).