

Climatologia e variabilidade dos principais sistemas meteorológicos atuantes no Brasil, relação com chuvas intensas e impactos associados

Fábio Guimarães Olivaⁱ

Doutorando em Geografia
Universidade Federal do Rio de Janeiro -PPGG/IGEO/UFRJ

Resumo

Este artigo trata das mudanças de tempo meteorológico e das variações do clima no Brasil através da análise da climatologia e da variabilidade espaço-temporal dos principais sistemas meteorológicos atuantes no território brasileiro, relações com extremos de chuva e consequências ambientais e efeitos sobre a sociedade. A atmosfera apresenta dinâmica complexa, sobretudo em função das interações entre os sistemas meteorológicos que atuam em diversas escalas temporais e espaciais. A ação acoplada desses fenômenos e suas interações com a superfície terrestre, como os oceanos e os continentes, produz efeitos que modulam as mudanças de tempo e as variações do clima e que geram consequências ambientais e interferências sobre o homem. O objetivo deste trabalho é reunir informações acerca das características gerais e efeitos dos principais sistemas que agem sobre o Brasil, trazendo exemplos recentes que relatam tais efeitos sobre áreas urbanas e naturais. Neste contexto, torna-se importante o monitoramento e a análise dos sistemas que controlam essas mudanças com o objetivo de subsidiar ações de planejamento para fornecer suporte a prevenção de eventos extremos e desastres naturais que podem provocar danos ambientais e impactos à sociedade.

Palavras-chave: Climatologia, Sistemas Meteorológicos, Chuvas Intensas, Impactos, Sociedade.

CLIMATOLOGY AND VARIABILITY OF MAIN METEOROLOGICAL SYSTEMS IN BRAZIL, LINKS WITH EXTREME RAINFALL AND RELATED IMPACTS

Abstract

This article discusses the changes of weather and climate in Brazil through the analysis of climatology and spatial-temporal variability of different meteorological systems, the relationships with extreme rainfall and environmental consequences and effects to society. The atmosphere has a lot of complexity, due to the interactions between a variety of meteorological systems that act in different temporal and spatial scales. The coupled action of these systems and their interactions with earth's surface, such as the oceans and continents, produces effects that can modulate the changes of weather and variations of climate that may

ⁱ *Endereço institucional:*
Rua Athos da Silveira Ramos, 274
- Bloco G, 21941-916 - Cidade
Universitária/Ilha do Fundão, Rio
de Janeiro, RJ, Brazil.

Endereço eletrônico:
faoliva@hotmail.com

cause environmental consequences and interferences on human activity. This article has a purpose of disseminate information about general characteristics and effects of main systems over Brazil showing current examples of impacts over urban and natural areas. It is important to understand and analyze the action of atmospheric systems that control these changes in order to provide support for the forecasting and prevention of extreme events and natural disasters that can cause damages to the human activity.

Keywords: Climatology, Atmospheric Systems, Extreme Rainfall, Impacts, Society.

Introdução

A atmosfera terrestre encontra-se em constante dinamismo que ocorre em resposta aos movimentos atmosféricos em diversas escalas espaciais e temporais. A causa básica do movimento atmosférico é a distribuição desigual da radiação líquida nas baixas e altas latitudes do globo, onde este movimento tende a redistribuir a energia. A Circulação Geral da Atmosfera (CGA) cumpre o papel de redistribuição de energia por meio do movimento atmosférico global dos ventos e, de acordo com Barry e Chorley (1976, p. 52), se constitui no movimento atmosférico ou padrão de pressão e ventos em larga escala que se repete ao longo do ano. Alguns sistemas atmosféricos, que aqui serão discutidos, possuem relação estreita com a CGA, como é o caso da Zona de Convergência Intertropical do Atlântico.

Diversos sistemas atmosféricos que atuam em distintas escalas espaciais e temporais contribuem para episódios extremos de tempo e de clima que podem resultar em chuvas intensas, estiagens prolongadas, ventos fortes ou ondas de frio e de calor. Os extremos climáticos e de tempo atmosférico, especialmente os de chuvas intensas, foco deste trabalho, impactam a sociedade de diferentes formas e a magnitude de tais impactos está condicionada à natureza do evento, às características físico-naturais do ambiente e à infraestrutura e planejamento da área afetada. Esta questão relaciona-se ao problema recorrente de transtornos em sítios urbanos e que afeta diversas cidades brasileiras, sobretudo aquelas com elevado adensamento populacional e que sofreram grandes modificações em seus ambientes originais. Entretanto, vale destacar que as cidades de menor porte, bem como as áreas rurais,

também sofrem de maneira excessiva as consequências e transtornos relativos aos eventos extremos de chuva.

O conceito de evento extremo de chuva ou chuva intensa não é simples e não há uma única definição na literatura. Enquanto alguns autores se baseiam em limiares fixos (KONRAD, 1997, p. 59), outros levam em conta os percentuais de acumulados anuais ou sazonais e, ainda, em valores de percentis (GROISMAN et al., 2001, p. 232). Ademais, os valores de precipitação podem ser obtidos de uma única estação ou de várias estações, englobando uma área maior. Para este trabalho, será considerada como chuva intensa o que foi discutido em Pristo et al. (2018, p. 615) onde eventos de chuva intensa são aqueles que apresentam grandes acumulados em um único dia, como também em um intervalo curto de apenas quinze minutos e que geraram danos materiais e transtornos à população.

Neste cenário, torna-se fundamental o melhor entendimento dos sistemas meteorológicos que modulam o clima e o tempo no território brasileiro, pois o conhecimento de suas dinâmicas sazonais, variabilidades espaciais e relações com eventos extremos é essencial para compreender e monitorar os seus possíveis efeitos sobre a sociedade. Desta forma, a partir das interações entre natureza e sociedade, pode-se elaborar, de maneira mais qualitativa, planos de ação que visem previsibilidade e prevenção relacionadas aos episódios extremos de tempo e clima.

Ferreira e Melo (2005, p. 16) caracterizaram os principais sistemas atmosféricos atuantes em pequena, meso e grande escala que influenciam o tempo e o clima da região Nordeste do Brasil, além da descrição do papel dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima desta região. Outros autores (BARBOSA; CORREIA, 2005, p. 396; BARROS; OYAMA, 2010, p. 334; SANTOS; FIALHO, 2016, p. 219); analisaram a relação de sistemas atmosféricos com o estado momentâneo do tempo ou com o clima de dada região do Brasil, ora analisando os impactos associados, ora com enfoque nos mecanismos físicos dos sistemas associados. Assim, o foco principal deste artigo é descrever os principais sistemas atmosféricos atuantes no Brasil, suas variabilidades espaço-temporais e relações com extremos de precipitação - compreendida como uma das principais variáveis que geram desastres e consequências e transtornos à

população de algumas localidades brasileiras – por meio de exemplos de estudos realizados por uma gama de autores.

Variabilidade Interanual da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) do Atlântico

Ao longo da faixa equatorial, há o desenvolvimento do sistema mais importante gerador de precipitação sobre a porção equatorial dos oceanos Atlântico, Pacífico e Índico e áreas continentais adjacentes, sendo integrante da CGA. Representada por uma banda de nuvens convectivas que se estende por uma faixa ao longo da região equatorial, a Zona de Convergência Intertropical do Atlântico (ZCIT) migra sazonalmente de sua posição mais ao norte (14°N) durante agosto-setembro para sua posição mais ao sul (2°S), durante março-abril (CAVALCANTI et al., 2009, p. 29). Sua migração sazonal, associada aos fatores que causam o fortalecimento ou o enfraquecimento dos ventos alísios de Nordeste e de Sudeste, possui papel importante na definição das características da estação chuvosa do norte da região Nordeste do Brasil (Figura 1).

Para alguns autores (HASTENRATH; HELLER; 1977, p. 87; UVO, 1989, p. 68), a qualidade da estação chuvosa em regiões como a do Sahel, na África, a costa noroeste da África e o norte do Nordeste do Brasil, será determinada pela permanência da ZCIT por mais tempo em suas posições mais ao norte ou mais ao sul de sua climatologia. Em anos chuvosos, este sistema migra mais para o sul podendo atingir até 5°S próximo à costa do Nordeste do Brasil, promovendo elevados totais de precipitação, observados na estação chuvosa do ano de 2008. Nesta ocasião, o sistema atuou em conjunto com um cavado¹ em médios e altos níveis e uma linha de instabilidade (LI) ao longo da costa, favorecendo totais diários de precipitação excedentes (CAVALCANTI et al., 2009, p. 35). Assim, a ZCIT pode atuar em associação com outros sistemas atmosféricos, elevando a precipitação.

A ZCIT, devido ao seu deslocamento latitudinal, contribui para maior intensificação de linhas de instabilidade (LIs) sobre o litoral norte do Brasil e da

¹ Região da atmosfera em que a pressão é baixa em relação às regiões circunvizinhas de mesmo nível. Na carta sinótica, é representado pelo sistema de isóbaras paralelas que apresentam forma similar à um V (INMET, 2019).

América do Sul. Segundo Cavalcanti (1982, p. 98), LIs com mais intensidade predominam de janeiro a março, principalmente devido ao deslocamento latitudinal da ZCIT que está melhor definida sobre o litoral norte do Brasil entre março e abril, próximo ao local de formação das LIs. As LIs manifestam-se com mais frequência na costa norte e nordeste do Brasil e da América do Sul conferindo grandes volumes de precipitação e podendo se propagar para o interior do continente. Além disso, o período em que as LIs apresentam maior comprimento coincide com o período em que a ZCIT está melhor definida na sua posição ao sul. Nota-se, portanto, que a ZCIT possui um papel importante na intensificação e na extensão das LIs.

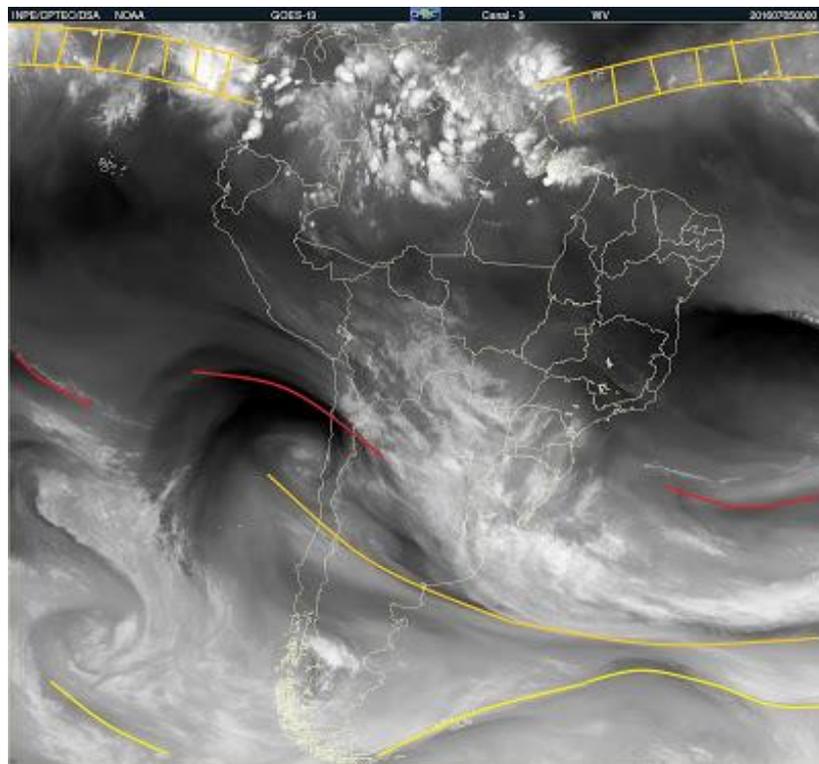


Figura 1 - Imagem do satélite GOES 13 de vapor d'água das 00Z do dia 29/06/2016 na qual a ZCIT está indicada pelas linhas do tipo "trilhos de trem" em cor laranja e oscila em torno de 7°N/10°N no Oceano Pacífico e em torno de 5°N/8°N no Oceano Atlântico. Fonte: CPTEC/INPE (2016).

A variabilidade interanual da ZCIT determinará consequências ambientais na porção norte da região Nordeste do Brasil, ora contribuindo para uma estação chuvosa ainda mais chuvosa quando de seu deslocamento para posições mais ao sul de sua climatologia, ora favorecendo uma estação mais seca quando de seu deslocamento para posições mais ao norte de sua climatologia. Assim, a permanência

da ZCIT por mais ou menos tempo em suas posições mais ao sul determinará a qualidade da estação chuvosa (UVO, 1989, p. 69). Na região Nordeste do Brasil, os estados do Maranhão, Piauí, Ceará, Rio Grande do Norte e os sertões da Paraíba e de Pernambuco são os que mais recebem influência regular da ZCIT, apresentando máximos de precipitação nos meses de março e abril, em vista da maior organização e regularidade deste sistema neste período do ano.

Climatologia e Chuvas Associadas as Linhas de Instabilidade (LIs) na Costa Norte/Nordeste do Brasil

Uma vez abordadas as principais relações entre a ZCIT e as LIs, faz-se necessário um maior aprofundamento sobre as características desse sistema, sua sazonalidade, relações com outros sistemas atmosféricos e os efeitos sobre as chuvas nas costas norte e nordeste do Brasil e da América do Sul. Segundo Silva Dias et al. (2009), as LIs fazem parte de uma categoria extrema de Sistema Convectivo de Mesoescala (SCM), assim como os Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs), que serão abordados mais adiante.

As LIs podem ser definidas como as porções dianteiras de um distúrbio propagante em escala meso, consistindo basicamente de uma estrutura linear de cumulus nimbus. Esse sistema foi associado à circulação das brisas marítimas por alguns autores (KOUSKY, 1980, p. 490; CAVALCANTI, 1982, p. 81; COHEN; 1989, p. 32). As LIs desenvolvem-se com frequência nas costas norte e nordeste do Brasil e da América do Sul e podem se propagar para o interior do continente sul-americano, gerando elevados acumulados de precipitação. Garstang et al. (1994, p. 610) analisaram a estrutura desses sistemas na Amazônia através de imagens de satélite e radar, sendo identificadas as nuvens e o tipo de precipitação associada. Os autores relataram que o sistema da LI, em sua frente, é composto por nuvens cumulus em desenvolvimento, na sequência há presença de uma borda dianteira de convecção em forma de cumulus nimbus, o que significa a própria LI com chuva forte associada e, por fim, notou-se, na retaguarda, uma camada de nuvens estratiformes² (Figura 2).

² Tipos de nuvens que apresentam desenvolvimento horizontal, cobrindo grande área, de pouca espessura e precipitação de caráter leve e contínuo (INMET, 2019). É frequente por todo o globo e responsável por cerca de 50% da nebulosidade terrestre. Origina-se do latim *stratum*, que significa camada ou folha (IAG/USP, 2018).

Segundo o boletim Climanálise (1986, p. 55), as LIs que se formam nas costas norte e nordeste da América do Sul são denominadas linhas de cumulonimbus. Cavalcanti (1982, p. 99) observou que o desenvolvimento deste sistema, na faixa costeira, acompanha o deslocamento sazonal da ZCIT, proporcionando também uma variabilidade de sua posição ao longo do ano. Este sistema atmosférico pode ser observado durante todo o ano, porém com maior frequência entre os meses de abril e agosto, ou seja, durante o outono e o inverno do hemisfério sul (COHEN, et al., 2009, p. 78). Em longitudes mais à leste ao longo da costa e ao sul da linha equador, ocorre maior posicionamento das LIs durante o verão e o outono, enquanto em longitudes mais à oeste, ao longo da costa e ao norte da linha do equador, ocorre maior posicionamento durante o inverno e a primavera.

De acordo com os estudos de Santos Neto (2004, p. 29) sobre a intensidade e a extensão das LIs, se constata que as LIs de forte intensidade predominam entre janeiro e março, as de intensidade média ocorrem entre abril e agosto e as fracas são mais comuns após o mês de setembro. Isso se deve à migração latitudinal da ZCIT próxima ao litoral norte do Brasil que é, em média, o local de formação das LIs. Quanto à extensão das linhas de estabilidade, estas se apresentam mais extensas entre fevereiro e junho, com ápice em abril, período que coincide com a melhor definição da ZCIT em sua posição mais ao sul da linha do equador.

Nota-se que não há uma correlação bem definida entre a intensidade das LIs e os fenômenos El Niño e La Niña. Porém, em relação ao comprimento da LI, esta tende a reduzir a sua extensão horizontal média em anos de El Niño e tende a aumentar essa extensão em anos de La Niña (SANTOS NETO, 2004, p. 35). Para o período de 1979 a 2002, o referido autor investigou o posicionamento médio das LIs em anos de ocorrência de El Niño, percebendo que elas se formam mais ao norte do seu local médio de formação, atingindo a costa da Venezuela e do estado do Amapá. Já em anos de La Niña, o sistema tende a se formar mais ao sul da média, afetando todo o litoral norte e nordeste do Brasil.

Loureiro et al. (2014, p. 92), ao analisarem as causas dos eventos extremos ocorridos no ano de 2009 no estado do Pará, constataram que 66% destes episódios aconteceram na estação chuvosa do ano e estiveram relacionados à três principais

sistemas meteorológicos, a ZCIT, a interação desta com a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), que será abordada mais à frente, e as LIs, em sua grande maioria originadas a partir do fenômeno da brisa marítima. Os autores também mostraram que as LIs apresentaram maiores condições de tempo severo por provocarem totais mais elevados de precipitação horária.

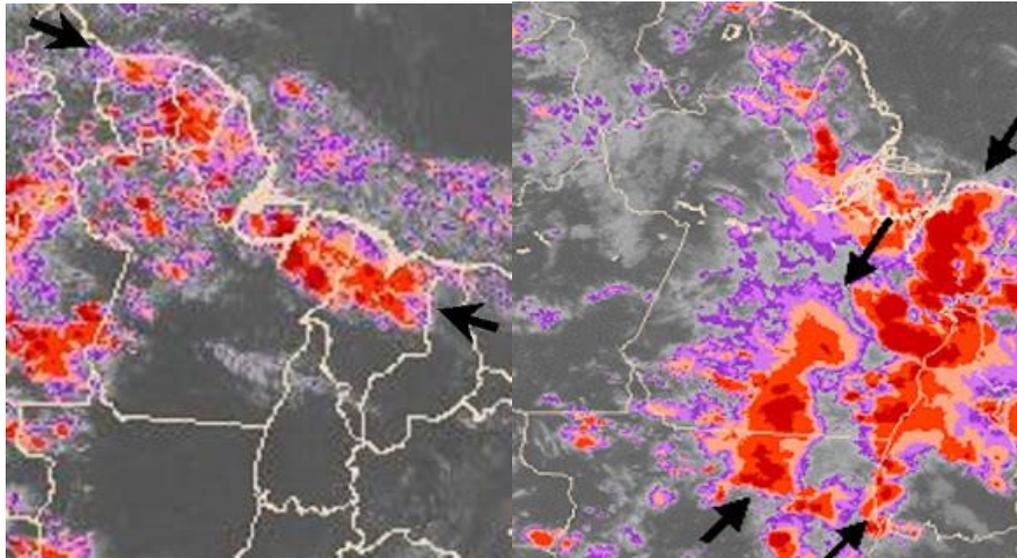


Figura 2 - À esquerda, linha de instabilidade costeira registrada por satélite no infravermelho sobre a costa norte do Brasil. À direita, linha de instabilidade continental atuando principalmente sobre o estado do Pará. Fonte: Cohen (2004).

Vórtice Ciclônico de Altos Níveis (VCAN) sobre o Nordeste do Brasil: Formação e Variabilidade Espaço-Temporal

Outro sistema meteorológico que produz efeitos sobre a precipitação das regiões Norte e Nordeste do Brasil são os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCANs), principalmente quando se originam sobre o continente, situação que produz nebulosidade e chuva na periferia da região Nordeste e céu claro no restante da região em decorrência dos movimentos de subsidência existentes no centro do sistema (SILVA, 2007, p. 31). VCANs são sistemas caracterizados por centros de pressão relativamente baixa que se formam na alta troposfera podendo se estender até níveis médios (Figura 3). Este é definido como um sistema de baixa pressão de escala sinótica formado na alta troposfera, com circulação ciclônica fechada e que possui o centro mais frio do que a sua periferia (KOUSKY; GAN, 1981, p. 541). Possuem, ainda,

configuração quase estacionária, mas podem se deslocar, com lentidão, tanto para oeste como para leste (FERREIRA et al., 2009, p. 47).

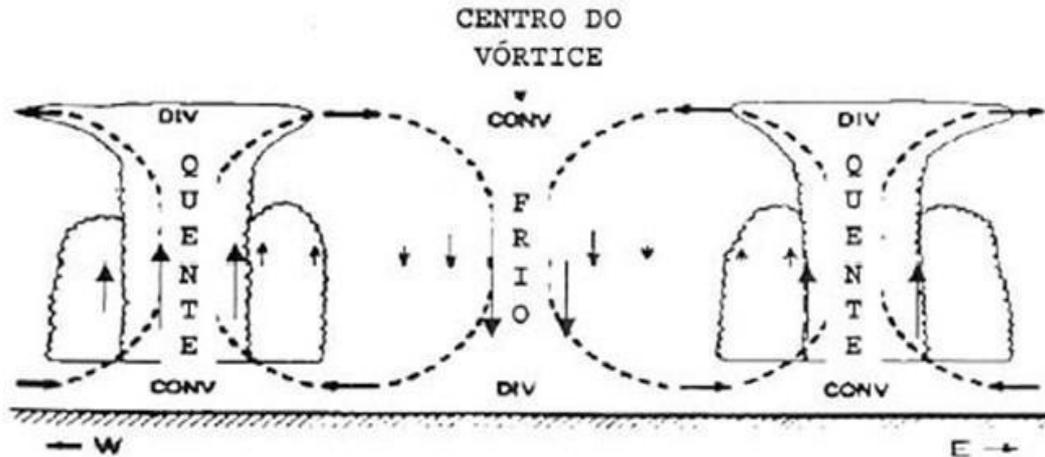


Figura 3 - Esquema da estrutura e movimento vertical de um VCAN. Fonte: Kousky e Gan (1981).

Os VCANs que se desenvolvem na região Nordeste do Brasil são conhecidos como do tipo Palmer e atuam na região tropical e, mais frequentemente, entre dezembro e fevereiro. A gênese deste tipo de vórtice não envolve o ar polar e está associada à Alta da Bolívia³, circulação anticiclônica de grande escala que ocorre na troposfera superior e está centrada no platô boliviano. Os efeitos associados aos VCANs estão relacionados ao aumento de precipitação no Nordeste e Norte do Brasil, especialmente se eles se originarem sobre o continente. Neste cenário, a periferia da região Nordeste apresentará nebulosidade e chuva e a outra porção experimenta céu claro em decorrência dos movimentos subsidentes presentes no centro do vórtice. A costa nordeste do Brasil apresenta o maior número de casos de ocorrência de VCANs do continente sul-americano.

Para melhor compreensão do papel desses vórtices sobre as chuvas da região Nordeste e parte da região Norte do Brasil, é importante entender sua interação com outros dois sistemas, a Alta da Bolívia e a ZCAS. O monitoramento desses três sistemas é essencial, pois eles modulam o ciclo hidrológico, o balanço de energia e o

³ Anticiclone que ocorre na alta troposfera durante o verão sobre a América do Sul, na parte central do continente, conjuntamente à um cavado no nordeste brasileiro associado a ele (CARVALHO, 1989).

clima em parte do Brasil. A ZCAS pode apresentar maior interação com VCANs sobre o Nordeste do Brasil em anos de La Niña, quando situa-se mais ao norte de sua posição climatológica. Lenters e Cook (1997, p. 656) analisaram as relações do sistema VCAN/Alta da Bolívia concluindo que este é mantido, principalmente, pela fonte de calor da alta troposfera tropical durante o verão.

Costa et al. (2013, p. 371) estudaram as características da atmosfera com o objetivo de investigar os totais elevados de chuva observados na cidade de Natal/RN no mês de junho do referido ano. Os autores verificaram a presença da Alta da Bolívia atuando próxima à região Norte do Brasil, de maneira praticamente estacionária, o que teria favorecido o desenvolvimento de um VCAN sobre o Nordeste do Brasil, bem centrado, em torno de $01^{\circ}\text{S}/37^{\circ}\text{W}$. Este sistema contribuiu para os totais elevados de precipitação ocorridos na cidade, com chuvas fortes localizadas que acumularam 95,5 mm em 24 horas, segundo informações da Empresa de Pesquisa Agropecuária do Rio Grande do Norte. Na periferia do vórtice, ocorre confluência em baixos níveis e difluência em altos níveis, resultando em nebulosidade e atividade convectiva, ainda que de forma localizada, como a que foi observada na capital potiguar. Este evento gerou transtornos habituais como alagamento de ruas e avenidas, abertura de crateras nos pavimentos, além de manter moradores e comércio ilhados, prejudicando a mobilidade urbana.

Desenvolvimento e Efeitos dos Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) na Costa Nordeste do Brasil

Na região Nordeste do Brasil, os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOLs) ou Ondas de Leste são perturbações que se movem com o fluxo dos ventos alísios para oeste e apresentam configurações ondulatórias nos campos de vento e pressão. Esse sistema apresenta importância considerável na modulação da convecção dos eventos mesossinóticos provenientes do Atlântico Tropical (MACHADO et al., 2009, p. 63). Essas perturbações regulam a precipitação no oeste do continente africano e se propagam até o Atlântico Tropical podendo evoluir para tempestades tropicais e se transformar em furacões (Figura 4).

Em um dos primeiros estudos realizados sobre DOLs no Brasil, Yamazaki e Rao (1977, p. 70) verificaram a propagação desses sistemas do Atlântico Tropical Sul para o litoral da região Nordeste do Brasil durante o inverno austral, sugerindo que a estação chuvosa no litoral do Nordeste é modulada por esse padrão. Para Machado et al. (1997, p. 116), há hipóteses de que os Distúrbios Ondulatórios de Leste tenham uma influência significativa na formação de LIs que se originam na costa norte e nordeste brasileira e se deslocam para o interior da Amazônia. Barbosa et al. (2006, p. 108) propuseram um modelo conceitual para a formação de perturbações convectivas na costa norte e nordeste do Brasil. Esse modelo é desencadeado com a formação de nuvens convectivas, iniciada por fatores locais como aquecimento e brisa. Se a convecção for intensificada por alguma forçante de escala sinótica (ZCIT, DOL, etc.), a perturbação convectiva ganhará extensão horizontal e se propagará continente adentro para o interior da Amazônia.

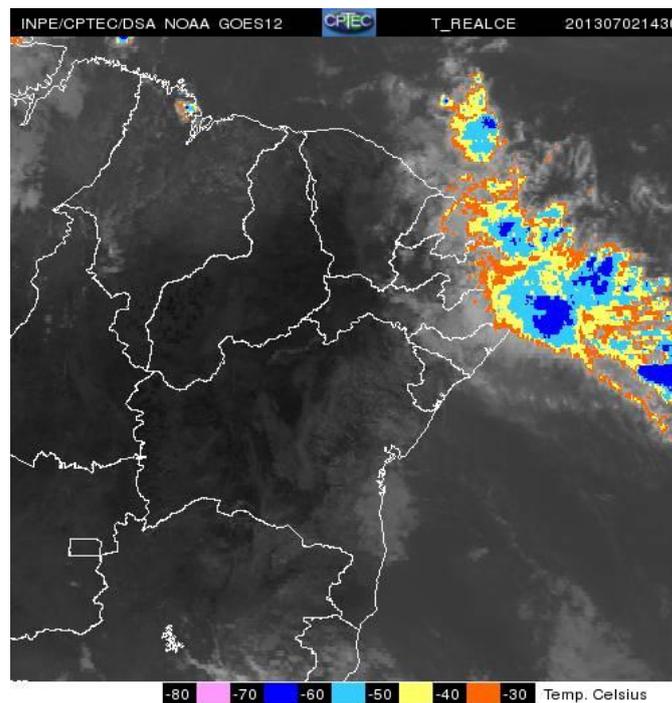


Figura 4 - Distúrbios Ondulatórios de Leste atuantes na costa do nordeste do Brasil durante o inverno de 2013 (julho de 2013). Cores mais quentes (laranja e amarelo) indicam as temperaturas mais altas presentes nas bordas do sistema. Fonte: CPTEC/INPE (2013).

Neves et al. (2016, p. 491) realizaram um estudo de caso de um DOL que se propagou sobre o estado do Rio Grande do Norte durante o final do outono de 2014.

Neste episódio, os autores observaram que o distúrbio se intensificou durante dois dias com grande volume de água precipitável e inicialmente se apresentando como uma extensão da atividade convectiva presente na ZCIT, desde o oeste da África. O DOL gerou índices elevados de precipitação, acarretando em deslizamentos de encostas, alagamentos e transtornos no trânsito na cidade de Natal (NEVES et al., 2016, p. 506).

Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS): Variabilidade Espaço-Temporal e Relação com Extremos de Chuva

A climatologia da precipitação sobre as regiões Sudeste e Centro-Oeste do Brasil apresenta um importante componente que atua durante o verão e acompanha o ciclo anual das chuvas. Esse componente, conhecido com ZCAS, caracteriza-se como uma banda de nebulosidade e chuvas persistentes com orientação NO-SE que se estende desde o sul e leste da Amazônia até a região Sudeste do Brasil e, com frequência, sobre o Atlântico Subtropical (CARVALHO et al., 2004, p. 89). Esse sistema está associado a um escoamento convergente de umidade na baixa troposfera além de ser o principal sistema de grande escala responsável por regimes de chuva na região Sudeste no verão (Figura 5).

Embora essa característica seja observada em todos os verões, ocorrem variações importantes na organização espacial, na intensidade das chuvas e na circulação. Na região Sudeste, tais variações são responsáveis por diversas consequências ambientais, como eventos de chuvas intensas que trazem inundações e deslizamentos ou a descaracterização do fenômeno que tende a provocar períodos de seca ou até mesmo uma distribuição irregular das chuvas sobre grandes áreas do território brasileiro, como, por exemplo, afetar negativamente o regime de chuvas na região Sul do Brasil.

Uma vez que a ZCAS possui um papel fundamental em modular a precipitação sobre a região Sudeste do Brasil, as variações na disponibilidade e no abastecimento de água para a população que habita essa região podem estar relacionadas à variabilidade ou à distribuição das chuvas causadas pela ZCAS. Além disso, a atividade agrícola e a pecuária também são afetadas com uma distribuição irregular de chuvas. Neste sentido, os eventos extremos de chuva podem afetar as culturas, trazendo

prejuízos econômicos, gerando inundações e deslizamentos e contribuindo para a perda de vidas.

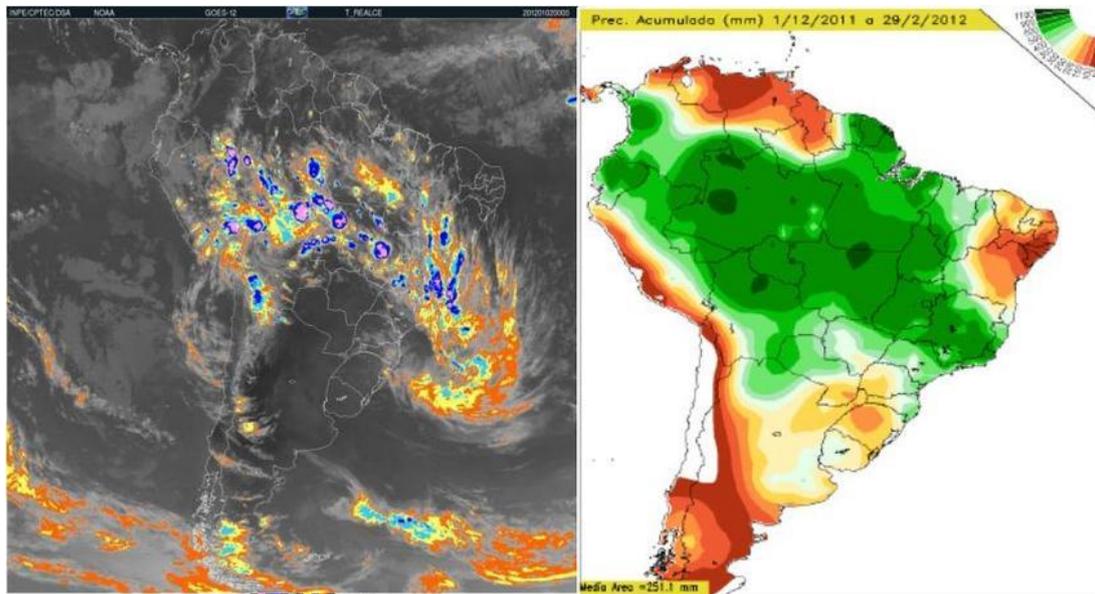


Figura 5 - À esquerda, a ZCAS caracterizada como a persistente faixa de nebulosidade que se estende desde o sul da Amazônia ao Atlântico Sul exibida na imagem realçada do satélite GOES 12 de 02/01/2012. A direita, as similaridades entre a faixa de nebulosidade e a linha de máximo de precipitação no Brasil. Fonte: CPTEC/INPE (2012).

Carvalho et al. (2002, p. 237), em estudo realizado no estado de São Paulo, constataram que a intensidade da ZCAS é essencial para a modulação de eventos extremos no estado, onde cerca de 65% desses eventos ocorrem em associação a uma intensa atividade convectiva da ZCAS. O evento de chuvas intensas ocorrido em 2011, na região serrana do estado do Rio de Janeiro, pode ser tomado como um importante exemplo no qual o padrão sinótico esteve associado à ZCAS, sendo este evento responsável por um megadesastre inesquecível para a história brasileira. Nessa ocasião, a intensa precipitação decorreu do desenvolvimento de profundas nuvens convectivas em uma atmosfera úmida e muito instável relacionada à convergência de umidade (PINHEIRO et al., 2011, p. 12).

Vários autores também mostraram que a intensificação da ZCAS está relacionada com outros sistemas, tais como os sistemas frontais e a Alta da Bolívia (FERREIRA et al., 2004, p. 95). Estudos realizados por estes autores mostraram uma relação entre a atividade oceânica da ZCAS e o fenômeno El Niño-Oscilação Sul (ENOS), de modo que fases quentes do ENOS tendem a favorecer a persistência da

ZCAS oceânica mais intensa. A ZCAS, por meio de sua organização e evolução espacial, variabilidade e consequências ambientais mostra-se um fenômeno de grande relevância e seu melhor entendimento depende da compreensão das interações entre regiões tropicais e extratropicais e da complexidade das relações entre sistemas acoplados em diferentes escalas espaço-temporais.

Complexos Convectivos de Mesoescala (CCMs): Formação e Efeitos sobre o Sul do Brasil

Os Sistemas Convectivos de Mesoescala (SCMs) são responsáveis por grande parte do volume de precipitação na região tropical e em várias localidades situadas em latitudes médias durante o período mais quente do ano. A convecção apresenta uma característica marcante que é a sua organização em diversas escalas espaciais, onde é possível observar desde células isoladas (de poucas centenas de metros) até grandes aglomerados convectivos (milhares de quilômetros), com ciclos de vida da ordem de dias e formados por diferentes tipos de nuvens (SILVA DIAS et al., 2009, p. 183).

Dentre os tipos de SCMs temos as LIs e os CCMs, que são categorias extremas dos SCMs. Os estágios de vida dos CCMs podem ser divididos em: gênese, estágio maduro e dissipação. Em geral, caracteriza-se por um sistema severo de tempo associado a ventos, chuvas abundantes e a frequentes quedas de granizo com uma duração média de 18 horas, sendo associado a desastres e comuns no sul do Brasil e, principalmente, no norte e nordeste da Argentina. A gênese geralmente ocorre no fim da tarde e início da noite, quando as primeiras células convectivas se desenvolvem em região com condições favoráveis à convecção. O estágio maduro tende a ocorrer na madrugada, período de máxima intensidade dos Jatos de Baixos Níveis⁴ (JBNs), quando os elementos de convecção continuam a se formar. Nesta fase, tempestades severas ainda podem ocorrer, porém é mais comum o desenvolvimento de fortes

⁴ O termo JBN foi introduzido por Means (1952) para descrever uma zona de forte fluxo de ar de sul, que ocorre abaixo do nível de 700 hPa (aproximadamente 3 km), observada no centro-sul dos Estados Unidos. Na América do Sul, segundo Vera et al. (2006a) ocorre um JBN, conhecido como Jato de Baixos Níveis da América do Sul (JBNAS), cujo mecanismo pode ser entendido como um fluxo de ar úmido dos ventos alísios do Atlântico Tropical que, ao passar sobre a Amazônia, pode adquirir maior quantidade de umidade devido à forte evapotranspiração desta região. Este ar úmido e quente é canalizado pelos Andes adquirindo uma aceleração da componente meridional do vento de norte (MARENGO et al., 2004).

chuvas localizadas (SILVA DIAS et al., 2009, p. 191). Cabe ressaltar que grande parte dos CCMs se forma em associação com os JBNs, fluxos de ar quente e úmido com máxima velocidade e situados à cerca de 3.000 metros de altitude, oriundo da Amazônia. Assim, contribui para elevadas precipitações sobre as regiões com CCMs em formação (Figura 6).

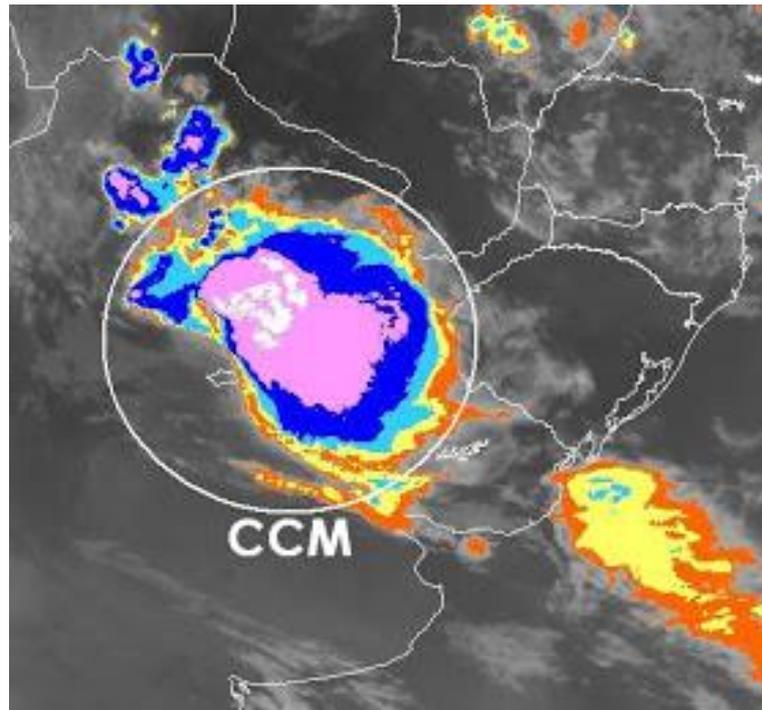


Figura 6 - Complexo Convectivo de Mesoescala intenso atuando sobre o nordeste da Argentina e proximidades do sul do Brasil com nuvens de topos frios (coloração rosa a branca). Este sistema atuou na região durante a primavera de 2009 desencadeando chuva extrema em cidades do sul do Brasil. Fonte: CPTEC/INPE (2009).

Alguns autores (e.g. NIETO FERREIRA et al., 2003, p. 971) constataram que a atividade convectiva sobre o norte da Argentina, Paraguai e regiões Sul e Sudeste do Brasil apresenta correlação negativa com a convecção associada à ZCAS, onde em situações em que a zona de convergência estava ausente, notava-se uma intensificação dos JBNs e, na presença da ZCAS, a circulação de NO-SE predomina e inibe o fornecimento de calor e umidade para os CCMs por parte dos JBNs.

Aspectos Meteorológicos Associados ao Desenvolvimento de Massas de Ar e Sistemas Frontais

Sobre todo o território brasileiro e sul-americano atuam massas de ar com diferentes características e origens que são determinantes na condução do tempo e do clima e implicam em consequências ambientais sobre diferentes porções do território. De acordo com Mendonça e Danni-Oliveira (2007, p. 121), massa de ar é uma unidade aerológica, uma porção da atmosfera, de extensão considerável, que possui características térmicas e higrométricas homogêneas, típicas das regiões onde são formadas.

As massas de ar formam-se, preferencialmente, em regiões que apresentam grandes extensões com características homogêneas. Ao deslocarem-se de suas regiões de origem, as massas de ar influenciam as regiões por onde passam, trazendo consigo novas condições de temperatura e umidade, ou seja, mudam as condições de tempo atmosférico (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 129). Os deslocamentos de massas de ar no sentido dos polos possibilitam o contato de massas de características diferentes, o que gera superfícies de descontinuidade (térmica, barométrica, higrométrica), no interior da atmosfera, denominadas frentes. Uma frente fria ocorre quando o ar frio polar avança sobre a região onde se encontra o ar quente tropical, enquanto uma frente quente se forma quando o ar quente avança sobre a região onde se situa o ar mais frio. A ocorrência de um desses tipos de frente é marcada por instabilidade atmosférica, variação de tipos de tempo e, comumente, eventos de precipitação (Figura 7).

A ocorrência de frentes associadas a massas de ar de diferentes características, assim como suas interações contribuem para a definição de tipos de tempo atmosférico em diferentes regiões. Neste sentido, esses fenômenos modificam principalmente as características térmicas e higrométricas de uma área, podendo gerar precipitação, aquecimento ou resfriamento, geadas, friagens e alteração dos padrões de umidade. As consequências ambientais geradas também dependerão da atuação conjunta desses fenômenos com outros sistemas atmosféricos e a influência dos fatores geográficos, como topografia, altitude e maritimidade/continentalidade.

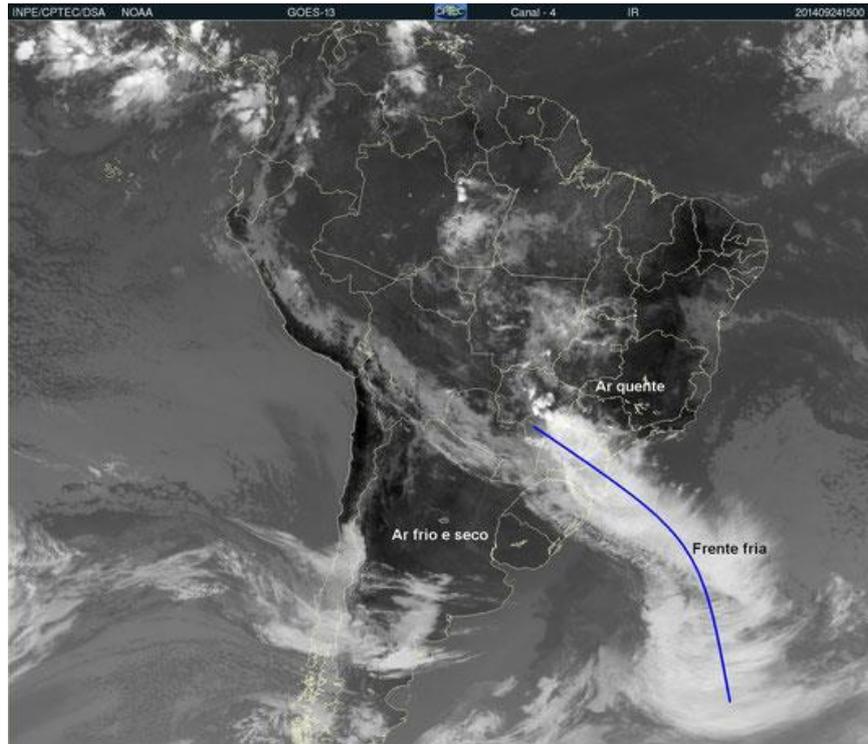


Figura 7 - Deslocamento de frente fria pelo centro-sul do Brasil com faixa de nuvens que se estende desde o Mato Grosso do Sul até o Atlântico Sul. Imagem obtida pelo satélite GOES 13 de 24/09/2014. Fonte: CPTEC/INPE (2014).

De acordo com Cavalcanti e Kousky (2003, p. 66), durante o inverno, as frentes são acompanhadas pelas massas de ar de altas latitudes que podem causar geadas e friagens em áreas agrícolas nas regiões Sul e Sudeste do Brasil. No Brasil, durante o verão, quando frentes frias avançam sobre o território e encontram o ar quente e úmido, produzem convecção e tempestade que geralmente causa transtornos e sérias consequências ambientais, como inundações, deslizamentos de encostas, ventanias e queda de granizo. Tais efeitos podem ser intensificados com a combinação das frentes frias com a ZCAS no litoral do Sudeste, causando períodos prolongados de chuva forte e consequências drásticas (CAVALCANTI; KOUSKY, 2003, p. 69). Esses autores realizaram estudo onde mostram os efeitos das frentes frias na precipitação e verificaram que tais frentes têm um efeito sobre a intensidade e a distribuição das chuvas, além de constatarem que a precipitação é maior ao longo e atrás da frente.

Lucena e Oliva (2012, p. 56) analisaram o volume das chuvas intensas que impactaram a cidade do Rio de Janeiro em 06 de abril de 2010 no contexto da climatologia do mês de abril referente ao período 1997-2010. Os autores apontaram que a frente fria que atingiu a cidade na noite anterior (05 de abril) foi decorrente de

um sistema de baixa pressão que se intensificou à leste da região Sudeste. Este sistema teve sua formação à leste do Rio Grande Sul no próprio dia 05. O anticiclone migratório pós-frontal, com núcleo de 1028 hPa e com características marítimas, direcionou uma pista de ventos de sul para o Rio de Janeiro, que transportaram ar frio e úmido provocando declínio da temperatura, muita nebulosidade e chuva. Na história do monitoramento da chuva, realizada pela GEORIO, dos dez mais elevados índices pluviométricos sucedidos em 24 horas, cinco ocorreram no dia 06 de abril de 2010, sendo quatro em postos do Maciço da Tijuca (Rocinha: 304,6 mm; Jardim Botânico: 303 mm; Tijuca: 280 mm e Vidigal: 264,6 mm), confirmando a magnitude do fenômeno meteorológico e a importância do conjunto montanhoso na cidade (LUCENA; OLIVA, 2012, p. 60).

A Variabilidade Interanual do Clima no Brasil: O Papel do El Niño-Oscilação Sul (ENOS)

Uma das principais fontes de variabilidade interanual do clima global é representada por uma oscilação acoplada oceano-atmosfera que produz alterações na Temperatura da Superfície do Mar (TSM), na pressão, no regime de ventos e na convecção tropical, em especial no Oceano Pacífico. Esse evento é denominado El Niño-Oscilação Sul (ENOS) e suas fases opostas são denominadas episódios El Niño e La Niña. Durante episódios El Niño, a TSM do Pacífico Equatorial Central e Leste fica mais elevada do que o normal, aumentando as condições de convecção nessas regiões, ao mesmo tempo em que ocorre resfriamento no Pacífico Oeste onde a convecção e a precipitação diminuem (GRIMM, 2009, p. 357) (Figura 8).

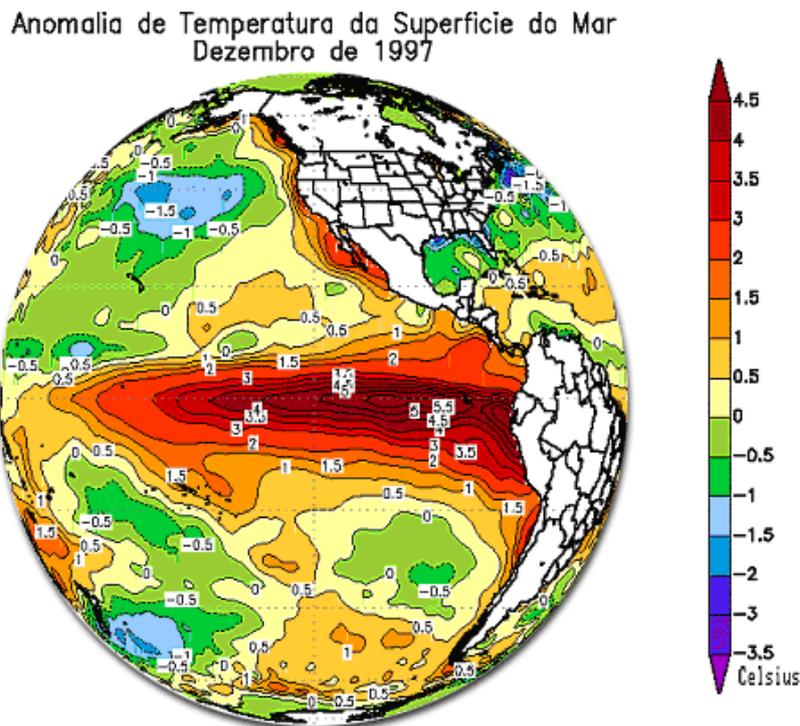


Figura 8 - Anomalia de TSM em dezembro de 1998. Os tons avermelhados indicam regiões com valores acima da média climatológica (anomalia positiva) e os tons azulados indicam regiões com valores abaixo da média climatológica (anomalia negativa). A região do Pacífico Central e Oriental mostra valores positivos que indicam a presença do El Niño. Fonte: CPC/NCEP/NWS/NOAA.

Nos trópicos, anomalias positivas de TSM aumentam o fluxo de calor e umidade para a atmosfera, diminuindo a pressão na superfície e aumentando a convecção. No Brasil, esse modo de variabilidade causa grande influência sobre a precipitação, conferindo, durante eventos de El Niño, às regiões Norte e Nordeste do Brasil, anomalias negativas e, ao sul de 20°S (Sul do Brasil), anomalias positivas. Nos episódios de La Niña, a situação é oposta, com volumes de chuva acima da média para as regiões Norte e Nordeste e abaixo da média para o Sul do Brasil. O episódio El Niño de 1982-1983, um dos mais intensos do século XX, atestou uma seca extrema na Austrália, Indonésia, sul da África e na região do Sahel, com registro de cerca de 60 mil mortos e numerosos incêndios. Ademais, chuvas intensas açoitaram a costa leste do Pacífico até a Califórnia e ciclones atingiram a Polinésia Francesa. No Brasil, cerca de 10 mil vítimas principalmente em virtude das chuvas extremas e inundações no centro-sul do país (MENDONÇA; DANNI-OLIVEIRA, 2007, p. 172). Na costa do Peru, um dos efeitos mais imediatos relacionados aos episódios El Niño consiste na queda

da produtividade da pesca e do guano em virtude da redução de fitoplânctons trazidos pela ressurgência e pela corrente fria de Humboldt que servem como alimento para as anchovas da região. Em função dessa interrupção na cadeia alimentar, os cardumes se afastam e ocasionam a morte de pássaros que produzem guano e deles se alimentam.

No ano de 2015, na região Sul do Brasil, elevados volumes de precipitação ocorreram em associação ao fenômeno El Niño implicando em inundações de extensas áreas e trazendo prejuízos à população. Na região Sudeste do Brasil, durante eventos ENOS, o padrão de chuvas se torna mais irregular o que favoreceu a queda dos reservatórios no ano de 2015. Contudo, é importante enfatizar que esse não é o único fator que afeta a disponibilidade hídrica, uma vez que a precária gestão dos recursos hídricos acaba por agravar tal situação.

A atuação do El Niño sobre o Nordeste brasileiro no final do ano de 2015 e início de 2016 contribuiu, com exceção do mês de janeiro, para volumes de precipitação abaixo da média climatológica. Esse processo agrava a escassez de água para as atividades humanas como, por exemplo, os danos significativos às culturas de subsistência. Cabe ressaltar que, nessa região, mesmo em anos de El Niño, é possível a ocorrência de eventos de chuvas intensas, contudo os acumulados tendem a ficar abaixo da média histórica, conforme divulgação, no ano de 2016, do Centro Nacional de Monitoramento e Alertas de Desastres Naturais (CEMADEN). A seca no Nordeste do Brasil traz inúmeras repercussões negativas para a região e a mais grave relaciona-se à perda de vida humanas, tanto de maneira direta como por meio dos danos às culturas de subsistência e ao agravamento do déficit hídrico.

Considerações Finais

O tempo e o clima no território brasileiro são controlados pela dinâmica da CGA em interação com determinados sistemas de circulação atmosférica que modulam, principalmente, o regime pluviométrico, as variações térmicas e a umidade do ar. Ao longo do território, há predomínio de clima úmido, evidenciado no período chuvoso de verão, no qual ocorre a presença de extensa faixa de nebulosidade no sentido noroeste-sudeste formada entre a umidade oriunda da Amazônia e as

intrusões dos fluxos oriundos da região extratropical, característica climatológica conhecida como ZCAS.

Os sistemas atmosféricos descritos neste trabalho são responsáveis, conjuntamente com os fatores geográficos como altitude, relevo e latitude, por controlar a manifestação do tempo atmosférico e do clima sobre distintas regiões do Brasil. Eventos extremos como ondas de frio e de calor, fortes rajadas de ventos, períodos de seca prolongada e, principalmente, chuvas intensas, foco deste trabalho, apresentam estreita relação com a dinâmica e a variabilidade espaço-temporal dos sistemas atmosféricos aqui abordados. Ademais, alguns estudos prévios apontaram um aumento considerável na ocorrência de eventos de chuvas intensas em algumas localidades do território brasileiro ao longo das últimas décadas. Neste contexto, Pristo et al. (2018, p. 625), ao analisarem a frequência de eventos de chuvas intensas no município do Rio de Janeiro entre 1997 e 2016, perceberam que, em alguns bairros da cidade, ocorreu significativo aumento na frequência de dias com chuvas intensas em comparação com o período observado por Dereczynski et al. (2009, p. 26) para o período de 10 anos entre 1997 e 2006.

Nos estudos realizados por Lucena e Oliva (2012, p. 61), o mês de abril de 2010 se comportou de maneira anômala no período de 14 anos entre 1997 e 2010 para a cidade do Rio de Janeiro, em particular no entorno do Maciço da Tijuca. No episódio analisado, os autores constataram que a combinação da ação dos sistemas atmosféricos atuantes com as características geomorfológicas peculiares da região proporcionou totais pluviométricos até então jamais observados na história da cidade, atingindo a ordem dos 300 mm em 24 horas e dos 500 mm no acumulado do mês.

A população brasileira ocupa grandes porções de seu território, nos mais variados tipos de sítios urbanos, quase sempre extremamente alterados pelo homem, notadamente nos grandes centros com grande adensamento populacional. Estas áreas são frequentemente impactadas por eventos extremos de chuva que, de maneira recorrente, geram transtornos e prejuízos à população que ali vivencia o seu cotidiano. Neste sentido, um melhor conhecimento das características dos sistemas atmosféricos e seu amplo monitoramento tornam-se fundamentais na medida em que a compreensão de sua dinâmica e de seus efeitos possibilita auxiliar na tomada de

decisão para subsidiar ações que reduzam os impactos dos eventos extremos de chuva sobre a sociedade.

Referências Bibliográficas

BARBOSA, R. L.; OYAMA, M. D.; MACHADO, L. A. Climatologia das perturbações convectivas iniciadas na costa norte do Brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 21, n. 1, p. 107-117. 2006.

BARBOSA, T. F., CORREIA, M. F. Sistemas convectivos intensos no semiárido brasileiro - o controle da grande escala. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 20, n. 3, p. 395-410. 2005.

BARROS, S. S., OYAMA, M. D. Sistemas meteorológicos associados à ocorrência de precipitação no centro de lançamento de Alcântara. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 25, n. 3, p. 333-344. 2010.

BARRY, R. G., CHORLEY, R. J. **Atmosphere, Weather and Climate**. Third Edition. London: Methuen: 1976, 403 p.

CAMPOS, C. R. J., LIMA, E. C. S., PINTO, L. B. Complexo convectivo de mesoescala observado em 27 de novembro de 2002 no nordeste da Argentina. **Anuário do Instituto de Geociências**, v. 31, p. 23-32. 2008.

CARVALHO, A. M. G. **Conexões entre a circulação em altitude e a convecção sobre a América do Sul**. 121f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1989.

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: persistence, intensity, form, extreme precipitation and relationships with intraseasonal to interannual activity and extreme rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, p. 88-108. 2004.

CAVALCANTI, I. F. A. **Um estudo sobre interações entre sistemas de circulação de escala sinótica e circulações locais**. 133f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1982.

CAVALCANTI, I. F. A., KOUSKY, V. E. Climatology of South American Cold Fronts. In: **VII INTERNATIONAL CONFERENCE ON SOUTHERN HEMISPHERE**

METEOROLOGY AND OCEANOGRAPHY. 2003, Wellington, New Zealand. American Meteorological Society. 2003.

CAVALCANTI, I. F. A.; MELO, A. B. C.; SOUZA, P. P. Zona de Convergência Intertropical do Atlântico. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. (orgs). **Tempo e Clima no Brasil.** 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 25-42.

CITEAU, J., UVO, C. R. B., NOBRE, C. A. Análise da posição da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) no Atlântico Equatorial e sua relação com a precipitação no Nordeste do Brasil. In: **V CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA.** 1988, Rio de Janeiro-RJ. 1988.

CLIMANÁLISE: **Boletim de Monitoramento e Análise Climática.** Número especial. São José dos Campos: CPTEC/INPE: 1986, 125p.

COHEN, J. C. P. **Um estudo observacional de linhas de instabilidade na Amazônia.** 153f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1989.

COHEN, J. C. P.; CAVALCANTI, I. F. A.; BRAGA, R. H. M.; SANTOS NETO, L. Linhas de Instabilidade na Costa N-NE da América do Sul. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F.(orgs). **Tempo e Clima no Brasil.** 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 75-93.

CONFORTE, J. C. **Um estudo de complexos convectivos de mesoescala sobre a América do Sul.** 140f. Tese (Doutorado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1997.

COSTA, M. S., COUTINHO, M. D. L., SANTOS, T. S., GOMES, A. C. S. Influência de um vórtice ciclônico de altos níveis no regime de chuvas em Natal/RN em junho de 2013 (Estudo de Caso). **Revista Ciência e Natureza,** ed. especial, p. 370-372. 2013.

DERECZYNSKI, C. P., OLIVEIRA, J. S., MACHADO, C. O. Climatologia da precipitação no município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia,** v. 24, n. 1, p. 24-38. 2009.

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. 2, p. 89-98. 2004.

FERREIRA, A. G., MELLO, N. G. S. Principais sistemas atmosféricos atuantes sobre a região nordeste do Brasil e a influência dos oceanos Pacífico e Atlântico no clima da região. **Revista Brasileira de Climatologia,** v. 1, p. 15-28. 2005.

FERREIRA, N. J.; RAMIREZ, M. V.; GAN, M. A. **Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis que atuam na Vizinhança do Nordeste do Brasil.** In: CAVALCANTI, I. F. A.;

FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F.(orgs). **Tempo e Clima no Brasil**. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 43-60.

GARSTANG, M., MASSIE, J. R., HALVERSON, J., GRECO, S., SCALA, J. Amazon Coastal Squall Lines: Part I - Structure and Kinematics. **Monthly Weather Review**, v. 112, p. 608-622. 1994.

GRIMM, A. M. Variabilidade Interanual do Clima no Brasil. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F.(orgs). **Tempo e Clima no Brasil**. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 353-374.

GROISMAN, P. Y., KNIGHT, R. W., KARL, T. R. Heavy precipitation and high streamflow in the contiguous United States: Trends in the twentieth century. **Bulletin of American Meteorological Society**, v. 82, p. 219-246. 2001.

HASTENRATH, S., HELLER, L. Dynamics of climate hazards in Northeast Brazil. **Quart. J. Roy. Meteorological Society**, v. 103, p. 77-92. 1977.

KONRAD, C. E. Synoptic-scale features associated with warm season heavy rainfall over the interior southeastern United States. **Weather and Forecasting**, v. 12, n. 3, p. 557-571. 1997.

KOUSKY, V. E. Diurnal rainfall variation in the Northeast Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 108, p. 488-498. 1980.

KOUSKY, V. E., GAN, M. A. Upper tropospheric cyclonic vortices in the Tropical South Atlantic. **Tellus**, v. 33, n. 6, p. 538-551. 1981.

LENTERS, J. D., COOK, K. H. On the origin of the Bolivian High and related circulation features of the south american climate. **J. Atmos. Sci.**, v. 54, p. 656-677. 1997.

LOUREIRO, R. S., SARAIVA, J. M., SENNA, R. C., FREDÓ, A. S. Estudo dos eventos extremos de precipitação ocorridos em 2009 no Estado do Pará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 29, n. esp., p. 83-94. 2014.

LUCENA, A. J., OLIVA, F. G. Análise da precipitação intensa de 06 de abril de 2010 na cidade do Rio de Janeiro no contexto da climatologia do mês de abril no período de 1997-2010. In: **XVII CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA**. 2012, Gramado-RS. 2012.

MACHADO, L. A. T., GUEDES, R. L., ALVES, M. A. S. Características estruturais de sistemas convectivos e forçantes da convecção na América do Sul observados por satélites. **Climanálise 10 anos**, CPTEC-INPE, p. 110-122. 1997.

MACHADO, L. A. T., FERREIRA, N. J.; LAURENT, H.; DIEDHIOU, A. Distúrbios Ondulatórios de Leste. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA,

GeoPUC, Rio de Janeiro, v. 12, n. 23, p. 74-99, jul.-dez. 2019

M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. (orgs). **Tempo e Clima no Brasil**. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 61-74.

MARENGO, J. A., SOARES, W. R., SAULO, C., NICOLINI, M. Climatology of the Low-Level Jet East of the Andes as Derived from NCEP-NCAR Reanalysis: Characteristics and Temporal Variability. **Journal of Climate**, v. 17, n. 12, p. 2261-2280, 2004.

MENDONÇA, F., DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: noções básicas e climas do Brasil**. 2ª ed. São Paulo: Oficina de Textos: 2007, 206 p.

MORAES, F. D. S. **Precipitação e desastres associados ao Complexo Convectivo de Mesoescala que atingiu o Rio Grande do Sul em 22 e 23 de abril de 2011**. 84f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Geografia) - Instituto de Geociências, Universidade Federal do Rio Grande do Sul. 2014.

NEVES, D. J. D., ALCANTARA, C. R., SOUZA, E. P. Estudo de caso de um distúrbio ondulatório de leste sobre o Estado do Rio Grande do Norte. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 31, n. 4, p. 490-505. 2016.

NIETO FERREIRA, R., RICKENBACH, T. M., HERDIES, D. L., CARVALHO, L. M. Variability of south american convective cloud systems and tropospheric circulation during January-March 1998 and 1999. **Monthly Weather Review**, v. 131, p. 961-973. 2003.

PINHEIRO, H. R., ANDRADE, K. M., MOURA, C. W. A maior catástrofe climática do Brasil sob a visão operacional do CPTEC/INPE. In: **SIMPÓSIO INTERNACIONAL DE CLIMATOLOGIA**. 2011, João Pessoa-PB. Mudanças Climáticas e Eventos Extremos de Tempo e seus Impactos nas Áreas Urbanas. 2011.

PRISTO, M. V. J., DEREZYNSKI, C. P., SOUZA, P. R., MENEZES, W. F. Climatologia de chuvas intensas no município do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 33, p. 615-630. 2018.

SANTOS NETO, L. A. **Análise observacional das linhas de instabilidade formadas na costa Norte-Nordeste da América do Sul**. 41f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) - Universidade Federal do Pará, 2004.

SANTOS, V. J., FIALHO, E. S. Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS) e impactos pluviométricos intensos – o caso da cidade de Ubá/MG. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 10, p. 218-238. 2016.

SILVA, L. A. **A influência do vórtice ciclônico de altos níveis (VCAN) sobre a precipitação do Nordeste do Brasil (NEB) e as características associadas**. 175f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.

SILVA DIAS, M. A. F.; ROZANTE, J. R.; MACHADO, L. A. T. Complexos Convectivos de Mesoescala na América do Sul. In: CAVALCANTI, I. F. A.; FERREIRA, N. J.; JUSTI DA SILVA, M. G. A.; SILVA DIAS, M. A. F. (orgs). **Tempo e Clima no Brasil**. 1ª ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2009. 181-194.

TORRES, J. C., NICOLINI, M. A. A composite of mesoscale convective systems over southern South America and its relationship to low level jet events. In: **VAMOS/CLIVAR/WCRP CONFERENCE ON SOUTH AMERICAN LOW-LEVEL JET**. 2002, Santa Cruz de la Sierra, Bolívia. 2002.

UVO, C. R. B. **A zona de convergência intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação da região Norte do nordeste brasileiro**. 82f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 1989.

VERA, C. S., CO-AUTORES. The South American Low-Level Jet Experiment. **Bulletin of American Meteorological Society**, v. 87, p. 63-77, 2006a.

YAMAZAKI, Y., RAO, V. B. Tropical cloudiness over South Atlantic Ocean. **Journal Meteor. Soc. Japan**, v. 55, n. 2, p. 205-207. 1977.

Recebido em 07 abr. 2019;

aceito em 16 mai. 2019.