

ANÁLISE DO EFEITO OROGRÁFICO POR MEIO DA INTERPOLAÇÃO DE INDICES CLIMÁTICOS

ANALYSIS OF THE OROGRAPHIC EFFECT BY THE INTERPOLATION OF CLIMATE INDICES

BRUNO CÉSAR DOS SANTOS

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos-EESC
Av. Trab. São Carlense, 400 - Parque Arnold Schmidt, São Carlos - SP
CEP 13566-590
E-mail: bruno-unifal@hotmail.com

RAFAEL GRECCO SANCHES

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos-EESC
Av. Trab. São Carlense, 400 - Parque Arnold Schmidt, São Carlos - SP
CEP 13566-590
E-mail: rafagsanches@usp.br

MAURICÍO SANCHES DUARTE SILVA

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos-EESC
Av. Trab. São Carlense, 400 - Parque Arnold Schmidt, São Carlos - SP
CEP 13566-590
E-mail: mauriciosanches@usp.br

THIAGO YOUZI KUSSABA KAYANO

Universidade de São Paulo
Escola de Engenharia de São Carlos-EESC
Av. Trab. São Carlense, 400 - Parque Arnold Schmidt, São Carlos - SP
CEP 13566-590
E-mail: thiago.kayano@usp.br

PAULO HENRIQUE DE SOUZA

Universidade Federal de Alfenas
Instituto de Ciências da Natureza
Av. Jovino Fernandes Sales, 2600 - Bairro Santa Clara - Alfenas/MG
CEP 37133-840
E-mail: phsouza31@hotmail.com

ADRIANO ROGÉRIO BRUNO TECH

Universidade de São Paulo
Faculdade de Zootecnia e Engenharia de Alimentos
Av. Duque de Caxias Norte, 225 - Pirassununga/SP
CEP: 13635-900
E-mail: adriano.tech@usp.br

Informações sobre o Artigo

Data de Recebimento:
Novembro/2018
Data de Aprovação:
Dezembro/2018

Resumo: O aspecto dinâmico da atmosfera promove, por meio das chuvas, significativa heterogeneidade temporal e espacial nos dados pluviométricos. A orografia, como elemento de destaque nesse processo, pode intensificar tal dinâmica. Compreender a influência desse mecanismo espaçotemporal se faz necessário. Para tanto, foram analisados 31 postos pluviométricos diários na região centro-leste do Estado de São Paulo, a fim de identificar essa influência, na série histórica

1979-2017. Utilizou-se do cálculo de índices climáticos (RClimdex) e da interpolação especial de dados (IDW) para compreender tal influência. Notaram-se “ilhas de umidade” na região onde o relevo apresenta-se mais elevado, como destaque para os índices de chuva acumulada anual, máximo diário, máximo acumulado em 5 dias e na intensidade pluviométrica. Tal intensificação se reafirma pela conjuntura geoambiental e pelo fator orográfico, sendo mais evidente na relação entre o número de dias consecutivos chuvosos e no valor máximo acumulado em 5 dias consecutivos. Tais aspectos reafirmam a dinâmica de sistemas frontais (SFs) e da convergência de ventos úmidos (ZCAS), típicos da região, que se intensificam em função do relevo.

Palavras-chave: Precipitação, chuva orográfica, cuestas basálticas, RClimdex e SIG.

Abstract

The atmosphere dynamics promotes, through the rains, spatio-temporal heterogeneity in the pluviometric data. Orography as an element it can be intensify rainfall. The comprehended influence of this spatiotemporal mechanism is necessary. For this purpose, 31 daily pluviometry stations were analyzed in the central-eastern region of the State of São Paulo over 1979-2017 data. The climatic index calculation (RClimdex) and the spatial interpolation data was used to understand this influence. It was noted "humidity islands" in the region where the relief is highest. The annual accumulated rainfall, the daily maximum, the accumulated maximum in 5 days and rainfall intensity improve this. The intensification is reaffirmed by the geoenvironmental situation. The orographic factor being more evident in the relation between the number of consecutive rainy days and the maximum value accumulated in 5 consecutive days. These reaffirms the dynamics of frontal systems (FS) and the convergence of moist winds (ZCAS), typical of the region, which intensify due to the relief.

Keywords: Precipitation, orographic rain, basaltic slopes, RClimdex and SIG.

1. Introdução

A chuva é resultado do processo de transformação do estado físico-químico da água, sendo um dos elementos climáticos obtidos pela atuação dinâmica da atmosfera sobre a superfície, e ocorrendo de 3 maneiras distintas: frontais, convectivas e orográficas.

Chuvas frontais se formam a partir do contato das superfícies entre massas de ar quentes ou frias; as convectivas estão associadas às intensas correntes de ar ascendentes se alocando nas células de convecções; já as chuvas orográficas ocorrem quando uma massa de ar é forçada a ascender sobre um relevo elevado, se resfriando adiabaticamente, condensando e precipitando (STEINKE, 2012).

Segundo Conti (1975) a orografia não é fruto unicamente da relação da chuva com o relevo, mas resultado de uma interação dinâmica que considera além desses dois fatores, outros de caráter local. Desta forma, vários mecanismos podem ser responsáveis no processo de eventos intensos de precipitação, devido à interação do fluxo de ar perturbado pela orografia (altitude e declividade) local conduz, no processo da formação de nuvens.

O conhecimento da dinâmica climática regional sobre a configuração do relevo como dinamizador dos regimes de precipitação (CANDIDO; NUNES, 2008) é um fator importante para a região em estudo, pois, podem acarretar valores pluviométricos diferenciados, em locais geograficamente próximos.

Esses eventos de precipitação intensos e longos, podem resultar diferenças (aumento ou redução) nos valores médios das chuvas entre as divisões topográficas (barreiras orográficas, fundo de vales, declives acentuados) de uma área (BARROS; LETTENMAIER, 1994).

Nesse contexto, saber onde e como ocorrem as influências exercidas pelos fatores geomorfológicos que atuam na intensificação das chuvas orográficas em um determinado lugar, assume grande importância.

Nesse sentido, a região de estudo observada se localiza no centro-leste do Estado de São Paulo e apresenta índices pluviométricos bem definidos ao longo do ano, sendo caracterizado como Clima Tropical de Altitude, alternadamente, seco e úmido (SANCHES et al., 2018; SANTOS; SOUZA; VECCHIA, 2017; YOULTON et al., 2012).

Diante das características morfológicas dessa região, notam-se particularidades em seu entorno como divisor natural do território. A topografia contribui na dinâmica sub-regional de processos físicos, ambientais e econômicos, interagindo com os diferentes tipos de ocupação do solo.

A serra, fator de destaque na topografia dessa, exerce influência nas condições climáticas, principalmente, nas correntes circulatórias de ar originizadas pela orografia e proporcionam características climáticas particulares no mecanismo da gênese das chuvas. Além disso, sua orientação, declividade e amplitude altimétrica também refletem nos gradientes termohigrométricos, devido à radiação solar recebida em determinadas épocas do ano.

Desta forma, o presente estudo tem como objetivo avaliar e analisar a influência orográfica na distribuição espacial das chuvas, por meio de dados diário e índices climáticos do RClindex.

2. Fundamentação Teórica

O aspecto dinâmico na atmosfera se reafirma a partir dos processos que implicam nas chuvas da porção sudeste da América do Sul, sendo que o traço sazonal desses eventos é marcante.

A ocorrência desses fenômenos sazonais é marcada pelo aquecimento de algumas áreas da América do Sul, formando uma área ascendente na troposfera e de divergência de ar próximo a tropopausa denominada Alta da Bolívia (AB), que acarreta na elevação da umidade em níveis próximos à superfície. Sua interação com o avanço de um sistema frontal acarreta em dias consecutivos de chuvas (STEINKE, 2012).

As chuvas do sudeste brasileiro são sazonais e ocorrem, predominantemente, no período do verão (DJF – Dezembro/Janeiro/Fevereiro). Tais chuvas se associam aos sistemas frontais (SF), à dinâmica atmosférica regional, além de terem as variações nos padrões de chuvas vinculados à ZCAS (Zona de Convergência do Atlântico Sul), ao processo urbanização acelerada, do uso do solo, bem como dos mecanismos dinâmicos e termodinâmicos (CARVALHO; JONES; LIEBMANN, 2004; DUFEK; AMBRIZZI, 2008; VÁSQUEZ P. et al., 2018; ZILLI et al., 2017).

Entretanto, os SFs que influem no sudeste brasileiro são, por sua vez, associados à convecção, promovendo grandes valores acumulados de chuvas dependendo da velocidade do deslocamento desses sistemas (TEIXEIRA; SATYAMURTY, 2011, 2007).

Consideram-se sete diferentes processos (tipos) de precipitação e/ou intensificação orográfica (Figura 1): (a) o mecanismo mais simples, já mencionado, (b) o efeito de bloqueio parcial ou desvio da massa de ar ao redor da montanha, devido a estabilidade atmosférica ou o fluxo do ar incapaz de ascender ao longo do relevo, (c) o efeito do fluxo de ar forte no vale, onde a precipitação e evaporação da precipitação esfriam o ar quando cai e colide com o ar ascendente sobre o relevo, (d) o efeito do fluxo do ar dividido em torno do relevo, converge a sotavento e levando a precipitação (e) o efeito da convecção disparada, decorrente da vertente do relevo iluminada pelo Sol (f) o efeito da autoconversão que desenvolve por meio da condensação, resultante das vertentes do relevo elevar do ar acima do seu nível de convecção livre e (g) efeito “alimentador-semeador”, pela ocorrência de nuvens mais altas precipitando, tanto frontais quanto orográficas, sobre nuvens mais baixas mantidas pela ascensão de ar úmido, aumentando a colisão entre as gotas (ROE, 2005).

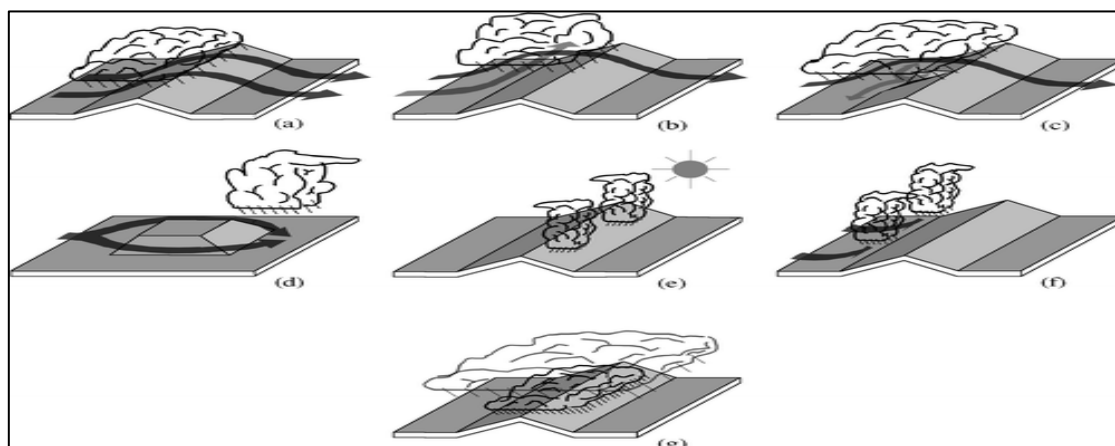


FIGURA 1: Tipos de diferentes mecanismos de chuva orográfica. Fonte ROE, 2005.

Blanco e Massambani (2000), ao estudar os processos de intensificação orográfica da precipitação na região da Serra do Mar, concluíram que os fatores fundamentais de escala sinótica responsáveis pela ocorrência dos fenômenos de intensificação são em situações de eventos pós-frontais e o mecanismo seeder-feeder predominante sobre aquela área.

Candido e Nunes (2008) estudaram a relação entre precipitação e altimetria nas áreas do Vale do Tietê e Serra da Mantiqueira e concluíram que locais de relevo mais irregular se percebe a existência de maiores amplitudes nos totais pluviométricos, no caso de Itapira e da Serra da Mantiqueira que registraram valores acima da média. E em termos sazonais, a influência da orografia é bastante minimizada no inverno, e no verão a influência da orografia é mais nítida.

Britto, Barletta e Mendonça (2008), estudando a “Regionalização Sazonal e Mensal da Precipitação Pluvial Máxima no Estado do Rio Grande do Sul”, concluíram que a variabilidade pluviométrica mensal e sazonal observada sofreu influência direta da altitude. Ficando de maneira

evidente que as regiões situadas em altitudes maiores apresentaram totais pluviométricos superiores que aquelas situadas nas baixas altitudes, mostrando que a altitude é responsável pela intensificação das precipitações frontais e também convectivas. Apesar dos ganhos pluviométricos terem ocorridos devido à elevação do relevo, esses efeitos possam estar interligados aos processos de intensificação orográfica das chuvas em regiões altas.

Pallegatti e Galvani (2010) avaliaram a influência da orografia na Serra do Mar-SP em eventos de diferentes intensidade e duração. Os autores concluíram que a série de eventos no perfil estudado sugere fortemente a influência exercida do relevo. A orientação do obstáculo de relevo é fundamental como forte atributo à intensificação da influência da orografia, devido à quantidade de umidade levado pelos ventos provenientes do oceano.

Milanesi e Galvani (2011) tiveram como objetivos investigar a relação chuva x relevo de forma mais ampla, avaliando a dinâmica das chuvas sob o controle do relevo na Ilha de São Sebastião. Os autores concluíram que chove mais a barlavento e em altitudes maiores, e há redução das chuvas a sotavento da ilha. Desta forma, identificando a chuva orográfica.

Forgiarini, Vendruscolo e Rizzi (2013) analisaram as chuvas orográficas na região central do Rio Grande do Sul. Os autores observaram que a influência do relevo nas chuvas ocorridas em Silveira Martins está condicionada à predominância do avanço das massas de ar polares (sudoeste-nordeste), em detrimento à invasão de massas de ar subtropicais (nordeste-sudeste).

3. Materiais e Métodos

Foram utilizados 31 postos pluviométricos, com dados diários, de séries históricas de 38 anos (1979-2017), na região centro-leste do Estado de São Paulo, abrangendo os municípios de Ibaté, São Carlos, Descalvado, Analândia, Corumbataí, Itirapina, Brotas, Ribeirão Bonito, Dourado, Rio Claro, Ipeúna, Charqueada, São Pedro, Torrinha, Santa Maria da Serra e Dois Córregos (Figura 2).

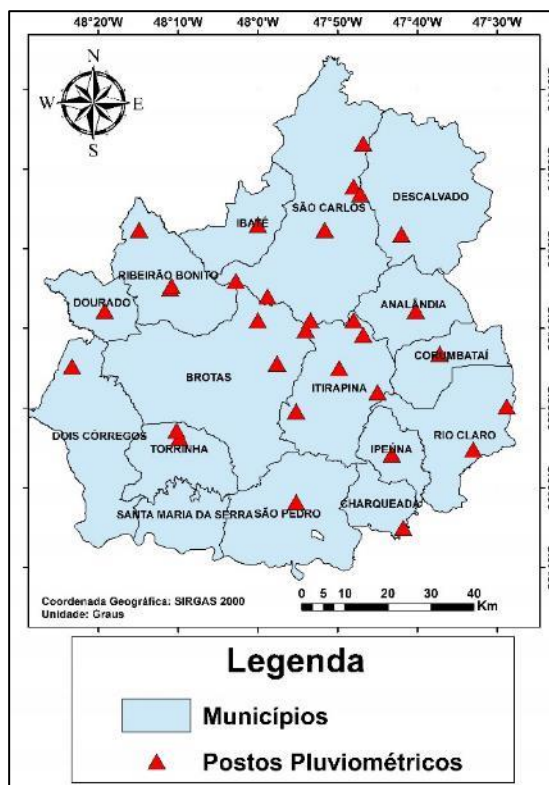


FIGURA 2: Mapa dos Municípios e postos pluviométricos da área de estudo. Fonte Elaborado pelos autores.

A região está localizada dentro de uma Área de Proteção Ambiental, a (APA) Corumbataí, criada para proteger elementos naturais de importância ecológica e paisagística como áreas vegetação nativa e mananciais. A região também é conhecida pela sua importância econômica diante da sua vocação ecoturística, apresentando inúmeros atrativos naturais como, grutas, cachoeiras, cavernas e as famosas “Cuestas Basálticas”, consideradas de grande fragilidade ambiental. (CORVALAN; GARCIA, 2011).

Os aspectos geomorfológicos das regiões encontram-se dividido em duas morfoestruturas, o Planalto Ocidental, formada numa grande zona de relevo suave compostas por colinas, morros baixos e serras, com uma altitude média aproximadamente de 900m e a Depressão Periférica Paulista apresentando um relevo predominantemente colinoso e suave, além de morros e serras isoladas com níveis de aproximadamente 600m (ROSS; MOROZ, 1997; PINHEIRO; QUEIROZ NETO, 2014).

Ao norte da área selecionada encontram-se ao longo do planalto a Serra de Santana, de Analândia, de Atalaia, e de São Carlos (Figura 3), entre os municípios de São Carlos, Itirapina, Analândia e Descalvado.

Essas morfoestruturas, constituem-se em um extenso testemunho do recuo da chamada Cuesta interior, com altitudes aproximadamente entre 800 a 1000 metros e com declividade acentuada de mais de 47% e, assim, integrando ao interflúvio correspondente ao divisor de águas dos rios da região (AGUILAR; CUNHA, 2015; PENTEADO, 1976).

Ao sul da região entre os municípios de Itirapina, São Pedro, Torrinha, Brotas e Dois Córregos encontra-se a Serra de Itaqueri (Figura 3), posicionada entre as duas morfoestruturas e estão separadas por um “paredão” íngreme de centenas de metros de elevação, com declividade de mais de 47% e alcançando aproximadamente 1100 metros de altitude no seu topo máximo. A serra também possui uma orientação de Leste-Oeste, com suas escarpas (front) voltadas para o sul, leste e norte.

Segundo Tavares et al (1985), há um contraste entre os fronts norte e sul da serra, devido a variação da insolação anual recebida em cada uma delas, sendo a escarpa sul mais fria e úmida do que a norte. Esta diferença de umidade no ponto de vista climático, ocorre segundo o autor por conta da existência da mata natural, que contribui com umidade na configuração da estrutura atmosférica adjacente através da circulação regional do ar.

De modo geral, a mata além de proteger o solo das escarpas da ação direta da chuva, também pode dificultar ou evitar condições de inversão térmica prejudiciais no desenvolvimento das culturas agrícolas, principalmente em períodos mais secos.

Portanto, toda a conjuntura das Serras encontradas ao Norte e Sul, tem um papel fundamental em colaborar com a dinâmica da circulação regional, principalmente, quando está sob a influência dos diferentes tipos de tempos que possam contribuir na formação ou intensificação das chuvas orográficas durante as sazonalidades do ano.

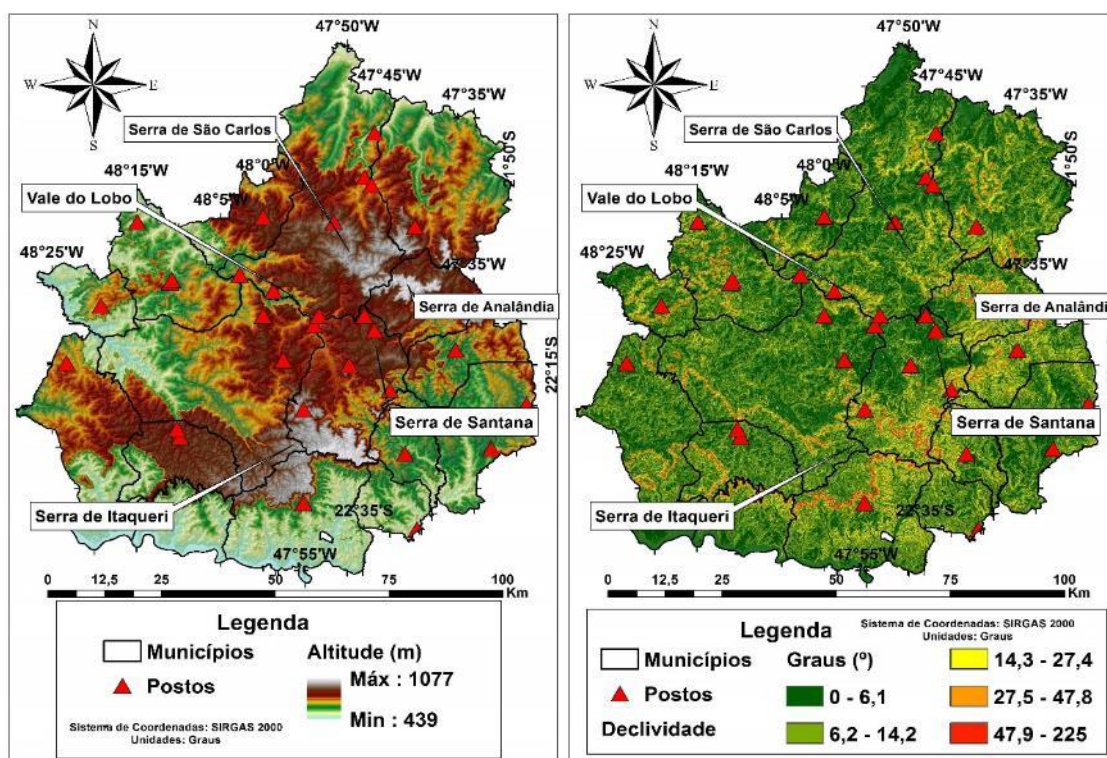


FIGURA 3: Mapa do modelo digital de elevação e declividade da área de estudo. Fonte Elaborado pelos autores.

O clima das regiões segundo a classificação de Monteiro (1973) está inserido na porção (A2-Vb) do Estado de São Paulo, onde a dinâmica das massas de ar é qualificada como região de climas

controlados por massas equatoriais e tropicais, dando a caracterização de climas tropicais com períodos secos e úmidos.

Monteiro (1973), também relata que na faixa da borda do Planalto Ocidental Paulista, onde encontra-se o relevo de cuevas, apresenta trechos mais elevados e, também, demonstram um ligeiro aumento na quantidade de precipitação, por efeito orográfico verificado durante o inverno. Isso, oferece um importante aspecto de variação sazonal da distribuição das chuvas, segundo o caráter da circulação atmosférica regional e as influências exercidas do seu relevo.

RClimdex e índices climáticos

A observação temporal das chuvas é de grande interesse, contudo, notam-se diferentes técnicas para observação espacial e temporal dessas. Para tanto, tendências por meio de observações em estações pluviométricas compreendem a principal forma para seu entendimento e suas vinculações, como em frequência, picos de variância, significância, entre outros aspectos estatísticos.

Nesses, vale ressaltar a importância da observação das tendências temporais e espaciais das chuvas por meio de índices climáticos, em seu volume, e em valores diários acumulados (DUFEK; AMBRIZZI, 2008; HAYLOCK et al., 2006), da correlação entre as chuvas e anomalias oceânicas (HAYLOCK et al., 2006; SANTOS et al., 2012; SUGAHARA; ROCHA; SILVEIRA, 2009; VÁSQUEZ P. et al., 2018; ZILLI et al., 2017) e, até, pela interpolação de dados (satélites e de superfície) espaciais (RAO et al., 2016).

Atualmente, destacam-se as observações de índices climáticos para observação dos dados pluviométricos, como o script RClimdex (HAYLOCK et al., 2006; SANCHES et al., 2018; SANTOS; RAMOS, 2018; STEPHENSON et al., 2014), que ressalta a análise de diferentes índices para temperatura e, no caso do presente artigo, para pluviometria.

O script foi desenvolvido por Byron Gleason do National Climate Data Center (NCDC) da National Oceanic and Atmospheric Administration (NOAA), cujo uso foi apresentado em diversos workshops e reuniões do CCI/CLIVAR (International Research Programme on Climate Variability and Predictability) sobre elementos climáticos e sua variabilidade desde 2001 (SANTOS et al., 2012).

Os índices são calculados junto ao software R, que é um ambiente e uma linguagem para computação estatística e gráfica, sendo esse um software livre (Projeto GNU) similar à linguagem e ao ambiente S, desenvolvido nos laboratórios Bell (antigo AT & T, agora Lucent Technologies).

O R apresenta diversas modelagens lineares e não lineares, testes estatísticos clássicos, análise de séries temporais, classificação, clustering, entre outras técnicas estatísticas e gráficas, além de fornecer uma rota open source para participação nessa atividade.

Diversos trabalhos utilizaram a ferramenta a fim de analisar a evolução temporal e espacial dos climas em diferentes regiões do Brasil e de outros países (DRUMOND; AMBRIZZI, 2008;

DUFEK; AMBRIZZI, 2008; HAYLOCK et al., 2006; MEKIS; VINCENT, 2011; SANTOS et al., 2012; SANTOS; RAMOS, 2018; STEPHENSON et al., 2014).

O RClimdex calcula 27 índices básicos recomendados pela ETCCDMI (Climate Change Detection Monitoring Indices) para temperatura e precipitação (KARL et al., 1999; PETERSON, et al., 2001), dos quais serão utilizados, apenas, os índices associados à precipitação pluviométrica, conforme descrito na Tabela 1 (HAYLOCK et al., 2006; SANCHES, 2015; SANTOS et al., 2012; STEPHENSON et al., 2014).

O controle de qualidade dos dados se fez pela substituição de todos os dados faltosos por -99.9 (reconhecido como faltoso pelo script).

TABELA 1
Metodologias Utilizadas para Análise dos Dados de Precipitação

Índice (Identificação)	Nome do índice	Definição	Unidade Observada
PRCPTOT	Total de chuvas acumuladas em um ano	Valor total anual de chuvas acumuladas nos dias úmidos (dias ≥ 1 mm)	mm
RX1day	Máximo de chuva acumulado em 1 dia	Máximo de chuva acumulada em um único dia	mm
RX 5 dias	Máximo de chuva acumulada em 5 dias	Máximo de chuva acumulada em cinco dias consecutivos	mm
DCS	Dias consecutivos secos	Número máximo de dias em que as chuvas < 1 mm	dias
DCU	Dias consecutivos úmidos	Número máximo de dias em que as chuvas ≥ 1 mm	dias
SDII	Índice simples de intensidade diária	Total anual de chuvas acumulado dividido pelo número de dias úmidos (quando o dia esteve ≥ 1.0 mm) no ano	mm/dia

Fonte: Adaptado de ZHANG E YANG, 2004.

O cálculo dos índices para os dados pluviométricos refere-se às chuvas totais (PRCPTOT), à intensidade pluviométrica simples (SDII), ao valor máximo acumulado em um único dia de chuva (RX1 dia), ao valor máximo acumulado em 5 dias consecutivos de chuva (RX5 dias), ao número máximo de dias consecutivos secos (DCS), ao número máximo de dias consecutivos úmidos (DCU).

Os dados gerados pelo cálculo dos índices são condensados mensalmente (RX1 dia e 5 dias) e anualmente (PRCPTOT, SDII, DCS, DCU), além da resposta em mm de chuva ou número de dias (DCS, DCU).

A fim de especializar os índices, utilizou-se um Sistema de Informação Geográfica (SIG), a fim de interpolar as informações, por meio do método de IDW (Interpolação pela Ponderação do Inverso da Distância).

Tal método estima, espacialmente, um valor para um determinado local que não apresenta informações, por meio do cálculo da média ponderada das amostras vizinhas pelo inverso da distância entre o ponto a ser interpolado dentro de uma vizinhança (FARIAS; FRANCISCO; SENNA, 2017).

Com isso, pode-se verificar a distribuição espacial das chuvas, bem como suas alterações (de aumento e/ou redução) pluviométricas, em longas séries de dados.

4. Resultados

Índice – PRCPTOT (Médio, Máximo e Mínimo)

O índice de total da precipitação (PRCPTOT), tem como finalidade de calcular e apresentar os valores totais médios, máximos e mínimos das chuvas acumuladas durante os anos. Diante disso, ao longo da série histórica de 38 anos (1979-2017) de registros, o menor valor anual acumulado de precipitação foi de 440.8 mm e o maior de 3038 mm.

A Figura 4, apresenta a declividade do terreno da região sob o índice PRCPTOT (médio, máximo e mínimo), distribuídos espacialmente por meio do método de interpolação para a área de estudo.

A PRCPTOT média, foi possível observar na Figura 4(b) que nas áreas Centrais Sudoeste e Noroeste, foram as regiões que apresentaram médias ligeiramente superiores entre 1400mm a 1500mm, do que o restante das áreas do mapa.

Já a PRCPTOT mínima, é possível observar na Figura 4(c) que os maiores valores ocorreram nas áreas Centro-Norte e Sudoeste e os menores valores ocorreram nas áreas Sudeste e Noroeste do mapa.

Nota-se, que tanto na PRCPTOT média e mínimo, as regiões que apresentaram valores ligeiramente superiores estão sobre o domínio do planalto ocidental, com a presença da Serra de Itaqueri ao Sudoeste e da Serra de São Carlos ao Centro-Norte do mapa. E as demais regiões que apresentaram valores inferiores estão sobre o domínio da depressão periférica.

Analisando o PRCPTOT máximo, é possível observar na Figura 4(a) que os maiores valores ocorreram nas áreas Norte e Centro-Sul e os menores valores ocorreram nas áreas Sudeste e Oeste do mapa.

Nota-se, que os postos P30 e P31 localizados no topo da Serra de Itaqueri apresentaram elevados valores de precipitação (2900mm a 3038mm) e possivelmente sofreram influência da orografia (altitude e declividade) local. O posto P25 localizado em áreas de fundo de vale, também, sofreu influência da orografia nos totais de precipitação (2900mm a 3038mm).

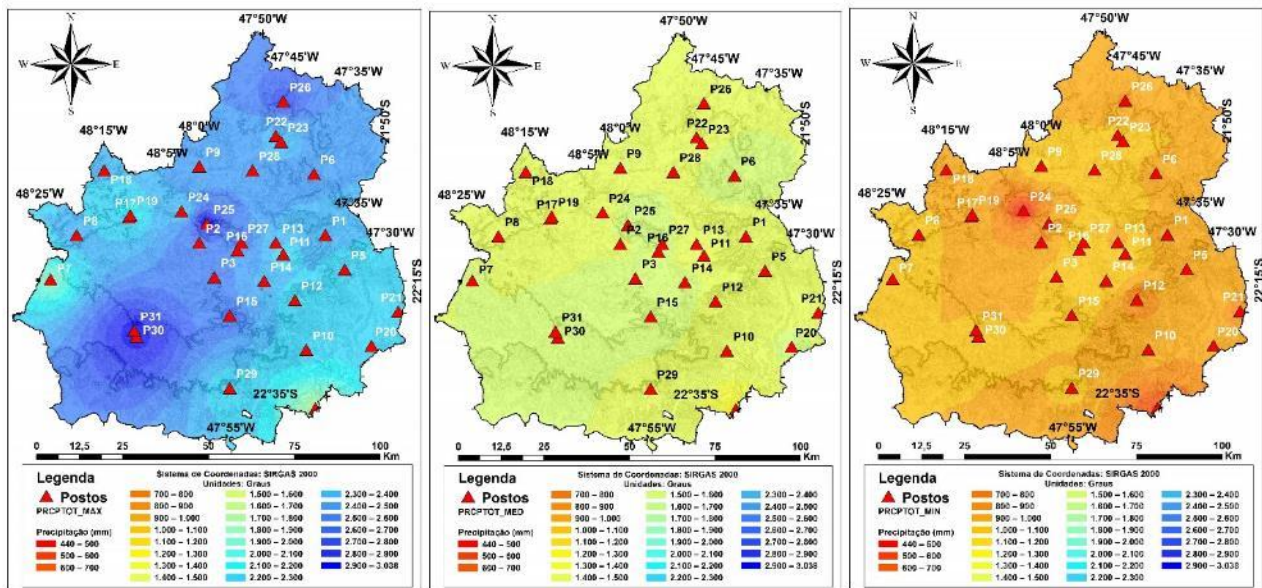


FIGURA 4: Distribuição espacial do índice de PRCPTOT máximo (a), médio (b) e mínimo (c). Fonte elaborado pelos autores.

Índice – DCS (Médio, Máximo e Mínimo)

O índice DCS, tem como função de calcular e apresentar o número máximo de dias consecutivos secos que ocorreram ao longo da série histórica (1979-2017). Vale destacar que ao longo dos 38 anos, o valor mínimo de dias consecutivos secos foi 20 e o máximo foi de 189 dias.

A Figura 5, apresenta a declividade do terreno da região sob o índice DCS (médio, máximo e mínimo), distribuídos espacialmente para a área de estudo.

Na Figura 5(b), o DCS médio apresentou valores entre 40 a 50 dias consecutivos secos para toda a área, ou seja, isso certifica as características climática dos meses mais secos (junho, julho e agosto) do período seco (abril a setembro).

Na Figura 5(c), o DCS mínimo, também, apresentou uma homogeneidade nos valores entre 20 a 30 dias consecutivos secos, ou seja, o mínimo de dias consecutivos secos ocorrido ao longo da série foi de apenas um mês.

Por último na Figura 5(a), o DCS máximo foi observar possíveis influencias do relevo em algumas áreas. Nota-se no DCS máximo, que os postos P9 e P15 foram os que apresentaram os menores valores entre 70 a 80 dias e os postos P13, P2, P4, P11, P8 e P20 foram os que apresentaram os máximos valores superiores a 100 dias.

Diante disso, em relação aos valores do DCS médio e mínimo não foi possível observar alguma influência da orografia na área. Porém, no DCS máximo a região ao Sul do mapa, os postos (P9, P30 e P31) localizados no topo da Serra de Itaqueri apresentaram um número mínimo de dias consecutivos secos e possivelmente sendo influenciados pela orografia para que a ocorrência de dias máximos fosse menor.

Já nas áreas centrais do mapa próximos a Serra de Santana e fundo de vale, os postos P2, P11 e P13 foram os que apresentaram maior número de dias consecutivos secos, localizados no domínio ou na transição do planalto ocidental e talvez possa ter sido influenciado por uma das vertentes do relevo. Além desses, o posto P4 foi o único sobre o domínio da depressão periférica que apresentou maior número de dias consecutivos secos.

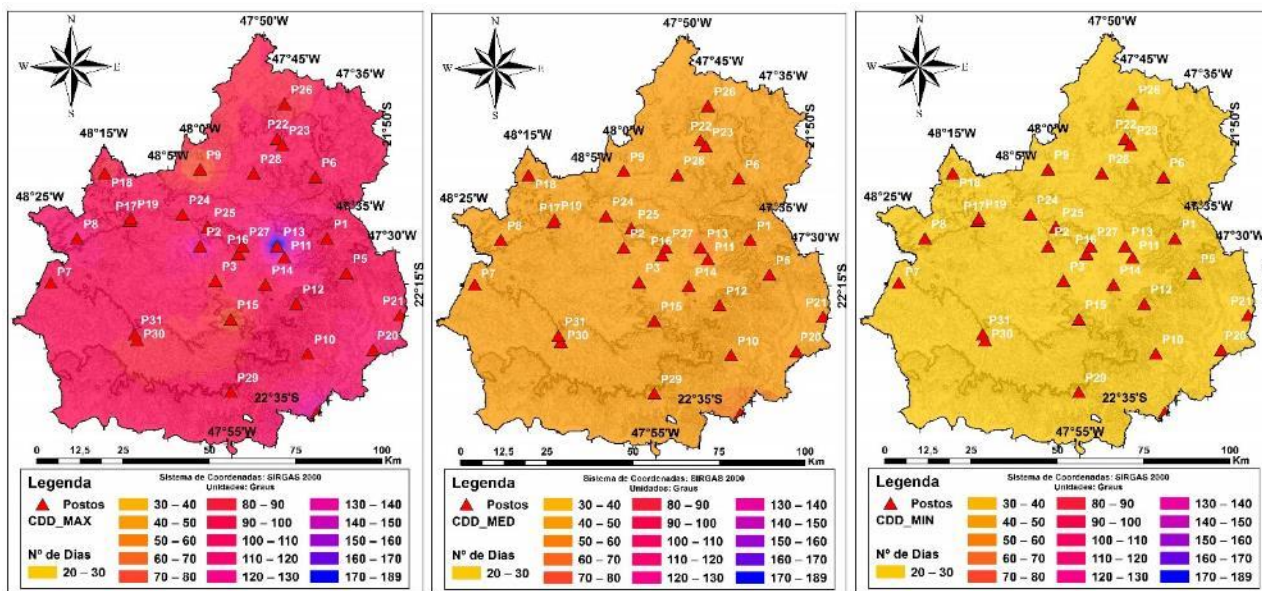


FIGURA 5: Distribuição espacial do índice de DCS máximo (a), médio (b) e mínimo (c). Fonte elaborado pelos autores.

Índice – DCU (Médio, Máximo e Mínimo)

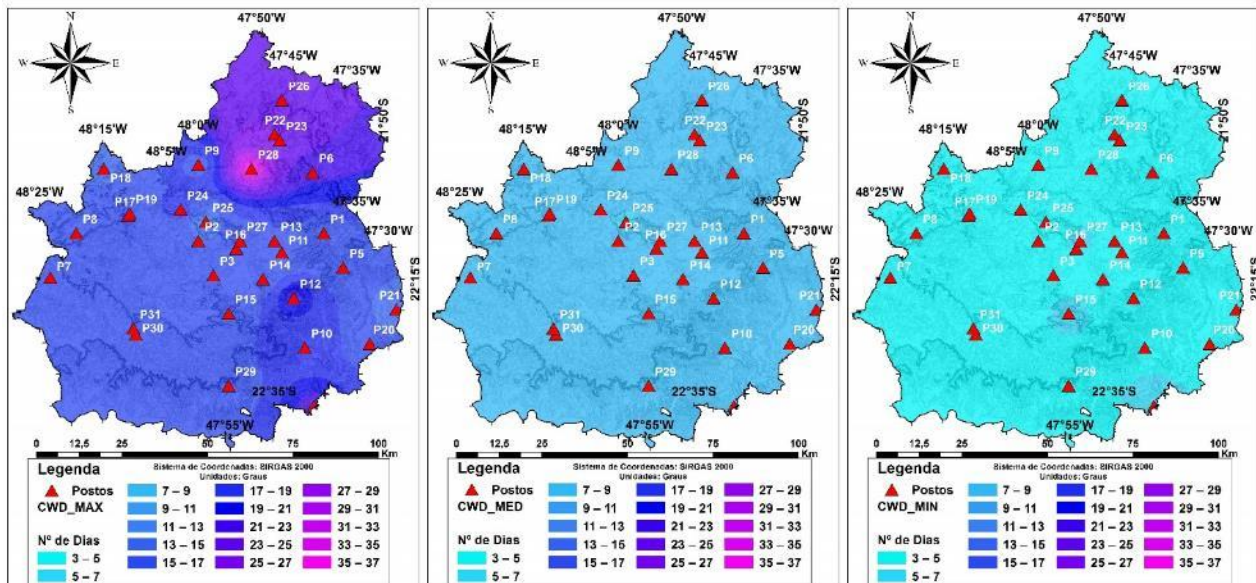
O índice DCU, tem como função de calcular e apresentar o número máximo dos dias consecutivos chuvosos que ocorreram ao longo da série histórica (1979-2017). Analisando ao longo do período de 38 anos, o valor mínimo de dias consecutivos úmidos ocorrido foi de 3 e o máximo de 37 dias. A Figura 6, apresenta a declividade do terreno da região sob o índice DCU (médio, máximo e mínimo), distribuídos espacialmente para a área de estudo.

Na Figura 6(b), apresenta o DCU médio e não observou alguma influência da orografia, pois apresentou valores homogêneos entre 7 a 9 dias para toda a área.

O DCU mínimo na Figura 6(c), também, apresentou uma homogeneidade em seus valores entre 3 a 5 dias, para quase toda a área. Porém, três postos (P4, P15 e P17) apresentaram valores DCU mínimo ligeiramente superior entre 5 a 6 dias. O posto P4 foi o único que encontra-se sobre a depressão periférica e os postos P15 e P17 sobre o planalto ocidental, principalmente o posto P15 que está localizado na borda da face norte da Serra de Itaqueri.

Já na Figura 6(a), foi possível observar no DCU máximo, possíveis influências do relevo em algumas áreas isoladas e principalmente ao Norte do mapa. Nota-se no DCU máximo, que o posto P28 localizado sobre a Serra de São Carlos foi o que apresentou o maior valor dias consecutivos úmidos, ficando entre 35 a 37 dias, seguidos dos postos P22, P23 e P26 entre 25 a 27 dias. Além desses, apenas os postos P12 na transição da depressão com o planalto ocidental e o P4 na depressão

periférica foram que apresentaram valores significativos entre 21 a 23 dias. No resto da área os valores CDU máximo ficou entre 15 a 17 dias.



Índice – RX1 (Médio, Máximo e Mínimo)

O índice RX-1, tem como função de calcular e apresentar o máximo de chuva acumulado em único dia durante ao longo da série histórica (1979-2017), na região de estudo. Analisando a série histórica de 38 anos, o valor mínimo de chuva acumulado em um único dia foi de 26 mm e o máximo de 186 mm.

A Figura 7, apresenta a declividade do terreno da região sob o índice RX-1 (médio, máximo e mínimo), distribuídos espacialmente para a área de estudo.

Na Figura 7(b), o RX-1 médio apresentou valores homogêneos entre 80 a 90mm para toda a área e apenas alguns pontos tiveram valores um pouco inferiores (70 a 80mm), ou seja, não sendo possível identificar alguma influência do relevo pelas médias.

O RX-1 mínimo na Figura 7(c), a influência do relevo é quase ínfima, apenas as regiões centro-sul e nordeste apresentaram uma homogeneidade superior variando entre 50 a 60mm e do que as regiões norte e sudeste (40 a 60mm).

Já na Figura 7(a), com RX-1 máximo foi possível observar de forma mais representativa a influência do relevo em algumas regiões. Na região central do mapa, os postos P24, P25 e P27 encontram-se localizados, próximos ou dentro do fundo de vales, apresentando elevados valores do RX-1 máximo, variando entre 170 a 186mm. Além desse, os postos P6 e P14 localizados próximos a áreas de transição do relevo, ou seja, com uma declividade acentuada, também apresentaram influencias nos valores. Desta forma, o máximo de chuva ocorrido em único dia é possível visualizar a influência da orografia (altitude e declividade) possam conduzir para que esses valores sejam elevados.

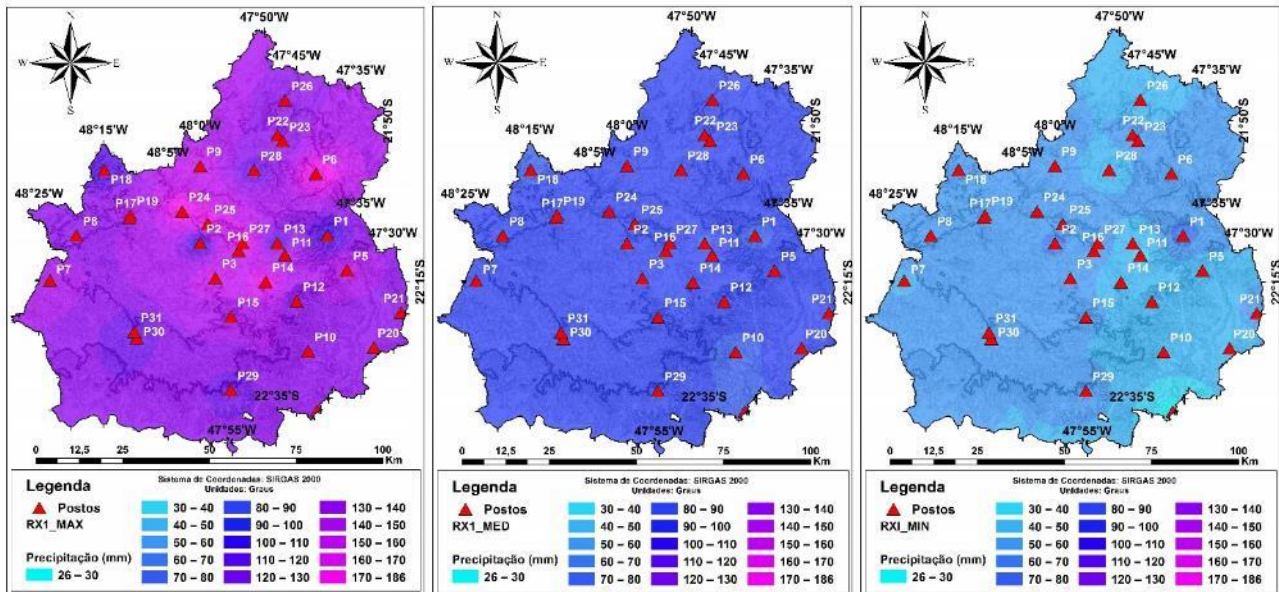


FIGURA 7: Distribuição espacial do índice RX-1 máximo (a), médio (b) e mínimo (c). Fonte elaborado pelos autores.

Índice – RX5 (Médio, Máximo e Mínimo)

O índice RX-5, tem como função de calcular e apresentar o número máximo de chuva acumulado em cinco dias durante ao longo da série histórica (1979-2017), na região de estudo. Analisando a série histórica de 38 anos, o valor mínimo de chuva acumulado em cinco dias foi de 35,5 mm e o máximo de 457,3 mm.

A Figura 8, apresenta a declividade do terreno da região sob o índice RX-5 (médio, máximo e mínimo), distribuídos espacialmente para a área de estudo.

Na Figura 8(b), não foi possível identificar alguma influência do relevo com RX-5 médio, diante da homogeneidade de valores entre 155 a 175mm para toda a área e alguns pontos inferiores.

Na Figura 8(c), o RX-5 mínimo, apresentou uma homogeneidade para a maioria da área entre 75 a 95mm e algumas áreas apresentando valores ligeiramente superiores, como os postos P29, P30 e P31 próximo ou no topo da Serra de Itaqueri e os postos P1 e P6 localizados próximos a Serra de Analândia.

Já na Figura 8(a), o RX-5 máximo apresentou elevados valores para as áreas centro-sul e possam estar associados ao relevo. Na parte sul do mapa, os postos P4, P10 e P29 situados nas áreas da depressão periféricas foram os que representaram com maiores valores. Os postos P7, P30 e P31 localizados na serra de Itaqueri e os postos P2, P16, P24 e P25 dentro ou próximos ao fundo do vale, também, obtiveram valores significativos.

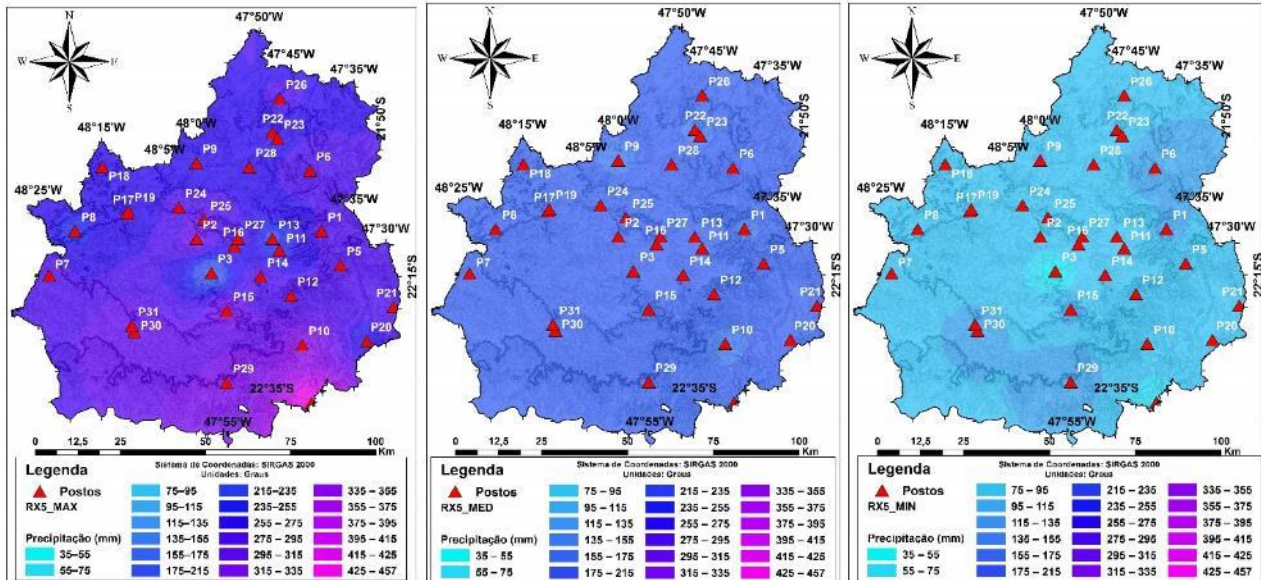


FIGURA 8: Distribuição espacial do índice RX-5 máximo (a), médio (b) e mínimo (c). Fonte elaborado pelos autores.

Índice – SDII (Médio, Máximo e Mínimo)

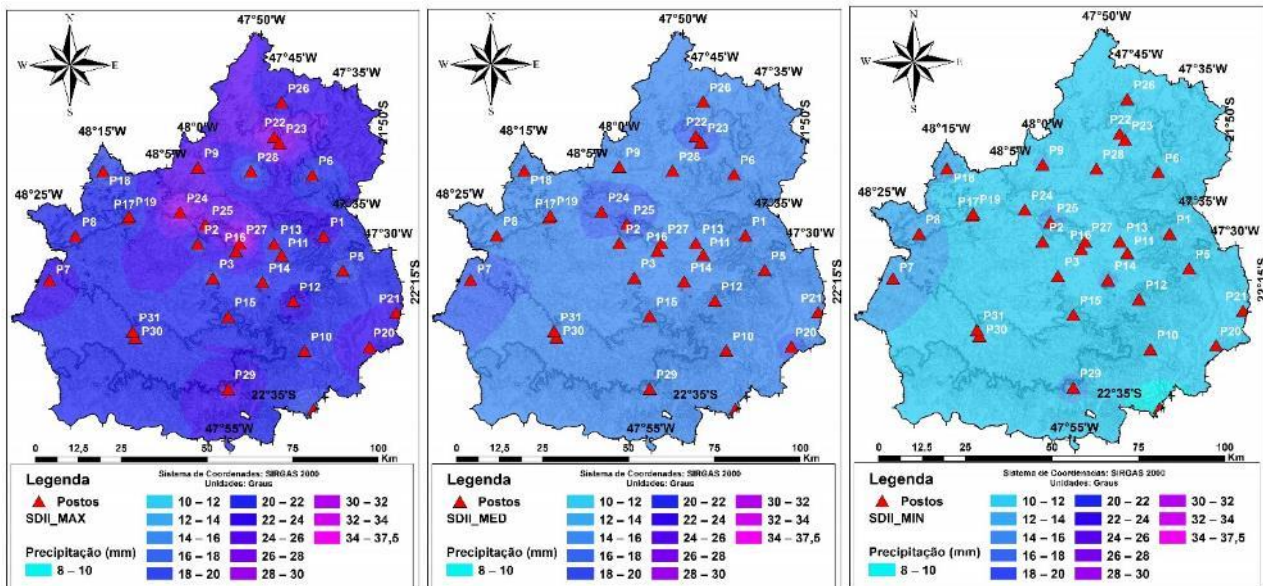
O índice SDII expressa a intensidade das chuvas nos dias acima de 1 mm, ou seja, os valores (anuais) da intensidade pluviométrica durante ao longo da série histórica (1979-2017), na região de estudo. Analisando a série histórica de 38 anos, o valor mínimo de intensidade da chuva foi de 8 mm e o máximo de 37,5 mm.

A Figura 9, apresenta a declividade do terreno da região sob o índice SDII (médio, máximo e mínimo), distribuídos espacialmente para a área de estudo.

Na Figura 9(b), alguns pontos isolados são possíveis identificar a influência do relevo com o SDII médio, como o posto P7 na Serra de Itaqueri, os postos P2, P24 e P25 no fundo de vale e os postos P22 e P23 na Serra de São Carlos com valores ligeiramente superiores, variando entre 16 a 18mm. No restante da área ficou de forma homogênea de valores entre 14 a 16mm para toda a área e alguns pontos inferiores.

Na Figura 9(c), alguns pontos a influência do relevo também demonstraram valores ligeiramente superiores entre 12 a 14mm com o SDII mínimo, como os postos P7, P8, P9, P14, P18, P25 e P29, do que, o restante da área que apresentou uma homogeneidade entre 10 a 12mm.

Já com o SDDI máximo na Figura 9(a), a influência do relevo apresentou de forma mais significativa na região central, ao norte e pontos isolados ao sul, com maiores valores. Na parte central do mapa, novamente os postos P24, P25, P16 E P27 situados próximos ou no fundo de vales foram os que demonstraram uma maior influência na ocorrência das chuvas intensas com valores maiores. Na parte norte do mapa, os postos P22 e P23 localizados na Serra de São Carlos também apresentaram uma influência do relevo na ocorrência de chuvas intensas. E por último, na parte ao sul os postos P7 e P29 localizados na borda da Serra de Itaqueri também sofreram influência do relevo nas chuvas intensas.



5. Conclusão

A utilização dos índices climáticos (RClimdex) para a análise do comportamento das chuvas, mostrou-se eficaz junto à identificação do efeito orográfico, principalmente nos valores máximos dos índices utilizados.

Os índices de PRCPTOT, RX1, RX5 e SDII, se mostraram os mais significativos em evidenciar o efeito da orográfico, sendo que, as áreas mais elevadas, e com declividade acentuadas, como as serras e fundo de vales, foram as que se mostraram mais evidentes nos índices máximos analisados.

Tais influências se verificam por meio da distribuição espacial uma possível influência da orografia nos totais máximos anuais, bem como nos totais máximos acumulados em um único dia e nos totais máximos de intensidade das chuvas.

Com isso, devido à presença marcante do reverso de cuevas basálticas nas regiões Norte (serra de São Carlos) e Sul (serra de Itaqueri) da área de estudo, nota-se uma “ilha de umidade” para as áreas centrais da região de Brotas e Itirapina.

Tal contribuição pode estar associada por toda a conjuntura geoambiental, ou seja, o tipo de relevo, de vegetação, de hidrografia, bem como do uso e ocupação encontrada naquela área influenciando, assim, na característica climática peculiares intensificadas do efeito orográfico.

Ressalta-se, ainda, que eventos de precipitação intensas e longas são comuns na divisão topográfica. A intensificação das chuvas ocorridas, mesmo sob influência do relevo, tende a se concentrar durante o período primavera-verão.

Neste período, os sistemas atmosféricos atuantes, como os jatos de baixos níveis, transportam o fluxo de umidade da região Amazônica para a região Centro-Sul do Brasil e, quando

somados as características fisiográficas locais (orografia), contribuem no desencadeamento do processo de formação de nuvens e no aprimoramento de processos como a nucleação e crescimento de condensação hidrometeorológicas.

Sendo assim, tais efeitos contribuem para a geração de mais de um efeito orográfico (autoconversão, convecção disparada, efeito de bloqueio, efeito do fluxo de ar forte no vale e efeito do fluxo do ar dividido em torno do relevo).

Já nos máximos de dias úmidos (DCU) e máximos de chuva acumulada em 5 dias (RX5 dias), notam-se influências do relevo na região. Esses valores máximos dos dois índices, se associam aos eventos atmosféricos recorrentes no período chuvoso (outubro a março) como os sistemas frontais, ou episódios de zona de convergência de umidade (ZCAS) e contribuindo para a ocorrência do efeito orográfico do tipo seed-feeder.

Ressalta-se, portanto, que fenômenos atmosféricos frontogenéticos contribuem na configuração de episódios de ZCAS, podendo atuar durante vários dias e, assim, contribuem com a orografia local na intensificação do tipo seed-feeder.

Em estudos futuros, pretende-se selecionar e analisar três anos padrões representativos (habitual, seco e chuvoso) e, por meio dos índices e episódios representativos, para analisar o possível efeito orográfico em anos excepcionais (chuvoso e seco), classificando os tipos orográficos por meio dessa.

6. Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) e ao Conselho pelo auxílio financeiro, bem como a Escola de Engenharia de São Carlos da Universidade de São Paulo (EESC/USP) pelo apoio logístico à pesquisa.

7. Referências Bibliográficas

AGUILAR, L. R.; CUNHA, C. M. L.; Análise morfoestrutural de um setor da Serra da Atalaia, Analândia/Corumbataí (SP). **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 08, n. 05, p. 1410-1434, 2015.

BARROS, A. P.; LETTENMAIER, D. P.; Dynamic modeling of orographically induced precipitation. **Reviews of Geophysics**, vol. 32, p. 265-284, august, 1994.

BLANCO, C.M.R.; MASSAMBANI, O. Processos de Intensificação Orográfica da Precipitação na Serra do Mar em São Paulo. III Congresso Brasileiro de Meteorologia, **Anais...**, p. 1884-1892, Rio de Janeiro, RJ, Outubro, 2000.

BRITTO, F. P.; BARLETTA, R.; MENDONÇA, M. Regionalização sazonal e mensal da precipitação pluvial máxima no estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 3, p. 83-99, 2008.

CÂNDIDO, D. H.; NUNES, L. H. Influência da orografia na precipitação da área entre o Vale do Rio Tietê e a Serra da Mantiqueira. **GEOUSP: espaço e tempo**, São Paulo, nº24, p.08-27, 2008.

- CARVALHO, L. M. V.; JONES, C.; LIEBMANN, B. The South Atlantic Convergence Zone: Intensity, Form, Persistence, and Relationships with Intraseasonal to Interannual Activity and Extreme Rainfall. **Journal of Climate**, v. 17, n. 1, p. 88–108, 1 jan. 2004.
- CONTI, J. B. **Circulação secundária e efeitos orográficos na gênese das chuvas na região lesnordeste paulista**. Tese (Doutorado), Série Teses e Monografias, IGOG-USP 18, 82 p. São Paulo: 1975.
- CORVALAN, S. B.; GARCIA, G. J.; Avaliação ambiental da APA Corumbataí segundo critérios de erodibilidade do solo e cobertura vegetal. **Geociências**, v. 30, n. 2, p. 269-283, 2011.
- DRUMOND, A. R. DE M.; AMBRIZZI, T. The role of the South Indian and Pacific oceans in South American monsoon variability. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 94, n. 3/Abr, p. 125–137, 2008.
- DUFEK, A. S.; AMBRIZZI, T. Precipitation variability in São Paulo State, Brazil. **Theoretical and Applied Climatology**, v. 93, n. 3, p. 167–178, 1 ago. 2008.
- FARIAS, O. G.; FRANCISCO, C. N.; SENNA, M. C. A. Avaliação de métodos de interpolação espacial aplicados à pluviosidade em região montanhosa no litoral sul do estado do Rio de Janeiro. **Revista Brasileira de Climatologia**, ano 13-vol. 21, p.172-185, jul/dez, 2017.
- FORGIARINI, F. R.; VENDRUSCOLO, D. S.; RIZZI, E. S. Análise de chuvas orográficas no centro do Estado do Rio Grande do Sul. **Revista Brasileira de Climatologia**, Ano 9, v.13, p. 107–119, jul/dez. 2013.
- HAYLOCK, M. R. et al. Trends in Total and Extreme South American Rainfall in 1960–2000 and Links with Sea Surface Temperature. **Journal of Climate**, v. 19, n. 8, p. 1490–1512, 1 abr. 2006.
- MARTINELLI, M. Clima do Estado de São Paulo. **Revista Franco-Brasileira de Geografia Confins (Online)**, v.8, n.8. 2010.
- MEKIS, É.; VINCENT, L. A. An Overview of the Second Generation Adjusted Daily Precipitation Dataset for Trend Analysis in Canada. **Atmosphere-Ocean**, v. 49, n. 2, p. 163–177, 1 jun. 2011.
- MILANESI, M. A.; GALVANI, E. Efeito orográfico na Ilha de São Sebastião (Ilhabela-SP). **Revista Brasileira de Climatologia**, n. 9, p. 68–79, jul/dez. 2011.
- MONTEIRO, C. A. de F. **Dinâmica Climática e as chuvas no Estado de São Paulo**. Estudo geográfico sob forma de atlas. São Paulo: Universidade de São Paulo/Instituto de Geografia, 1973.
- PELLEGATTI, C. H. G.; GALVANI, E. Avaliação da precipitação na serra do Mar-SP em eventos de diferentes intensidades e duração. **GEIOUSP: Espaço e Tempo**, São Paulo, nº27, p.147-158, 2010.
- PENTEADO, M. M.; **Geomorfologia do setor centro-ocidental da Depressão Periférica Paulista**. Tese (Doutorado). São Paulo, USP, 1979.
- PETERSON, T. C. et al. Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs: 1998-2001. Geneve: International Council for Science; Intergovernmental Oceanographic Commission; World Meteorological Organization, **ICPO Publication Series**, 48, 2001.
- PINHEIRO, M. R.; QUEIROZ NETO, J. P. Reflexão sobre a gênese da Serra Geral e da Depressão Periférica Paulista: O exemplo da região da Serra de São Pedro e do Baixo Piracicaba-SP. **Revista do Instituto Geológico**, São Paulo, nº35 (1), p. 47-59, 2014.
- RAO, V. B. et al. An update on the rainfall characteristics of Brazil: seasonal variations and trends in 1979–2011. **International Journal of Climatology**, v. 36, n. 1, p. 291–302, 1 jan. 2016.
- ROE, G. H.; Orographic Precipitation. **Annual Review of Earth and Planetary Sciences**, v. 33, p. 645-671, 2005.
- ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. São Paulo, DG-FFLCH-USP, IPT, FAPESP, 1997.
- SANCHES, R. G. **As chuvas na região de São Carlos/SP: estudo do comportamento pluviométrico a partir de dados de estações climatológicas, 1993-2014**. text—[s.l.] Universidade de São Paulo, 24 set. 2015.
- SANCHES, R. G. et al. Intense Rainfall in São Carlos/SP: Determination of Threshold Values Using Climate Indices and Their Spatio-Temporal Repercussion. **American Journal of Climate Change**, v. 07, p. 388, 17 ago. 2018.

- SANTOS, B. C. DOS; SOUZA, P. H. DE; VECCHIA, F. A. DA S. A caracterização da precipitação do ano hidrológico de 2013-2014 na região de São Carlos/SP e sua repercussão no espaço geográfico. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 21, n. 0, 15 set. 2017.
- SANTOS, C. A. C. DOS et al. Variability of extreme climate indices at Rio claro, São Paulo, Brazil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 27, n. 4, p. 395–400, dez. 2012.
- SANTOS, C. A. C. DOS; RAMOS, A. R. D. Avaliação dos eventos extremos de precipitação no estado do Piauí. **Agrometeoros**, v. 25, n. 1, 21 mar. 2018.
- STEINKE, E. T.; **Climatologia Fácil**. São Paulo, Oficina de Textos, 2012.
- STEPHENSON, T. S. et al. Changes in extreme temperature and precipitation in the Caribbean region, 1961–2010. **International Journal of Climatology**, v. 34, n. 9, p. 2957–2971, 1 jul. 2014.
- SUGAHARA, S.; ROCHA, R. P. DA; SILVEIRA, R. Non-stationary frequency analysis of extreme daily rainfall in Sao Paulo, Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 29, n. 9, p. 1339–1349, 1 jul. 2009.
- TAVARES, A. C. et al.; O Uso da Análise Episódica na Caracterização de Aspectos Topoclimáticos da Serra de Itaqueri-SP. **Boletim de Geografia - UEM**, ano3, nº3, 1985.
- TEIXEIRA, M. DA S.; SATYAMURTY, P. Trends in the Frequency of Intense Precipitation Events in Southern and Southeastern Brazil during 1960–2004. **Journal of Climate**, v. 24, n. 7, p. 1913–1921, 27 jan. 2011.
- TEIXEIRA, M. S.; SATYAMURTY, P. Dynamical and Synoptic Characteristics of Heavy Rainfall Episodes in Southern Brazil. **Monthly Weather Review**, v. 135, n. 2, p. 598–617, 1 fev. 2007.
- VÁSQUEZ P., I. L. et al. Historical analysis of interannual rainfall variability and trends in southeastern Brazil based on observational and remotely sensed data. **Climate Dynamics**, v. 50, n. 3, p. 801–824, 1 fev. 2018.
- YOULTON, C. et al. Influencia del fenómeno El Niño-La Niña y cambio climático en el patrón de lluvias en São Carlos-SP, Brasil. **Estudios Geográficos**, v. 73, n. 272, p. 325–331, 24 ago. 2012.
- ZILLI, M. T. et al. A comprehensive analysis of trends in extreme precipitation over southeastern coast of Brazil. **International Journal of Climatology**, v. 37, n. 5, p. 2269–2279, 1 abr. 2017.