

DINÂMICA ATMOSFÉRICA DO ESTADO DO PARÁ E A SUA RELAÇÃO COM O RELEVO

*ATMOSPHERIC DYNAMICS OF PARÁ STATE AND ITS RELATION WITH THE
RELIEF*

*DINÁMICA ATMOSFÉRICA DEL ESTADO DE PARÁ Y SU RELACIÓN CON EL
RELIEVE*

LUCAS PEREIRA SOARES ¹
MARCELO DE OLIVEIRA MOURA ²

¹ Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Paraíba – UFPB.
Docente do Curso de Geografia do Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia do Pará/IFPA - Campus Abaetetuba.
E-mail: lucas.soares@ifpa.edu.br, ORCID: <http://orcid.org/0000-0001-8196-3818>

² Docente do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Federal da Paraíba – UFPB.
E-mail: marcelomoura@ccen.ufpb.br, ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4884-6534>

RESUMO

O trabalho é alinhado, em termos teórico-metodológico, pela perspectiva da Climatologia Geográfica desenvolvida pelo geógrafo brasileiro Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, o qual propôs analisar a dinâmica atmosférica em conjunto aos fatores geográficos, em especial com o relevo, para fins de delimitação e de compreensão da participação territorial das massas de ar e dos sistemas atmosféricos de uma dada região. No estado do Pará essa análise geográfica do clima foi realizada a partir da seleção de dois anos representativos da variabilidade pluviométrica da série 1990 -2020: anos de 2013 e de 2015, exemplos marcantes do excesso e do déficit pluviométrico anual, respectivamente. Em termos mais operacionais, realizaram-se uma análise sinótica de escala diária dos anos eleitos e a obtenção dos índices de participação dos sistemas. Posteriormente, realizaram-se uma caracterização dos principais fatores geográficos da região, o que possibilitou no melhor entendimento do papel exercido por estes junto a gênese e o comportamento territorial dos sistemas atmosféricos atuantes no território paraense. **Palavras-chave:** Climatologia Geográfica. Sistemas Atmosféricos. Fatores Geográficos.

ABSTRACT

The paper is aligned, in theoretical and methodological terms, by the perspective of Geographic Climatology developed by the brazilian geographer Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, who proposed to analyze the atmospheric dynamics in conjunction with geographical factors, especially with the relief, for the purpose of delimitation and understanding of the territorial participation of air masses and atmospheric systems of a given region. In the state of Pará, this geographic analysis of the climate was carried out by selecting two years representative of the rainfall variability of the 1990-2020 series: the years 2013 and 2015, striking examples of annual rainfall excess and deficit, respectively. In more operational terms, a daily scale synoptic analysis of the elected years was carried out and the indices of system participation were obtained. Subsequently, a characterization of the main geographic factors of the region was carried out, which allowed for a better understanding of the role played by them in the genesis and territorial behavior of the atmospheric systems acting in the state of Pará.

Keywords: Geographic Climatology. Atmospheric Systems. Geographic Factors.

RESUMEN

El trabajo se alinea, en términos teóricos y metodológicos, con la perspectiva de la Climatología Geográfica desarrollada por el geógrafo brasileño Carlos Augusto de Figueiredo Monteiro, que propuso analizar la dinámica atmosférica en conjunción con los factores geográficos, en particular con el relieve, a efectos de delimitación y comprensión de la participación territorial de las masas de aire y de los sistemas atmosféricos de una determinada región. En el estado de Pará, este análisis geográfico del clima se realizó a partir de la selección de dos años representativos de la variabilidad pluviométrica de la serie 1990-2020: los años 2013 y 2015, ejemplos destacados del exceso y déficit pluviométrico anual, respectivamente. En términos operativos, se llevó a cabo un análisis sinóptico a escala diaria de los años elegidos y la obtención de los índices de participación de los sistemas. Posteriormente, se realizó una caracterización de los principales factores geográficos de la región, lo que permitió una mejor comprensión del papel ejercido por éstos en la génesis y comportamiento territorial de los sistemas atmosféricos actuantes en el estado de Pará.

Palabras clave: Climatología geográfica. Sistemas atmosféricos. Factores geográficos.

INTRODUÇÃO

O trabalho foi desenvolvido sob a perspectiva da Climatologia Geográfica, particularmente, a partir das orientações ofertadas por Monteiro (1971, 1973, 2015), que considera o ritmo de sucessão dos tipos de tempo atmosférico como noção primordial ao entendimento do clima de uma dada região. Esse ritmo é moldado pelo sequenciamento dos tipos de tempo, em uma concepção climática de natureza genética, entendida pela circulação atmosférica a partir da sua individualização em sistemas.

A compreensão dessa dinâmica, no entanto, deve ser precedida, conforme orienta Monteiro (1973), por um reconhecimento inicial dos atributos fixos superficiais, que moldados através das componentes topográficas-geomorfológicas, bem como, pelos efeitos da maritimidade e da continentalidade, atuam como agentes de superfície responsáveis por influenciar a composição dos tipos de tempo formadores do ritmo climático. Desta relação torna-se possível observar a gênese dos tipos de tempo por uma matriz dinâmica-geográfica, cujo interesse em compreender perfaz, dentro dos critérios elencados pela Climatologia Geográfica, o estabelecimento de índices que revelam a participação percentual dos sistemas atmosféricos no território que, espacializados por técnicas cartográficas, fomentam o entendimento das especificidades dinâmicas regionais sob uma constituição rítmica e espacial.

O objetivo central do trabalho é compreender a relação entre a dinâmica atmosférica do estado do Pará e os principais fatores geográficos, com destaque para o relevo. A área de estudo foi eleita em virtude de as suas particularidades climáticas e geomorfológicas, bem como pela carência de pesquisas fundamentadas pela noção de ritmo climático na região Norte do país. O estado do Pará (Figura 1) faz divisa com os estados do Maranhão e do Tocantins a Leste, Amazonas e Roraima a Oeste, Mato Grosso a Sul, estando ao Norte delimitado pelo oceano Atlântico, fazendo ainda divisa com o Amapá e fronteira com a Guiana e o Suriname, localizado nas baixas latitudes equatoriais, entre 10° Sul e 3° Norte.

Figura 1. Localização do estado do Pará no território brasileiro



Fonte: IBGE, 2010, Organização dos autores.

Em termos mais operacionais, realizaram-se análises de escala diária da participação/frequência dos sistemas atmosféricos atuantes na área de estudo, através da escolha de dois “anos-padrão”: um representativo das condições climáticas mais úmidas e chuvosas e um ano característico de um padrão climático mais seco.

Os anos selecionados são oriundos da série pluviométrica 1990 a 2019. Os anos foram utilizados para o estabelecimento dos índices de participação dos sistemas, os quais foram concebidos com base na dinâmica territorial dos sistemas atmosféricos e pela leitura/interpretação sinótica realizada, procedendo-se, após isso, com a caracterização dos principais fatores geográficos, que permitiu a análise das condições climáticas resultantes da relação entre os atributos dinâmicos-climatológicos e a componente geomorfológica-topográfica da área de estudo.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Com base na caracterização do componente dinâmico-climático associado aos fatores geográficos, o desenvolvimento do trabalho se fundamenta na proposta metodológica ofertada por Monteiro (1973). A proposta foi atualizada no tocante ao acréscimo de novas técnicas e tecnologias na obtenção, no tratamento e nas análises dos dados, a saber:

Etapa 1: Eleição e análise sinótica dos “anos-padrão”

A eleição dos “anos-padrão” foi desenvolvida com base nos dados do *Climate Hazards Group InfraRed Precipitation with Station data (CHIRPS) version 2.0 (v.2.0)*, validados ao estado do Pará a partir da malha oriunda de 33 postos pluviométricos disponibilizados pela Agência Nacional de Águas (ANA) e de 9 estações meteorológicas do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), considerando a série temporal 1990 a 2019.

Com os dados de precipitação estimados e validados, aplicou-se os critérios definidos por Pinkayan (1966) e Xavier (2001) para a eleição de “anos-padrão” pelo método dos *quantis*, considerando a classificação dos anos da série 1990 a 2019 por: i.) excesso pluviométrico (classes Chuvoso e Muito Chuvoso); ii.) pluviosidade normal ou habitual (classe Normal) e iii.) escassez pluviométrica (classes Seco e Muito Seco).

A classe Normal não apresentou homogeneidade espacial na área de estudo, sendo eleitos somente os anos de 2013, com padrão marcado por excesso pluviométrico (classes Chuvoso e Muito Chuvoso), e 2015, com padrão característico por escassez pluviométrica (classes Seco e Muito Seco). Após essa eleição, desenvolveu-se a análise sinótica desses anos, considerando uma escala diária ao nível dos tipos de tempo atmosférico.

Os sistemas atmosféricos considerados nesta composição dinâmica seguem uma premissa de identificação sob a escala sinótica, que, para a região, nas considerações de Reboita *et al.* (2010 e 2012) refere-se a atuação, na baixa troposfera, dos Alísios (AL), da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), da Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), dos Sistemas Frontais (SF) e suas repercussões, além dos sistemas associados a dinâmica dos AL, tais como; as Linhas de Instabilidade (LI) e aqueles atrelados a circulação dos SF e da ZCAS, como a Zona de Convergência de Umidade (ZCOU) e os Cavados (CV). Imprescindível informar que estes sistemas podem vir conjugados, algo que no ato da avaliação sinótica pode-se considerar por uma participação conjunta destes, por exemplo, pela relação ZCIT- LI. A análise sinótica deu-se pela assimilação de dados provenientes de imagens de satélites geoestacionários e cartas sinóticas.

As imagens de satélites geoestacionários estão disponíveis no acervo do Centro de Previsão de Tempo e Estudos Climáticos (CPTEC), vinculado ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), sendo estas complementadas pelo acervo disponível no

International Satellite Cloud Climatology Project (ISCCP), através do *Global ISCCP B1 Browse System (GIBBS)*. Todas as imagens apresentam órbita equatorial geoestacionária, com escala temporal de 15 minutos a 3 horas e o espectro delimitado nos campos do Visível (VIS), do Infravermelho (IR) e do Vapor d'água (WV) e com Realce de Temperatura (TEMP REALCE), nos formatos retangular e *full disk*, ambos com recorte à América do Sul.

Tendo em vista a necessidade de observação dinâmica da ZCAS e da ZCIT, utilizou-se dados de Radiação de Onda Longa (ROL), provenientes do *Physical Sciences Laboratory (PSL/NOAA)*, que analisados juntamente com as imagens geoestacionárias, e as cartas sinóticas, fomentaram o aporte à leitura sinótica que visa a descrição da formação e disposição destes sistemas sob o território paraense.

Quanto as cartas sinóticas de superfície, essas foram provenientes do CPTEC/INPE e do Centro de Hidrografia da Marinha (CHM), nos horários 00:00, 06:00, 12:00 e 18:00 UTC. As cartas foram auxiliares no acompanhamento da evolução das condições de tempo associadas, principalmente, a formação dos SF, da ZCAS, das ZCOU e dos CV, servindo ainda ao acompanhamento da dinâmica concernente aos demais sistemas. Por fim, e provenientes do *Meteorologix*, o uso de cartas de superfície indicativas da velocidade média dos ventos por meio de linhas de corrente. Essas cartas foram incorporadas às análises das imagens geoestacionárias para a observação dos AL, bem como na interpretação das condições para indicar a direção aproximada da pseudo-tensão que caracteriza a ZCIT.

A análise sinótica, desenvolvida na escala diária em respeito a delimitação dos “anos-padrão”, deu-se sobretudo com a preocupação em sincronizar a dinâmica atmosférica dentro dos limites definidos no zoneamento espacial observado na Figura 2, a qual revela os quadrantes a serem preenchidos com os índices de participação dos sistemas atmosféricos, representando a variação destes sistemas no território paraense.

Para a sincronização do dinamismo dos sistemas atmosféricos ao zoneamento espacial, recorreu-se a um critério estático, tomando como base o mapeamento da nebulosidade acumulada durante o dia, tornando-se pertinente à interpretação sinótica, além de um acompanhamento das condições dinâmicas da nebulosidade atmosférica por meio da leitura habitual de cartas e imagens, a fim de estabelecer em justaposição as regiões limítrofes dos sistemas atmosféricos em território sob a variação diária.

Como os sistemas atmosféricos repercutem, principalmente, na nebulosidade, desenvolveu-se um mapeamento da cobertura (ou ausência) de nuvens, que registradas nas imagens geoestacionárias através dos satélites da geração *GOES*, foram mapeadas a partir do emprego de classificações automáticas em ambiente SIG, pelo processamento de imagens por meio de uma álgebra pelo cálculo da nebulosidade tomando como base a estatística extraída dos *pixels* das imagens, em escala diária, mensal e anual.

As imagens processadas diariamente serviram para o mapeamento dos limites de atuação dos sistemas atmosféricos, auxiliando no processo de análise sinótica para a definição da participação dos sistemas nos quadrantes fixados pelo zoneamento da Figura 2. As imagens processadas sob o critério mensal e anual, serviram, somente, a uma visão geral sobre a disposição dos sistemas para os “anos-padrão” eleitos, estando, no caso das imagens anuais, associado ao produto cartográfico representativo dos índices de participação dos sistemas atmosféricos.

Etapa II: Elaboração dos índices de participação com base na dinâmica territorial dos sistemas atmosféricos

Os índices de participação dos sistemas atmosféricos foram concebidos respeitando os limites temporais dos “anos-padrão” eleitos, sendo estabelecidos a partir da participação dos sistemas no território para a escala temporal anual.

Na **participação territorial anual dos sistemas** considerou-se a totalidade dos 12 meses que compõem o ano, referindo-se à relação entre a *Quantidade de Dias de Atuação dos Sistemas para o Ano* multiplicado por 100 e dividido pela *Quantidade de Dias do Ano*, no estabelecimento dos índices através de porcentagens, como indicado:

$$\text{Participação Territorial Anual dos Sistemas} = \frac{\text{Quant. de Dias de Atuação dos Sistemas para o Ano} \times 100}{\text{Quantidade de Dias do Ano}}$$

Os índices de participação territorial foram incorporados espacialmente nos limites que caracterizam o estado do Pará, a partir da delimitação em quadrantes no espaçamento de 1° de latitude por 1° de longitude. Assim, delimitaram-se 125 quadrantes na área de estudo, conforme mostra a Figura 02.

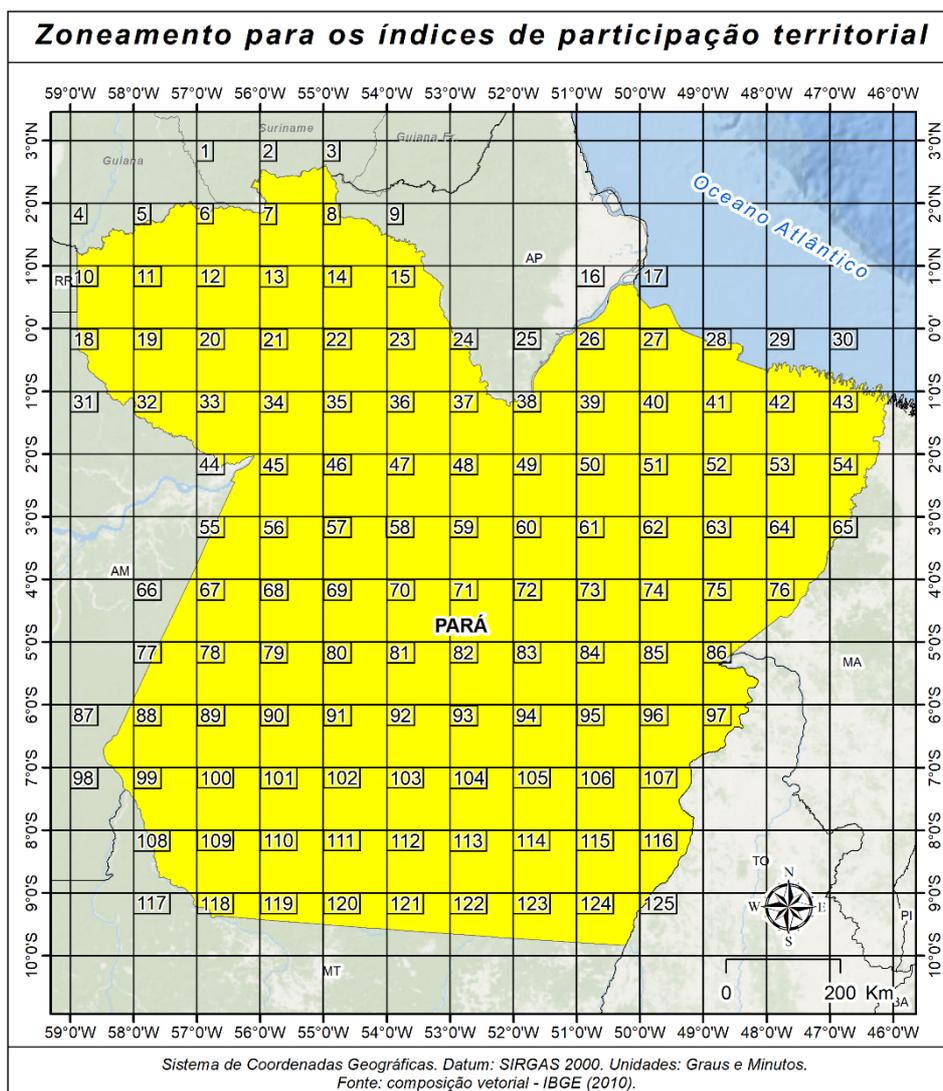
Dos principais fatores geográficos presentes no território paraense, destacam-se: as unidades geomorfológicas, as cotas topográficas e os efeitos da maritimidade e da continentalidade. Esses fatores foram apresentados e interpretados por meio da elaboração de produtos cartográficos, gerados através da adoção de uma base de dados combinados entre arquivos vetoriais e matriciais dispostos a seguir:

- i. Compartimentação geomorfológica do IBGE (2006) em camada *shapefile*, disponível no sítio on line: <https://bdiaweb.ibge.gov.br/#/consulta/geomorfologia> ;
- ii. Dados topográficos provenientes do projeto *Shuttle Radar Topography Mission (SRTM)*, em camada *raster*, coletadas junto ao endereço: <https://earthexplorer.usgs.gov/> ;

O tratamento cartográfico desses materiais foi realizado em ambiente SIG, considerando:

- i. A organização de um mosaico de imagens de radar, sob resolução espacial de 30 metros, a partir da composição das camadas *raster SRTM 1 Arc Seconds*, compreendendo todo o território sul-americano, no entanto, enfatizando o estado do Pará, por meio da produção de um mapa topográfico, como aporte ao entendimento dos níveis altimétricos paraenses;
 - ii. Organização das informações correspondentes aos compartimentos geomorfológicos classificados pelo IBGE (2006), por meio do recorte espacial aos limites territoriais do estado do Pará, procedendo, posteriormente, à elaboração do mapa de compartimentação geomorfológica.
- iii. **Etapa III: Elaboração de produtos para a caracterização dos principais fatores geográficos**
- iv.
 - v. A elaboração da cartografia temática permitiu uma associação entre as informações de superfície, representativas dos fatores geográficos, com aqueles dados dinâmicos de altitude, elencados por meio da análise sinótica dos tipos de tempo atmosférico, quantificada pelos índices de participação. Tal associação permitiu esboçar uma análise sobre o papel destes fatores geográficos, com destaque para o relevo, no dinamismo dos sistemas atmosféricos da área de estudo.

Figura 2. Delimitação de quadrantes para o estabelecimento territorial dos índices de participação dos sistemas atmosféricos



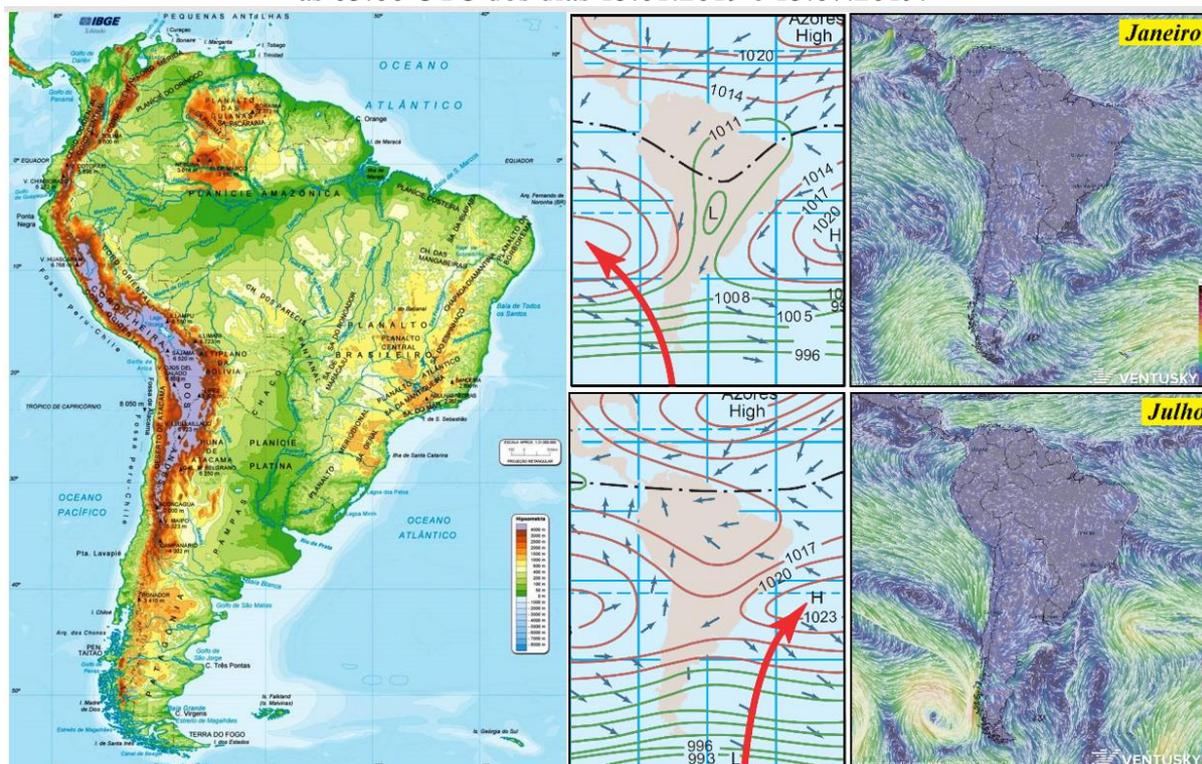
Fonte: IBGE, 2010, Organização dos autores.

FATORES GEOGRÁFICOS E SUA RELAÇÃO COM A CIRCULAÇÃO ATMOSFÉRICA

O conjunto de terras continentais que moldam a América do Sul entre dois oceanos, Pacífico e Atlântico, bem como, sua disposição Norte-Sul, são fatores de destaque à posição geográfica do continente para o entendimento da configuração climática do estado do Pará. A influência exercida pelas bacias oceânicas, a silhueta geomorfológica e topográfica das linhas de costa, a Cordilheira dos Andes, a Planície Amazônica, os Planaltos Meridional, Central, Brasileiro e das Guianas, em associação à circulação dinâmica da atmosfera, formatam direta ou indiretamente a diversidade das tipologias climáticas paraenses.

Sob uma ótica espacial, os compartimentos físico-naturais citados podem ser observados na Figura 3, que mescla a disposição do território em meio aos oceanos, agregado a variação altimétrica do relevo, em conjunto com o comportamento da circulação dos ventos e da pressão atmosférica durante os meses de janeiro e julho, em uma representação da dinâmica destes elementos no contato com a superfície, durante as estações climáticas do verão e do inverno austral.

Figura 3. Representação da composição altimétrica, dos níveis barométricos médios (em hPa) para os meses de janeiro e julho, e do comportamento dos ventos na América do Sul durante às 03:00 UTC dos dias 15.01.2019 e 15.07.2019.



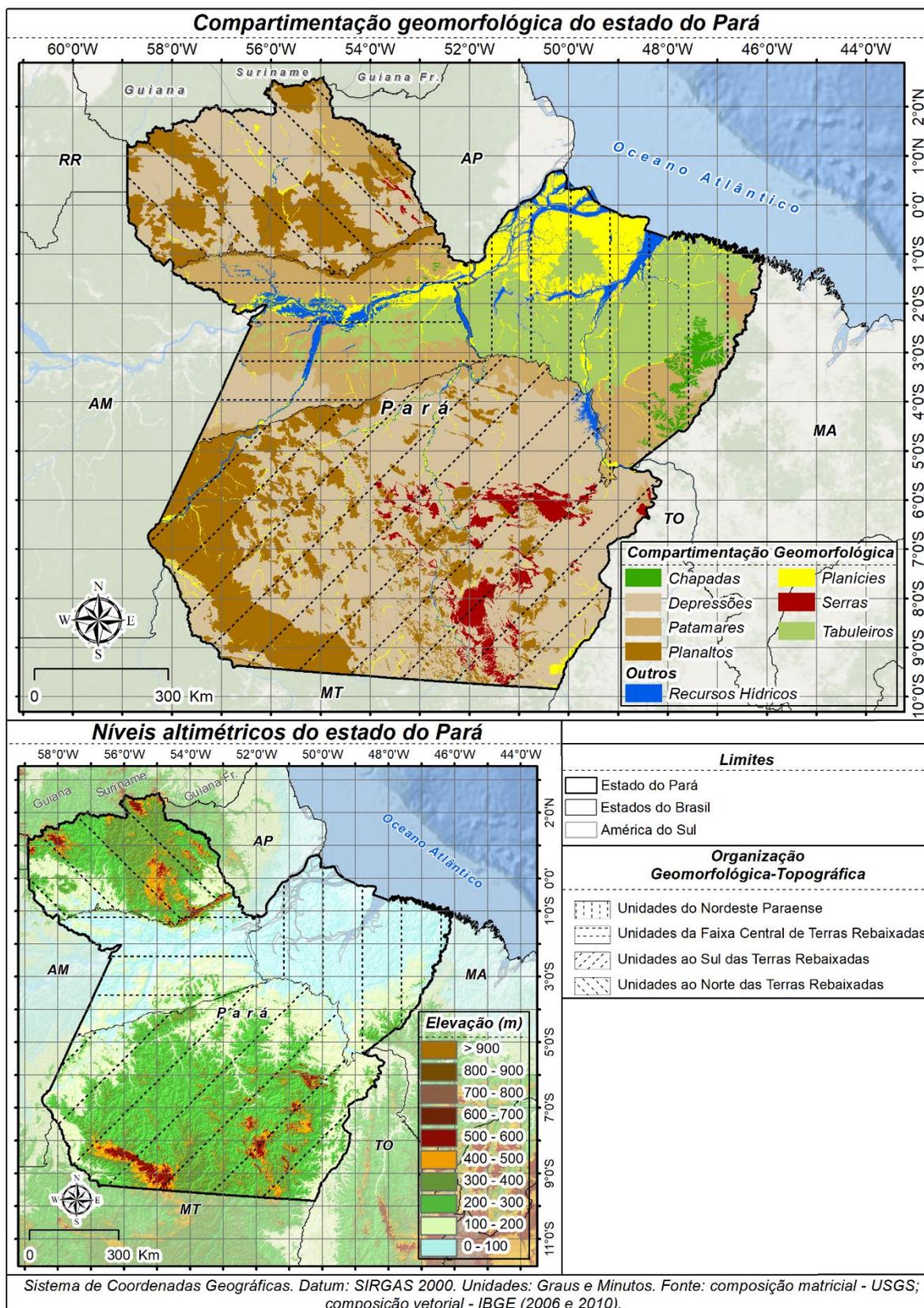
Fonte: Adaptado do IBGE (2018), Strahler (2011) e aplicativo Ventusky.

Na costa ocidental do continente, o Pacífico influencia indiretamente o estado do Pará promovendo os efeitos do El Niño Oscilação Sul (ENOS) como um controle climático. Já na costa oriental, o Atlântico influencia tanto pelas suas configurações de Temperatura de Superfície do Mar (TSM) nas bacias Norte e Sul, como também afeta diretamente as condições dinâmicas da atmosfera, seja pela circulação de Sudeste e Nordeste dos alísios, que incrementa, ainda, a formação das Linhas de Instabilidade (LI) e da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), ou mesmo pela penetração dos Sistemas Frontais no Sul, com demais sistemas agregados, sendo os Cavados (CV), as Zonas de Convergência de Umidade (ZCOU) e do Atlântico Sul (ZCAS).

A dinâmica relacionada a esses sistemas é modificada com o avanço em torno dos grandes compartimentos geomorfológicos apresentados na Figura 3. Seus fluxos são interiorizados pela faixa Norte do continente, avançando sob o Planalto das Guianas que, em conjunto ainda com o Planalto Brasileiro, formam um corredor de umidade através da Planície Amazônica. Outra composição é esculpida nas faixas de terras rebaixadas entre a Cordilheira dos Andes e os Planaltos Meridional, Central e Brasileiro, configurando a região de avanço dos sistemas frontais, que perfazem um caminho meridional de Sul para a região Norte do território brasileiro, adentrando pela faixa Sul e Oeste do estado do Pará.

Na Figura 4 é presente a distribuição das principais unidades geomorfológicas do estado do Pará e as suas cotas altimétricas.

Figura 4. Compartimentação geomorfológica e níveis altimétricos do estado do Pará



Fonte: IBGE, 2010 e 2006, organização dos autores.

Esses componentes físico-naturais foram agrupados e organizados em 4 grandes unidades do relevo, a saber:

- **Unidades Geomorfológicas do Nordeste paraense**, notadamente formado por terrenos rebaixados caracterizados, predominantemente, como planícies e tabuleiros, porém, marcado também pela presença de manchas superficiais de morfologias alçadas por chapadas rebaixadas e patamares de transição altimétrica. As altitudes nessa composição variam do nível de base aos 200 m de elevação;

- **Unidades Geomorfológicas da faixa central de terras rebaixadas**, terrenos constituídos por planícies, tabuleiros, patamares de transição e depressões. Tem-se predominância de altitudes modestas, variando entre 0 – 300 m, em alguns casos, com picos que se revelam por maior elevação, próximo dos 850 m;

- **Unidades Geomorfológicas ao Norte das terras rebaixadas**, formada primordialmente por depressões, planaltos e relevos residuais trabalhados pela erosão diferencial, cuja elevação no geral é caracterizada sob níveis que partem de 100 – 800 m de altitude;

- **Unidades Geomorfológicas ao Sul das terras rebaixadas**, caracterizada em primazia por morfologia esculpida por depressões, planaltos e relevos residuais trabalhados pela erosão diferencial, cuja elevação no geral é caracterizada sob os níveis entre 100 – 850 m.

A partir destas unidades geomorfológicas, em uma combinação simbiótica com a dinâmica dos sistemas atmosféricos, produz-se contrastes pelos efeitos da orografia e da ação da maritimidade e da continentalidade que repercutem nos elementos climáticos. A orografia é identificada nos planaltos e serras no Norte e Sul do estado, caracteriza, por exemplo, os efeitos de barlavento e de sotavento. A maritimidade é identificada, com destaque, na porção Nordeste do estado em uma combinação marcada pela proximidade do oceano e por terrenos rebaixados sem obstáculos orográficos, sendo ressaltada, também, nos entroncamentos entre os grandes rios, como no encontro entre o Tapajós e o Amazonas, por exemplo.

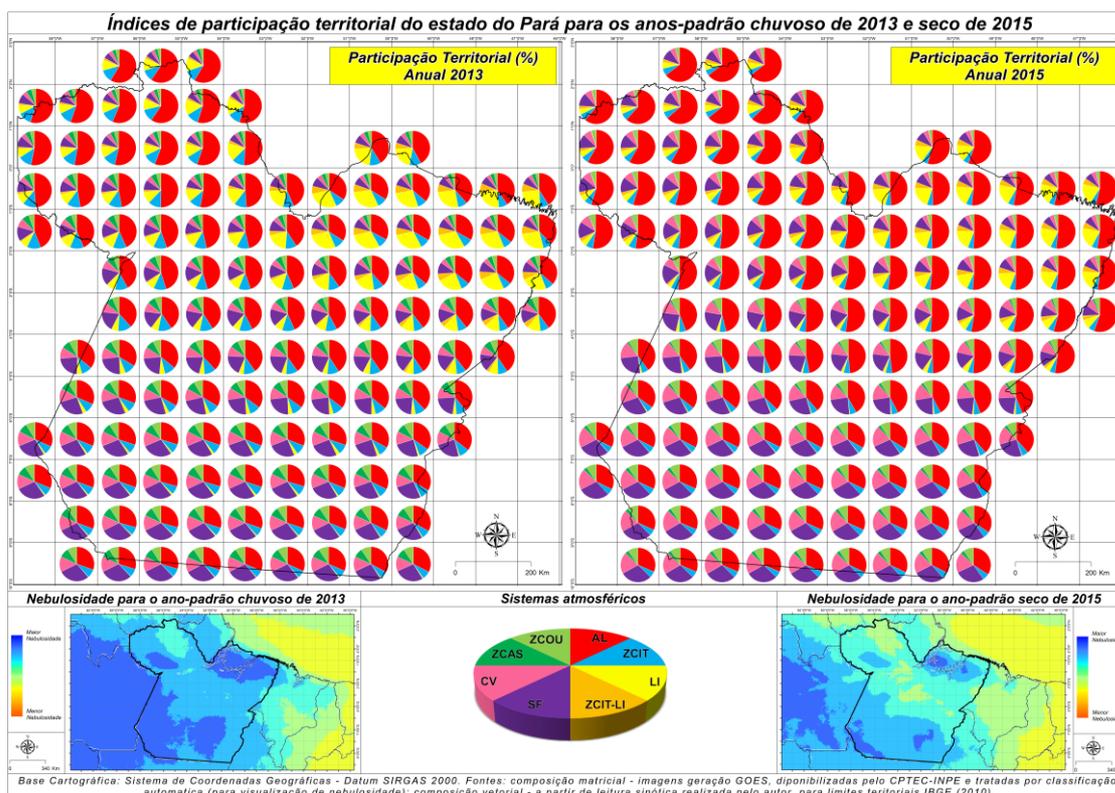
Nas regiões mais afastadas do litoral e distantes destes entroncamentos hídricos, o efeito de continentalidade é mais pronunciado, apesar da oferta de umidade do ar se manter alta, dada a condição fitogeográfica relevante da paisagem paraense, tendo em primazia, maior porção ocupada pelo bioma amazônico, e com uma pequena faixa de terras dotada pelo bioma cerrado.

No bioma amazônico, as florestas do tipo ombrófila densa indicam regiões formadas por climas mais úmidos e ampla rede hidrográfica, enquanto que as formações savânicas, notadamente localizadas em uma região de transição, marcada pela tensão ecológica entres os biomas amazônico e cerrado, funcionam como bioindicadores para climas mais secos e menor rede hidrográfica. Essa organização fitogeográfica, que ajuda a entender as áreas marcadas por maior ou menor umidade, contribui à explicação da dinâmica natural dos agentes externos que moldam o relevo, marcada pela predominância do intemperismo químico nas áreas de maior umidade, e por uma maior participação da morfogênese física nas porções menos úmidas.

Assim, a configuração geomorfológica do território paraense, aliada aos demais fatores de nível local, e mesmo os controles climáticos de grande escala, proveniente dos oceanos que circundam a faixa de terras do continente sul-americano, ajudam a entender, em conjunto com a participação dos sistemas atmosféricos, o comportamento da precipitação pluviométrica na região, definindo áreas de maior e menor umidade.

A partir da análise da variabilidade pluviométrica da série 1990 a 2019 foram eleitos “anos-padrão” para a delimitação de anos secos e chuvosos da região. Nessa delimitação, identificou-se o ano de 2013 como representativo de classe chuvosa ao estado do Pará, e o ano de 2015 como representativo do padrão seco. A análise minuciosa da dinâmica atmosférica destes anos, sob a escala do tipo de tempo à nível diário, possibilitou a elaboração dos mapas temáticos da Figura 5. Os mapas revelam a participação territorial dos sistemas atmosféricos, de ordem sinótica, atuantes no estado do Pará para os “anos-padrão” seco e chuvoso.

Figura 5. Índices de participação territorial do estado do Pará para os “anos-padrão”: chuvoso (2013) e seco (2015)



Fonte: elaborado pelos autores.

Na Figura 5, tanto para o ano seco, como para o chuvoso, nota-se maior participação dos Alísios (AL) em todo o estado do Pará, dado a sua característica permanente, proveniente da dinâmica quase-estacionária dos centros de ação localizados sob as bacias Norte e Sul do Atlântico tropical. Os AL adentram no território através da composição rebaixada do relevo das unidades localizadas no Nordeste paraense, interiorizando-se a partir da faixa de terras rebaixadas, que caracteriza a imensidão da planície amazônica.

Ao Norte das terras rebaixadas, tem-se também um forte avanço dos ventos oceânicos, que adentram pela faixa Leste do Amapá, encontrando certa rugosidade topográfica já sob os limites territoriais paraenses, configurando o efeito orográfico de barlavento e sotavento, conforme observado nas imagens de nebulosidade da Figura 5. Na porção Norte-Nordeste, os AL têm uma atividade convectiva mais evidente, estando associada aos efeitos da maritimidade e a composição do relevo, rebaixado no Nordeste e irregular no Norte. A atuação dos AL é dividida com a participação das LI, principalmente, nas unidades do Nordeste paraense, visto que a gênese destes sistemas lineares é proveniente de uma dinâmica mais intensa dos AL nessa posição territorial. Ao Sul da faixa de terras rebaixadas, tem-se também forte participação dos AL, no entanto, apresentando convecção reduzida, em um ramo, que no geral, caracteriza estabilidade à configuração dos tipos de tempo dessa porção do estado.

A ZCIT, seja em atuação isolada ou em associação com as LI, caracteriza-se por uma participação menos frequente durante os dias dos anos eleitos, visto que, a sua dinâmica se dá em movimentação latitudinal pendular e inter-hemisférica, com maior possibilidade de permanência no Hemisfério Norte, o que caracteriza anos de precipitação reduzida ao estado do Pará, como observado para o ano de 2015, quando a participação da ZCIT, se comparada ao ano chuvoso de 2013, foi muito reduzida.

Tanto no ano chuvoso, como no ano seco, o cavado equatorial tem uma participação homogênea em todo o estado. No ano seco, sua dinâmica é reduzida, influenciando pouco a dinâmica das LI. Já no ano chuvoso, o sistema tem maior participação, seja atuando de forma isolada ou mesmo em associação as LI, a participação desses sistemas é mais comum na porção Nordeste do estado. No Sul do estado, a participação da ZCIT é reduzida, levando dinâmica, principalmente, durante o ano chuvoso, caracterizada por condições oceânicas favoráveis, que permitem maior avanço territorial da sua banda de nuvens, devido ao maior aquecimento da bacia oceânica Atlântica Sul. Diferente dos AL e das LI, a ZCIT aparenta não sofrer tanta influência das condições locais, seu controle se dá pela constituição latitudinal aliada a Temperatura de Superfície do Mar (TSM), como já relatado em alguns trabalhos (UVO, 1989; MARENGO e HASTENRATH, 1993; FERREIRA, 1996; MOURA e VITORINO, 2012; SANTOS *et al.*, 2014).

Na região de predominância da ZCIT, destacam-se, conforme observado nas imagens de nebulosidade da Figura 5, duas regiões de influência orográfica, mas que, devido a característica desgastada do relevo paraense, aparentam não alterar a composição dos tipos de tempo gerados pela banda de nuvens da ZCIT. A primeira região tem relação direta com os AL, estando associada ao fluxo de leste destes que é barrado pela rugosidade topográfica evidenciada ao Norte das terras rebaixadas, na divisa entre os estados do Pará e Amapá. A segunda região é evidenciada próximo à divisa Oeste com o Amazonas, na faixa de terras rebaixadas, quando os fluxos provenientes da porção Sul, já fragilizados pelas componentes continentais e latitudinais, são barrados pela rugosidade topográfica do relevo situado na porção Norte.

Os fluxos provenientes da porção Sul da faixa de terras rebaixadas, caracterizam-se pela atuação dos SF, dos CV, das ZCOU e das ZCAS, os quais atuam fortemente na gênese dos tipos de tempo, avançando pelo Sul, Sudeste e Sudoeste do estado do Pará. Estes são os principais sistemas atuantes durante o segundo semestre dos anos eleitos, levando dinâmica à região cuja influência proveniente do Atlântico equatorial é menor. Evidenciam-se avanços dos SF, caracterizados muitas vezes como repercussões, por já estarem em estado de frontólise, ao atravessarem toda a componente continental dos Planaltos Meridional, Central e Brasileiro. Não obstante, são os SF responsáveis por quantidades expressivas de chuva, principalmente quando atuam no disparo para a formação da ZCAS e da ZCOU.

Os sistemas zonais, como a ZCAS e a ZCIT, ajudam a entender a definição dos “anos-padrão” ao estado do Pará, pois quando ambas têm sua dinâmica favorecida à região, elevam a quantidade de chuva, provocando os anos de maior precipitação, mas quando a dinâmica destes é irregular, surgem os anos secos. Se comparados, o ano chuvoso de 2013 apresenta maior participação da ZCAS e da ZCOU, contrastando com o ano seco de 2015, quando a convecção não se mostra o suficiente para atender à exigência de 3 dias seguidos ou mais de participação da ZCOU para formação da ZCAS, neste caso, há redução na atuação do sistema à região.

Já a participação da ZCOU é proporcional tanto no ano seco, como no chuvoso, alterando, entretanto, o regime pluviométrico da região, visto a ZCOU não ser tão eficiente quanto a ZCAS na convecção e na produção de nebulosidade e de chuva. Durante o ano seco de 2015 a redução na participação da ZCIT foi compensada pelo aumento da participação dos AL, o que caracteriza condições estáveis aos tipos de tempo, visto que a instabilidade provocada por esses sistemas e que condicionam a formação das LI, aparentam não ter tanta intensidade convectiva durante este ano seco.

A dinâmica destes sistemas é, assim, influenciada pelo conjunto marítimo-continental e latitudinal, observando-se também a interferência da componente geomorfológica, a partir dos planaltos da porção Norte, os planaltos da faixa Sudoeste e as serras e planaltos da porção Sudeste, bem como pela influência do complexo de unidades que perfazem o rio Amazonas e o Nordeste paraense, constituídos por terrenos já bastante desgastados pelos agentes erosivos.



CONCLUSÃO

Como premissa geográfica, o estudo do clima sob a perspectiva dinâmica pode ser realizado considerando os atributos dinâmicos atmosféricos integrados aos componentes superficiais, que representados pelo relevo e os seus níveis topográficos, comportam ainda os efeitos de outros fatores geográficos, tais como a ação da maritimidade e da continentalidade. Estes fatores, influenciaram direta e indiretamente nos tipos de tempo atmosférico que configuraram os padrões climáticos do estado do Pará quanto a excepcionalidade pluviométrica presente nos dias dos anos de 2013 e de 2015.

A análise geográfica da relação entre a dinâmica dos sistemas atmosféricos e dos fatores geográficos através do uso de índices de participação, pouco utilizado por outros campos de análise da climatologia, se apresentou, no desenvolvimento da presente pesquisa, bastante proveitoso ao entendimento do comportamento anual dos sistemas atmosféricos da região. De forma igual, cita-se o uso da técnica de mapeamento da nebulosidade por meio de imagens geostacionárias, constituindo-se em uma ferramenta que visou indicar a posição e a cobertura territorial dos sistemas atmosféricos, útil ao processo de análise sinótica que levou a produção dos índices de participação territorial dos sistemas.

Por fim, a valia do trabalho, é pautada por um contexto de evolução aos estudos climáticos e geográficos que competem ao estado do Pará, e avançam no sentido de desenvolver uma proposta de classificação climática de natureza genética, considerando o ritmo de sucessão dos tipos de tempo, fundamentado em contexto de integração entre a circulação dinâmica dos sistemas atmosféricos e os fatores que influenciam.

REFERÊNCIAS

- FERREIRA, N. S. Zona de convergência intertropical. **Boletim do Climanálise Especial** - Comemoração dos 10 anos, São Paulo, 1996. Disponível em: http://climanalise.cptec.inpe.br/~rcliman/boletim/cliesp10a/zcit_1 . Acesso em: 28 fev. 2011.
- IBGE. **Unidades de Relevo**. 2006. Disponível em: <https://www.ibge.gov.br/geociencias/informacoes-ambientais/geomorfologia/15827-unidades-de-relevo.html?=&t=o-que-e> . Acesso em: 6 jul. 2020.
- IBGE. **Atlas geográfico escolar**. 8. ed. Rio de Janeiro: IBGE, 2018. 224p.
- KNAPP, K. R. Scientific data stewardship of International Satellite Cloud Climatology Project B1 global geostationary observations. **Journal of Applied Remote Sensing**, 2, 023548, 2008. Disponível em: <https://isccp.giss.nasa.gov/products/JARS-ISCCP-B1.pdf> . Acesso em: 3 jul. 2020.
- MAPBIOMAS. **Coleção 7 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso da Terra do Brasil**. 2021. Disponível em: <https://plataforma.brasil.mapbiomas.org/> . Acesso em: 9 dez. 2022.
- MARENGO, J. A.; HASTENRATH, S. Case Studies of Extreme Climatic Events in the Amazon Basin, **Journal of Climate**, 6(4), 617-627, 1993. Disponível em: https://journals.ametsoc.org/view/journals/clim/6/4/15200442_1993_006_0617_csoece_2_0_co_2.xml . Acesso em: 24 jul. 2021.



MONTEIRO, C. A. F. Análise Rítmica em Climatologia: problemas da atualidade climática em São Paulo e achegas para um programa de trabalho. **Série Climatologia**, Nº1. São Paulo: Instituto de Geografia/USP, 1971.

MONTEIRO, C. A. F. **A dinâmica climática e as chuvas no estado de São Paulo**: estudo geográfico sob a forma de atlas. São Paulo: USP/Instituto de Geografia, 1973.

MONTEIRO, C. A. F. A climatologia geográfica no Brasil e a proposta de um novo paradigma. p. 61 - 153. In: MONTEIRO, C. A. F. A (Org.). **A construção da climatologia geográfica no Brasil**. Campinas, SP: Editora Alínea, 2015. 194p.

MOURA, M. N.; VITORINO, M. I. Variabilidade da precipitação em tempo e espaço associada à Zona de Convergência Intertropical. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.27, n.4, 475 - 483, 2012.

PINKAYAN, S. **Conditional probabilities of occurrence of Wet and Dry Years Over a Large Continental Area**. Colorado: State University, Boulder-Co, 1966. (Hydrology papers, n. 12). Disponível em: https://mountainscholar.org/bitstream/handle/10217/61293/HydrologyPapers_n12.pdf?sequence=1 . Acesso em: 10 jul. 2020.

REBOITA, M. S.; GAN, M. A.; ROCHA, R. P.; AMBRIZZI, T. Regimes de precipitação na América do Sul: uma revisão bibliográfica. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v.25, n.2, 185 - 204, 2010. Disponível em: <https://www.scielo.br/j/rbmet/a/yhrG5QPXhBCkZXcGKgyzWvf/?lang=pt&format=pdf> . Acesso em: 4 jul. 2020.

REBOITA, M. S.; KRUSCHE N.; AMBRIZZI, T.; ROCHA, R. P. Entendendo o Tempo e o Clima na América do Sul. **Terra e Didática**, v.8, n.1, 34-50, 2012. Disponível em: <https://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/v81/pdf81/s3.pdf> . Acesso em: 4 jul. 2020.

SANTOS, S. R. Q; BRAGA, C. C.; CAMPOS, T. L. O. B.; BRITO, J. I. B.; SANTOS, A. P. Variabilidade da precipitação no estado do Pará por meio de análise em componentes principais. **Revista Brasileira de Geografia Física**, vol. 07, n.03, 2014, 615- 627. Disponível em: <https://periodicos.ufpe.br/revistas/rbgfe/article/view/233178> . Acesso em: 24 jul. 2021.

STRAHLER, A. H. **Introducing Physical Geography**, 5. ed. Wiley: Hoboken, NJ, USA, 2011.

XAVIER, T. M. B. S. **Tempo de Chuva**. ABC Editora: Fortaleza-Ceará, 2001, 478 p.

UVO, C. A. **Zona de Convergência e sua relação com a precipitação no Nordeste Brasileiro**. São José dos Campos. Dissertação de Mestrado, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais-INPE, 1989. Disponível em: https://bdtd.ibict.br/vufind/Record/INPE_1305aca12f4588e659993c1741f960b9 . Acesso em: 2 jul. 2020.