

## GEOESTATÍSTICA APLICADA AO COMPORTAMENTO PLUVIOMÉTRICO PARA A MICRORREGIÃO TERESINA – PI

Gabriela Lessa de Sousa, Instituto Federal do Piauí E-mail: (gl.gabrielalessa@hotmail.com)

### RESUMO

Os fenômenos naturais demandam monitoramento ao longo do tempo e espaço, então a gestão de recursos hídricos demanda de várias metodologias para empregar estudos sobre o comportamento da distribuição das chuvas em determinada área, com isso os dados das estações virtuais (sensores) da Agência Espacial Americana (NASA) possibilitam através de uma rede regular a aquisição desses dados a observação prévia de valores adquiridos; com as geoestatísticas podem mostrar os tratamentos e metodologias adequadas para o estudo da precipitação da chuva. O presente trabalho tem como objetivos fazer a análise precedente aos dados com o: levantamento dos histogramas, distribuição normalizada (QQplot), tendência, mapas de Voronoi e autocorreção espacial; previamente estabelecer quais parâmetros adotar na aplicação da Krigagem e assim ter uma visão do comportamento da precipitação de chuva na microrregião Teresina no estado do Piauí, para os anos de 1998, 2008 e 2018; como resultados foram obtidos os mapas de distribuição que mostraram as mudanças de direção do comportamento pluviométrico com intervalo temporal de dez anos entre as amostras; concluído que aplicação da krigagem com parâmetros que respeitem o tipo de distribuição dos pontos e a relação das amostras entre si, podem estabelecer resultados mais coerente e consistentes para a gestão de recursos com os índices de chuva em uma determinada região.

**PALAVRAS-CHAVE:** Geoestatísticas, Autocorrelação espacial, krigagem, Pluviometria.

### INTRODUÇÃO

É necessário o monitoramento dos fenômenos naturais; para a precipitação da chuva a coleta tais informações é feita por pluviômetros, sendo uma variável climática que possui uma distribuição aleatória no espaço e no tempo, exercendo forte influência nas condições ambientais, existindo um conjunto destes, forma-se uma rede que possibilita o estudo climatológico de uma determinada área seja uma bacia hidrográfica ou o limite administrativo de um município (TUCCI, 2001; MOULIN, 2005; CARAM, 2007). A série temporal gerada nos pluviômetros sobre interferência em sua homogeneidade, gerando uma tendência gradual dos dados e/ou descontinuidade na variância (TUCCI, 2001; CARAM, 2007).

Segundo Paz e Picilli (2016) e Danelichen et al. (2013), O uso dos satélites, sensores orbitais, para a coletas das informações de precipitação, temperatura e outros fatores, passaram a estimar tais dados com uma relativa precisão, utilizados no processo de calibração descrevem o padrão de distribuição das chuvas, um dos fatores é a sua distribuição regular das estações orbitais, o que minimiza os erros por distanciamento dos pontos de observação (MORAIS, 2018). Independentemente do tipo de rede a precipitação apresenta certo grau de dependência espacial, com base nas teoria das variáveis regionalizadas, é uma alternativa no diagnóstico amostral, pois permite definir o raio de dependência entre os exemplares a partir da geoestatística tem-se que as amostras mais próximas no tempo e no espaço sejam mais similares entre si (BAÚ et al., 2006; CARAM, 2007); com a metodologia aplicada de apreciação dos dados, gerando histogramas, análise da normalidade, tendências e semivariograma possibilita determina o comportamento e a dependência entre duas variáveis aleatórias regionalizadas locais, levando em consideração à autocorrelação em função da distância e da direção delas. E assim aplicando a interpolação de krigagem e cokrigagem, na ocorrência de dependência espacial entre as amostras podem-se estimar valores para os locais não amostrados (CARVALHO et al., 2004; MELLO, 2004; MELLO et al., 2005; MOULIN, 2005; BAÚ et al., 2006). Sua aplicação pode reduzir custos relacionados aos estudos preliminares de regiões mantendo a precisão das estimativas realizadas.

A exploração prévia dos dados, minimizam erros e suas tendências, facilitando a interpretação e coerência dos dados distribuídos em uma determinada área, com isso objetivo do presente trabalho é observar as variações comportamentais dos dados com a ferramenta *Geostatistical Analyst* do Sistema de Informação geográfica - SIG, sobre uma rede regular de pontos pluviométricos da Bacia hidrográfica do Rio Parnaíba com os dados de sensoriamento remoto disponibilizados pela Agência Espacial Americana (NASA) e assim verificar em sua interpolação, as possíveis variâncias da aplicação direta no sistema de informação geográfica com a aplicação corrigida a parti da observação do semivariograma e covariâncias, gerando mapas de Krigagem que mais se adequam ao comportamento dos dados, mostrando então nos mapas gerados o comportamento das chuvas para os anos de 1998, 2008 e 2018 e como o intervalo temporal interferiu em sua distribuição.

### OBJETIVO

O objetivo desta pesquisa é a demonstração comportamental da chuva nos anos de 1998, 2008 e 2018 e com isso as diferenças de distribuição ao longo dos anos estudados, para tal resultado serão utilizadas técnicas da geoestatísticas,

sendo para análise comportamental a correção por aplicações e observação do semivariograma e aplicação da visualização distributiva por krigagem.

Objetivos específicos correspondem a:

- Fazer análise histogramas, distribuição normal e tendências;
- Analisar as autocorrelações espaciais,
- Gerar de mapas da distribuição pluviométrica por krigagem corrigida com os parâmetros analisados previamente

## METODOLOGIA

A microrregião -Teresina está localizada na Bacia do Rio Parnaíba, composta por 14 municípios do estado Piauiense, dentre elas a capital do estado Teresina; com características de clima tropical, tem seu período chuvoso entre os meses de Dezembro a Maio, segundo Weather Spark (2019), só em Teresina ocorreram registros de 342 mm/mês em maio de 2019, já para o Climatempo (2019) os meses de Fevereiro, Março e Maio registraram as maiores medias mensais de 2019, sendo março o mês campeão com 298 mm/mês. As series históricas da Agencia Nacional de Aguas - (ANA), os períodos não chuvosos correspondem a valores de 0mm/mês em meses com setembro e outubro de 2018. Na Figura 1, é mostrado a região de estudo e as estações virtuais utilizadas.

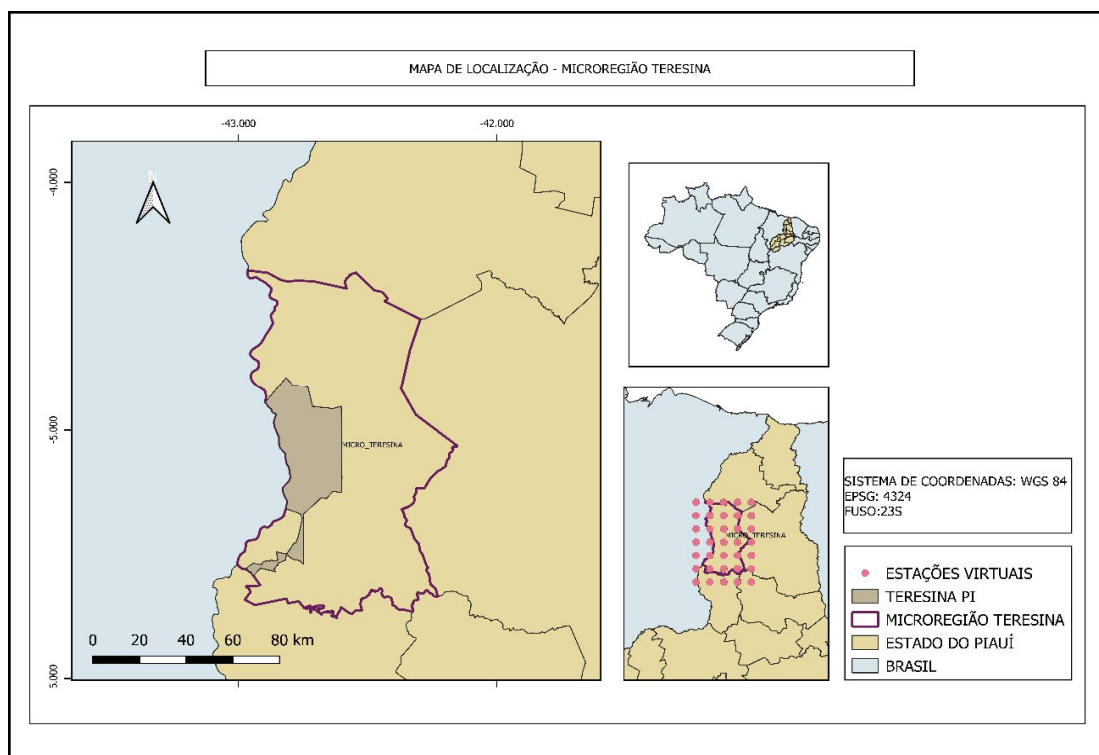


Figura 1: Microrregião – Teresina/Piauí. Fonte: Autor do Trabalho.

### Aquisição e Manipulação de Dados

Para observação comportamental da precipitação da chuva, necessitou-se da aquisição de alguns dados registrados ao longo dos anos estudados por estações pluviométricas virtuais, dados esses disponibilizados pelo *Goddard Earth Sciences Data And Information Services Center* (GES DISC) da Agência Espacial Americana (NASA) por meio da plataforma GIOVANNI, a partir do sensor TRMM\_3B43, o qual disponibiliza os valores acumulados mensais de precipitação em milímetros (mm) onde combina estimativa de precipitação obtidas através de sensores micro-ondas de alta qualidade e infravermelho, resultando na melhor estimativa de precipitação (em mm/h) em uma faixa de latitude de 50°N a 50°S (TRMM, 2011). Configurando uma rede retangular das estações virtuais que são atualizadas de forma trimestral, porém com estimativas diárias (MORAIS, 2018). Os dados utilizados foram as precipitações médias para os anos de 1998, 2008 e 2018. Após a aquisição dos dados foram aplicadas o julgamento dos dados para determinar os comportamentos gráficos e de tendências estatísticas, dentro da ferramenta de análise geoestatística do *ArcMap 10.6*.

A pesquisa geoestatística servi para tomar melhores decisões ao criar uma superfície, ao explorar seu conjunto de dados, trará uma melhor compreensão deles, procurando por erros óbvios nos valores que podem afetar drasticamente a superfície de previsão de saída; examinando como os dados são distribuídos; procurando por tendências globais, influências direcionais e assim por diante; sobre esse pensamento a análise geoestatística fornece muitas ferramentas, a fim de compreender a autocorrelação espacial e as influências direcionais (ESRI, 2016).

Uma distribuição de frequências (histograma), é um conjunto de dados previamente tabulado e dividido em classes uniformes ou não uniformes, cada coluna é uma classe, sua altura representa a quantidade ou a frequência absoluta em relação ao valor da classe nos conjuntos uniformes ou a densidade de frequência para classes não uniformes. Os histogramas podem indicar se uma distribuição se aproxima de uma função normal, e a mistura de populações quando se apresentam bimodais; permitindo examinar a distribuição univariada (uma variável) para cada atributo no conjunto de dados. Determinando a amplitude de valores; forma da distribuição (assimetria: positiva, negativa, simétrica); tendência central e os valores extremos. A maioria dos métodos de interpolação fornecidos pelo *Geostatistical Analyst* não exige que os dados sejam distribuídos normalmente. No entanto, certos métodos de krigagem exigem que os dados sejam distribuídos aproximadamente normalmente (perto de uma curva em forma de sino) (CE001, 2016).

A distribuição normal ou não do dados pode ser analisada nos histogramas e na Normal QQplot, essas normalidades implicam em mostrar se existem amostras com valores extremos que podem pesar no julgamento geral dos dados; a ordem polinomial é dada pela tendência em função dos dados, verificando se sua ordem é de primeiro, segundo grau assim por diante, isto é, que função matemática mais se aproxima da distribuição dos valores (LANDIM, 2006). As ferramentas de plotagem Histograma e QQ Normal exploram a distribuição dos dados e incluem diferentes transformações de dados (Box-Cox, logarítmica e arcsine) para que você possa avaliar os efeitos que eles têm nos dados. Para uma visualização prévia do comportamento dos dados, o mapa de Voronoi traz uma análise próxima ao que será possível como resultado, isto é, áreas de concentração dos valores extremos e a distribuição em grade da direção comportamental do fenômeno estudado (ESRI, 2016).

A autocorrelação assume que as amostras mais próximas tendem a serem parecidas, o semivariograma examina esse relacionamento, onde distribuídos em um eixo xy, relacionam o valor do semivariograma em conjunto de pares, onde cada par tem a sua distância expressa no eixo x e a diferença ao quadrado entre os valores de cada par no eixo y, basicamente quanto maior for os valores no eixo x e no eixo y, maiores serão as distâncias entre os pares e maiores serão seus valores (LANDIM, 2006). Sendo uma amostra retirada de uma distribuição regular, o valor de cada ponto está relacionado com a distância, sendo razoável pensar que a influência é maior quanto menor seus valores forem; expressa por um vetor de distância  $\Delta h \rightarrow$ , o qual tem uma orientação específica.

Seu grau de relação é expresso pela covariância, embora a covariância exista entre todas as distâncias possíveis ao longo de h, pode ser estipulado que somente sejam considerados valores entre pontos regularmente espaçados por múltiplos inteiros de  $\Delta h$ . A estimativa é feita em uma direção ao longo de uma linha ou ao longo de uma série de linhas paralelas, utilizando n possíveis diferenças a intervalos  $\Delta h$  ou múltiplos de  $\Delta h$ , consideração sempre a divisão por 2n (LANDIM, 2006).

No estudo de Clark (1979) foi apresentada a construção de um semivariograma a partir de uma rede regular, com espaçamento entre os pontos de 100 pés, onde propôs uma matriz com as variações de distância constantes entre os pontos, a partir de sua menor distância até a sua maior distância em linha entre os pontos, isto é, na direção Leste- Oeste, e aplicou a mesma observação nas colunas com direção norte-sul, com isso observou a anisotropia pois ocorreu a diferença nos dados quando alteradas as direções. Trazendo como resultado a zona de influência, a anisotropia, continuidade (situação de efeito pepita –atribuído aos erros de medição, ou intervalos de amostra pequenos para a amostra espacial). Para esse tipo de aplicação a amostragem mínima de pontos é de 30 a 40 (LANDIM, 2006).

A metodologia geoestatística apresenta diversas técnicas de estimativas disponíveis para krigagem, os valores estimados ( para as regiões onde não existem dados coletados) é calculado, utilizando n amostras localizadas segundo coordenadas conhecidas, ou seja, um método univariado de inferência espacial o qual faz uso da dependência no espaço expressa no semivariograma entre amostras vizinhas, para estimar valores em qualquer posição da área de estudo, sem tendência e com variância mínima, tornando-se um ótimo estimador ( OLIVEIRA, 2016).

Os métodos de krigagem dependem de modelos matemáticos e estatísticos onde associa alguma probabilidade às suas previsões; isto é, os valores não são perfeitamente previsíveis a partir de um modelo estatístico o que possibilita prever valores em algum local não medido e avalia o erro da previsão, baseado na autocorrelação ( tendência de dois tipos de variáveis serem relacionadas) verifica-se um princípio da geografia o qual diz: que as coisas mais próximas tendem a ser mais semelhantes do que aquelas que estão mais distantes umas das outras. A taxa na qual a correlação decai pode ser expressa como uma função da distância. Na geoestatística, as informações sobre localizações espaciais permitem calcular as distâncias entre as observações e modelar a autocorrelação como uma função da distância (ESRI, 2016).

## RESULTADOS

Na figura 2, observa-se os histogramas e Normalidades QQplot, que consistem em analisar a existência de anisotropia e se necessário a transformação dos dados por alguma função seja ela Logarítmica ou Box-Cox, e a segunda etapa analisar se os comportamentos dos dados estão próximos ou se comportam de forma parecida com a função padrão de simetria dos dados.

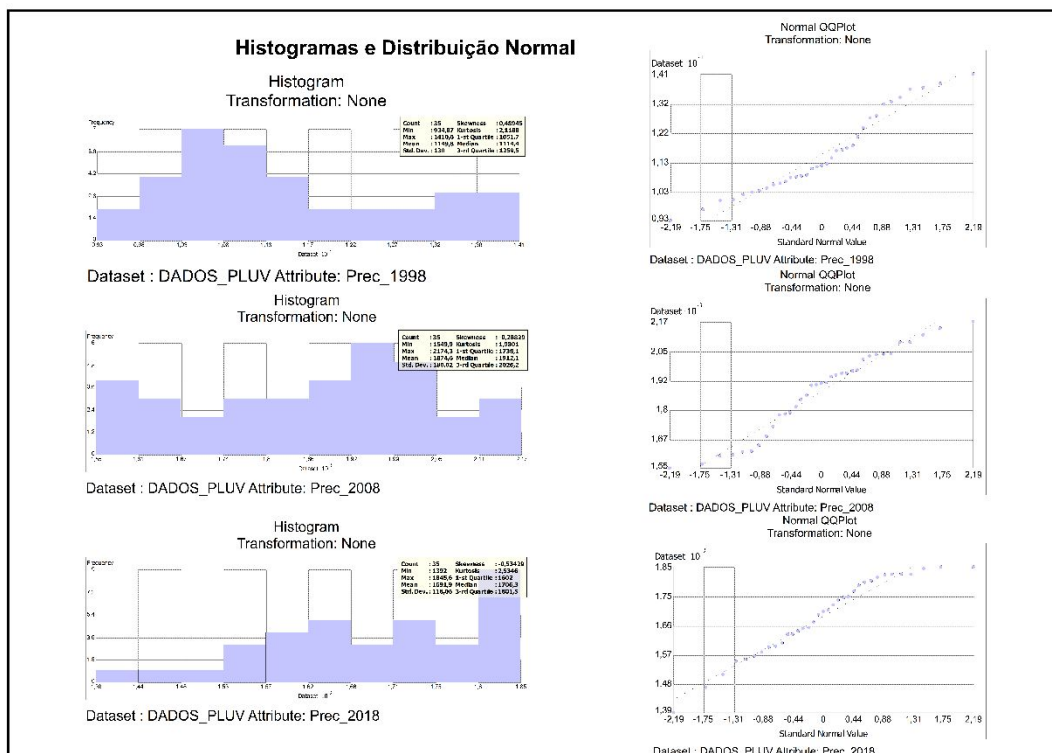


Figura 2: Histograma e Distribuição Normal(QQplot) Fonte: Elaborado pelo Autor.

A análise de tendência determina o grau de função matemática a qual os dados mais se adequam, ou seja, se eles obedecem a uma função de primeiro, segundo grau assim por diante, o semivariograma traz os agrupamento de pares relacionados ao longo das distancias entre cada ponto que variam de acordo com a direção aplicada, e a correlação a proporção do relacionamento dos valores próximos, o mapa de Voronoi traz uma amostra do *Raster* de saída, como será a distribuição de classe e direcionamento espacial do fenômeno, mostrados na Figura 3 a seguir:

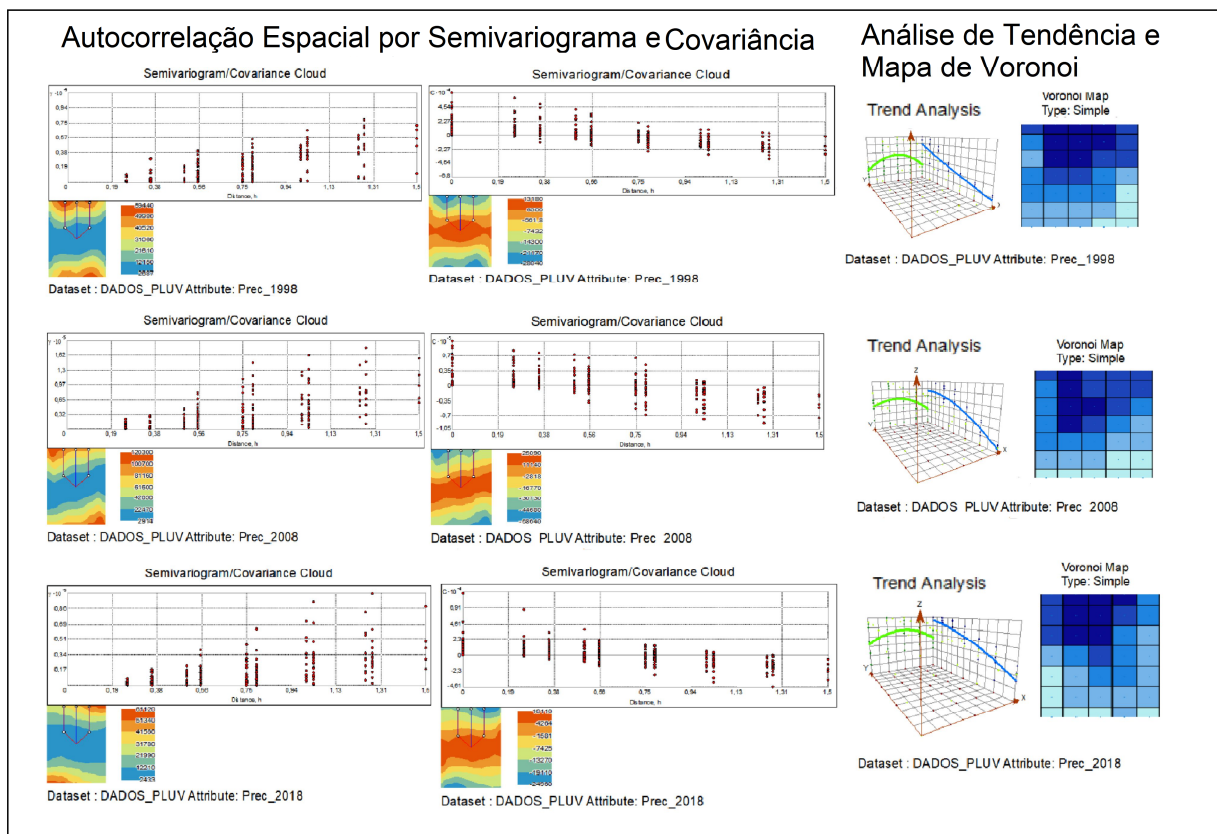


Figura 3: Autocorrelação, Análise de Tendência e Mapa de Voronoi. Fonte: Elaborado pelo Autor.

Como resultado, após a aplicação da análise geostatística, foi realizado através da ferramenta *Geostatistical wizard*, por Krigagem geostatística, que em seus processos são corrigidos ou estabelecidos de acordo com o conhecimento prévio dos dados, foi estabelecido o comportamento da precipitação média e sua distribuição ao longo da microrregião de Teresina, onde os resultados para cada ano estudado, estão na Figura 4.

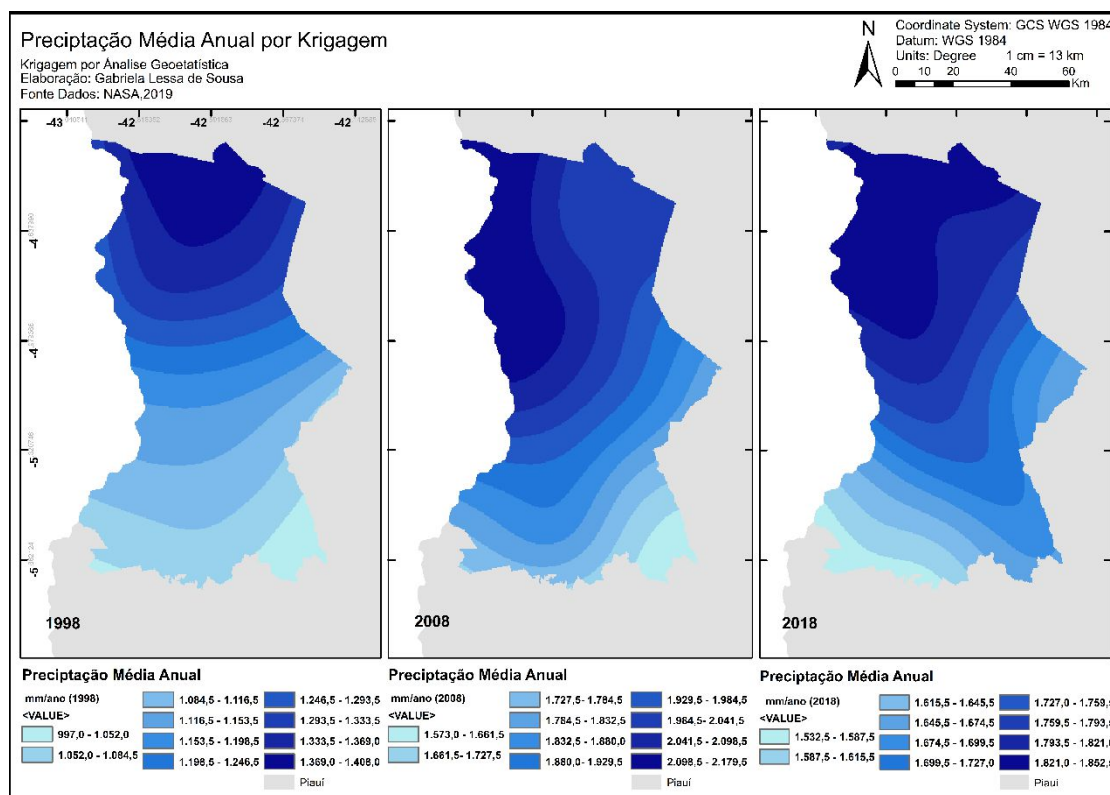


Figura 4: Precipitações Médias Anuais Fonte: Elaborado pelo Autor.

A distribuição dos dados por histogramas e análise QQplot, mostrarem que não era necessária a transformação dos dados por outras funções como Log e Box-Cox, isto é, para 1998 o histograma mostrou um distorção a esquerda, porém quando aplicada as transformações a diferença na distribuição normal não se altera o que implica que pode ser aplicado a função NONE (sem transformação prévia) para esse ano, já os anos de 2008 e 2018 apresentaram uma distorção a direita em seu histograma, mais as transformações também não melhoram a distribuição normal dos dados, então para eles também foram conservado o comportamento original.

Em relação a autocorrelação espacial os semivariograma obedecendo a direção de observação sul-norte, mostram que os semivariograma para os três anos que a princípio apresentam o mesmo comportamento ao longo do eixo x, isto é, o número de agrupamento de pares analisados como intermediários é maior que o número de pares gerados com valores baixo ou valores altos, cada semivariograma traz um Raster de visualização, onde os valores baixos e altos tendem a se agruparem nas extremidades norte e sul da região estudada, e a covariância traz a amostragem de relacionamento entres os dados, o valores na área central, são de fato mais parecidos e consequentemente sua área de ocupação gera uma fronteira entre setores com valores de borda.

A análise de tendência mostrou que todos os anos obedecem a uma função de segundo grau, o que ajuda a interpolação estabelecer a função matemática que mais se adequa a distribuição dos valores para a região de estudo, e o mapa de Voronoi, traz uma prévia de comportamento direcional do fenômeno, pode saber qual seria a distribuição ideal para um resultado coerente na interpolação dos dados, para 1998 Voronoi apresenta uma maior concentração ao norte e direção distributiva mais verticalizada, de norte a sul, sendo o sul com os menores valores, para 2008 a direção dos valores altos apresenta uma direção noroeste – sudeste, e por fim 2018, a área de maior concentração é maior que 2008, mas a sua direção está mais acentuada, prevalecendo noroeste – sudeste.

Com base nos julgamentos anteriores foram criados por krigagem geostatísticas, os resultados que confirmaram as direções de julgamento estudada, foram estabelecidas dez classe, setores de distribuição como padrão. Em 1998, a concentração de maiores picos de chuva estão ao norte da microrregião onde a área de maior incidência apresentou um valor médio de 1048,0 mm /ano, e os menores ao sul com destaque para uma pequena região a extremo sudeste com valor máximo de 997,0 mm/ano, já em 2008 apresentou os maiores valores no geral em relação aos anos estudados, e onde pode ser observado de forma significativa a mudança comportamental da precipitação e sua direção de ocorrência, as áreas que em 1998 apresentavam valores mais baixos passaram a integrar as regiões com valores mais significativos de ocorrência de chuvas, porém mesmo com valores mais altos em 2008 a região sudeste que apresentava o menor índice em 1998, continuou como a região mais escassa; para 2018 a distribuição se tornou mais acentuada a sudeste,

onde a região que apresentava uma incidência menor passou a integrar as regiões mais ativas e as áreas de menor incidência tiveram uma mudança de direção, migrando da região sudeste para a região sudoeste, e a região de maior incidência continuou com sua concentração a noroeste no entanto ampliando sua faixa de alcance para o norte que em 2008 havia saído da categoria de maior incidência.

## CONCLUSÕES

Em relação a recursos hídricos a capacidade pluviométrica interfere nos comportamentos sociais, econômicos e culturais de uma região, entender os fenômenos naturais, como a chuva, se comportam ao longo do tempo facilita no controle, uso e aplicações dos recursos naturais como um todo. A água por ser um bem indispensável para a sustentabilidade da vida humana, passa a ser uma fator de estudo e gestão que demanda cuidado e aplicação correta em seus julgamentos, logo seu estudo não pode ser feito apenas a partir de dados brutos, os sem nenhuma análise da tendência comportamental do fenômeno e as variáveis que interferem nesse processo.

A visualização espacial do comportamento da chuva através de mapas, pode ajudar o poder público de forma mais rápida e dentro de bases técnicas comprovadas, observar estimativas reais dos recursos hídricos que tal região possui e como seria uma prévia de comportamentos futuros, como mostrado que ao longo de vinte anos, com três amostras anuais, foi possível ver a mudança distributiva da chuva na região e com isso verificar o perfil da distribuição pluviométrica que está vigente no período atual, a chuva é um fenômeno natural que sofre influência direta com outros fatores, então como possíveis estudos posteriores, pode ser feito através das metodologias de interpolação uma relação entre um ou mais fenômenos, mas atentando para o comportamento dos dados coletados, assim como mostrado nesse estudo, o conhecimento prévio das informações evita a geração equivocada do resultado final e estabelece um caminho consistente para trabalhar e gerar tais resultados.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

1. BAÚ, A.L.; GOMES, B.M.; QUEIROZ, M.M.F. de.; OPAZO, M.A.U.; SAMPAIO, S.C. Comportamento espacial da precipitação pluvial mensal provável da mesorregião oeste do Estado do Paraná. **Irriga**, Botucatu, v. 11, n. 2, p. 150-168, abril-junho, 2006.
2. CARAM, R. de O. **Reconstrução de Séries e Análise Geostatística da Precipitação no Estado de Minas Gerais**. Dissertação (*Magister Scientiae*) – Universidade Federal de Viçosa, 2007. Landim P.M.B. 2006. **Sobre Geostatística e mapas**. *Terra Didática*, 2(1):19-33. Disponível em: <<http://www.ige.unicamp.br/terraedidatica/>>. Acessado em: 16 Jul.2019.
3. CARVALHO, J.R.P. de; VIEIRA, S.R. Validação de modelos geoestatísticos usando teste de Filliben: aplicação em agroclimatologia. Campinas: **Embrapa Informática Agropecuária**. Comunicado Técnico, 4 p., 2004.
4. CE001 (Brasil). Github. Análise exploratória de dados Introdução. 2016. Disponível em: <[http://leg.ufpr.br/~fernandomayer/aulas/ce001e-2016-2/02\\_Analise\\_Exploratoria\\_de\\_Dados.html](http://leg.ufpr.br/~fernandomayer/aulas/ce001e-2016-2/02_Analise_Exploratoria_de_Dados.html)>. Acesso em: 15 ago. 2019.
5. CLIMATEMPO (Brasil). Site Parceiro do Uol Notícias (Org.). **Climatologia - Teresina PI**. 2019. Site Parceiro do UOL Notícias. Disponível em: <<https://www.climatepo.com.br/climatologia/264/teresina-pi>>. Acesso em: 28 ago. 2019.
6. ESRI (Eua). Arcmap (Org.). **ArcGIS Geostatistical Analyst**. 2016. Disponível em: <<http://desktop.arcgis.com/en/arcmap/10.3/guide-books/extensions/geostatistical-analyst/what-is-arcgis-geostatistical-analyst-.htm>>. Acesso em: 05 jun. 2019
7. MELLO, J.M. de.; BATISTA, J.L.F.; JÚNIOR, P.J.R.; OLIVEIRA, M.S. de. Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando a estimativa volumétrica de *Eucalyptus grandis*. **Scientia Forestalis**, n. 69, p. 25-37, dez. 2005.
8. MOULIN, G.D.. **Técnicas de Entropia e de Geoestatística no Dimensionamento de Redes Pluviométricas**. Dissertação (Mestre em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espírito Santo, 2005.
9. MORAIS, Reurysson Chagas de Sousa. **Estruturação de uma Base de Dados Pluviométricos para a Bacia Hidrográfica do Rio Parnaíba a partir de Dados de Sensoriamento Remoto**. In: Anais do SIRGEO - Simpósio Regional de Geoprocessamento. Anais...Teresina(PI) IFPI, 2019. Disponível em: <<https://www.even3.com.br/anais/sirgeo/135481-ESTRUTURACAO-DE-UMA-BASE-DE-DADOS-PLUVIOMETRICOS-PARA-A-BACIA-HIDROGRAFICA-DO-RIO-PARNAIBA-A-PARTIR-DE-DADOS-DE-S>>. Acesso em: 04 Ago. 2019
10. TUCCI, C.E.M. **Hidrologia: ciência e aplicação**. 2. ed.; 2. reimpr. – Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS: ABRH, 2001.
11. WEATHER SPARK (Brasil) (Org.). **Condições Meteorológicas Médias de Teresina**. 2019. Disponível em: <<https://pt.weatherspark.com/y/30735/Clima-caracteristico-em-Teresina-Brasil-durante-o-ano>>. Acesso em: 16 jul. 2019.