Nyedja Fialho Morais Barbosa

KERNEL SMOOTHING DOS DADOS DE CHUVA NO NORDESTE

RECIFE-PE - MAR/2013

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA APLICADA

KERNEL SMOOTHING DOS DADOS DE CHUVA NO NORDESTE

Dissertação apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada como exigência parcial à obtenção do título de Mestre.

Área de Concentração: Biometria e Estatística Aplicada

Orientador: Prof. Dr. Borko D. Stosic

Coorientadora: Prof[a]. Dr[a]. Tatijana Stosic

RECIFE-PE - MAR/2013.

UNIVERSIDADE FEDERAL RURAL DE PERNAMBUCO

PRÓ-REITORIA DE PESQUISA E PÓS-GRADUAÇÃO

PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM BIOMETRIA E ESTATÍSTICA APLICADA

KERNEL SMOOTHING DOS DADOS DE CHUVA NO NORDESTE

Nyedja Fialho Morais Barbosa

Dissertação julgada adequada para obtenção do título de mestre em Biometria e Estatística Aplicada, defendida e aprovada por unanimidade em 22/03/2013 pela Comissão Examinadora.

Orientador:

Prof. Dr. Borko D. Stosic
Universidade Federal Rural de Pernambuco

Banca Examinadora:

Profª. Drª. Tatijana Stosic
Universidade Federal Rural de Pernambuco
DEINFO-UFRPE

Prof. Dr. Pabrício Marcos Oliveira Lopes
Universidade Federal Rural de Pernambuco
DEPA-UFRPE

Prof. Dr. Moacyr Cunha Filho
Universidade Federal Rural de Pernambuco
DEINFO-UFRPE

Dedico este trabalho à memória de meu pai,
Pedro, e meus tios Teca e Morais.

Agradecimentos

Agradeço, primeiramente, a Deus por ter me permitido chegar até aqui, pelo seu grande amor e misericórdia derramada sobre a minha vida, sem Ele eu não seria nada. A Ele toda a honra e toda a glória agora e para sempre!

Agradeço muito a minha mãe, Salete, e meus irmãos Érika e Júnior, e ao meu pai Pedro, que já se encontra nos braços de Deus. Com certeza estes foram os grandes incentivadores do meu sucesso, sempre me apoiando, me ensinando, me amando...

Quero agradecer de forma especial ao meu esposo, Luiz André, que tanto me apoiou nesta conquista. Seu amor, compreensão, carinho, em fortaleceram e me impulsionaram para que eu conseguisse alcançar esta vitória.

Agradeço pelo carinho e apoio que nos foi dado (a mim e a minha irmã Érika) pelas minhas tias Penha e Teca. Com certeza elas foram anjos que Deus enviou para nos ajudar nesta fase difícil de nossas vidas.

Não posso deixar de agradecer aos meus amigos, companheiros e guerreiros, que tanto me ajudaram para que eu chagasse até aqui... Agradeço especialmente a Érika, Priscila, Renata, Neto, Marystella, Clara (e Sophia), Danila, Samuel e Silvio.

Agradeço a todos os professores e funcionários da Biometria, principalmente aos professores Borko e Tatijana, ao professor Eufrázio, e ao secretário Marco.

E finalmente, agradeço à FACEPE que me muito me ajudou ao financiar os meus estudos, com certeza, sem seu apoio eu não teria conseguido realizar este sonho.

"*Toda a sabedoria vem do Senhor Deus, ela sempre esteve com Ele. Ela existe antes de todos os séculos.*"

Eclo 1,1

Resumo

O Nordeste do Brasil possui grande diversidade climática, sendo considerada uma região bastante complexa, despertando o interesse de estudiosos de todo o mundo. O regime de chuvas sobre esta região é considerada sazonal por comportar-se de forma mais intensa sobre três zonas internas da região, em períodos do ano diferenciados, com duração de três meses, além de sofrer fortes influências pela incidência do El Niño, La Niña e outros fenômenos atuantes sobre as bacias dos oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais. Neste trabalho foi aplicada a técnica matemática-computacional de interpolação do Kernel Smoothing nos dados de chuva sobre a Região Nordeste do Brasil coletados no período de 1904 a 1998, provenientes de 2.283 estações meteorológicas convencionais localizadas em todos os estados do Nordeste. Os cálculos realizados foram desenvolvidos no GPU "Cluster Neumann" do Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada do Departamento de Estatística e Informática da UFRPE através do software "Kernel" escrito em linguagem C e Cuda. Tal ferramenta possibilitou fazer a interpolação de mais de 26 milhões de medidas de precipitação de chuva sobre todo o Nordeste, permitindo gerar mapas de intensidade de chuva sobre toda a região, além de fazer estimativas em áreas de dados ausentes, e calcular estatísticas para a precipitação do Nordeste em âmbito geral e sazonal. De acordo com as interpolações realizadas foi possível detectar, dentre o período estudado, os anos mais secos e mais chuvosos, a distribuição espacial das chuvas em cada mês, bem como a característica da precipitação pluviométrica em épocas de El Niño e La Niña.

Palavras-chave: Interpolação; Kernel Smoothing; Chuva no Nordeste.

Abstract

Northeastern Brazil has great climatic adversity, is considered a very complex region, attracting the interest of scholars from around the world. The rainfall over this region is considered by seasonal behave more intensely on three internal zones of the region in different periods of the year, lasting three months, besides suffering heavily influenced by the incidence of El Niño, La Niña and other phenomena acting on the basins of the tropical Pacific and Atlantic oceans. In this work the technique was applied computational mathematics-interpolation Kernel Smoothing the data of rain on northeastern Brazil collected in the period from 1904 to 1998, from 2283 conventional weather stations located in all states of the Northeast. The calculations were performed on the GPU developed "Cluster Neumann" Program Graduate in Applied Statistics and Biometry, Department of Statistics and Informatics UFRPE through software "kernel" written in C language and Cuda. This tool allowed to do the interpolation of more than 26 million measurements of rainfall over the entire Northeast, allowing generate maps of rainfall intensity over the entire region, and make estimates in areas of missing data, and calculate statistics for precipitation Northeast in general scope and seasonal. According to the interpolations made could be detected among the studied period, the driest years and wettest, the spatial distribution of rainfall in each month as well as the characteristic of rainfall in times of El Niño and La Niña.

Key words: Interpolation; Kernel Smoothing; Rain in the Northeast.

Lista de Figuras

1 Semiárido Brasileiro de acordo com estimativas do IBGE (2007) . . . . . p. 12

2 Caixa de entrada do software Kernel . . . . . p. 22

3 Estações Meteorológicas na Região Nordeste de Brasil no período de 1904 a 1998 . . . . . p. 24

4 Interpolação dos dados de Precipitação Pluviométrica média diária na Região Nordeste do Brasil no período de 1904 a 1998 . . . . . p. 25

5 Precipitação Acumulada Anual para os períodos de 1910 a 1998 no Nordeste p. 27

6 Interpolação dos dados de Precipitação Pluviométrica média diária na Região Nordeste de Brasil no período de 1904 a 1998 em intervalos de 30 anos . . . . . p. 29

7 Gráfico de dispersão da precipitação média diária mensal sobre o Nordeste no período de 1904 a 1998 . . . . . p. 31

8 Interpolação dos dados de Precipitação Pluviométrica mensal na Região Nordeste de Brasil no período de 1904 a 1998 . . . . . p. 32

9 Interpolação dos dados de precipitação pluviométrica média diária na Região Nordeste de Brasil no período de 1904 a 1998 em cada estação chuvosa local . . . . . p. 33

10 Períodos de El Niño sobre Nordeste em relação à precipitação diária média p. 35

11 Gráfico da precipitação média diária nos períodos de El Niño sobre o Nordeste . . . . . p. 36

12 Precipitação média diária durante os períodos de La Niña sobre o Nordeste p. 38

13 Gráfico da precipitação média diária nos períodos de La Niña sobre o Nordeste versus Precipitação média diária . . . . . p. 39

14 Interpolação dos dados de Precipitação Pluviométrica na Região Nordeste de Brasil no período de 1904 a 1998 nas fase de Oscilação Decadal do Pacífico . . . . . p. 41

Lista de Tabelas

1 Períodos de atuação do El Niño entre 1950 e 1998 . . . . . p. 15

2 Períodos de atuação do La Niña entre 1950 e 1998 . . . . . p. 15

3 Algumas de Funções de Kernel . . . . . p. 21

4 Precipitação Acumulada Anual(mm) da Região Nordeste . . . . . p. 26

5 Classificação dos anos em relação à Precipitação Acumulada Anual . . . p. 28

6 Precipitação média diária em intervalos de 30 anos sobre o Nordeste do Brasil . . . . . p. 28

7 Precipitação mensal média diária para o período de 1904 a 1998 no Nordeste do Brasil . . . . . p. 30

8 Precipitação sazonal para o período de 1904 a 1998 no Nordeste do Brasil p. 32

9 Precipitação média diária durante os períodos de El Niño sobre o Nordeste p. 34

10 Precipitação média diária durante os períodos de La Niña sobre o Nordeste p. 37

11 Precipitação versus Oscilação Decadal do Pacífico sobre no Nordeste do Brasil . . . . . p. 41

Sumário

1 Introdução p. 1

2 Revisão de Literatura p. 3

2.1 Noções de Meteorologia e Climatologia . . . . . p. 3

2.1.1 Elementos Climáticos . . . . . p. 4

2.1.2 Fatores Climáticos . . . . . p. 5

2.2 Precipitação Pluviométrica . . . . . p. 7

2.3 Dados Pluviométricos . . . . . p. 8

2.3.1 Dados de Estações Meteorológicas . . . . . p. 8

2.3.2 Dados de Satélites Meteorológicos . . . . . p. 9

2.3.2.1 Dados de Reanálises . . . . . p. 10

2.4 Características do Nordeste Brasileiro . . . . . p. 10

2.4.1 O Semi-Árido Nordestino . . . . . p. 11

2.4.2 Chuva no Nordeste . . . . . p. 12

2.4.3 Efeitos do El Niño e La Niña . . . . . p. 14

2.4.4 Oscilação Decadal do Pacífico . . . . . p. 16

2.5 Interpolação de dados Espaço-Temporais . . . . . p. 16

2.5.1 Uso dos Métodos de Interpolação em Pluviometria . . . . . p. 17

3 Materiais e Métodos p. 19

3.1 Dados Pluviométricos . . . . . p. 19

3.2 Metodologia . . . . . p. 19

3.2.1 Kernel Smoothing . . . . . p. 19

3.2.2 Implementação computacional . . . . . p. 21

4 Resultados e Discussão p. 24

5 Conclusões p. 43

Referências p. 46

1 Introdução

A Região Nordeste do Brasil é conhecida por grande diversidade climatológica. Seu regime pluviométrico é estudado por cientistas de todo o mundo na tentativa de explicar o comportamento deste fenômeno que é tão inconstante e altamente influenciado pelas perturbações de anomalias de temperatura do oceano Pacífico.

Fenômenos como o El Niño e La Niña geralmente afetam o índice de precipitação, causando épocas de grande estiagem e épocas de grande volume de precipitação pluvial. Além disso, o Nordeste contém regiões semiáridas com concentração de chuvas num curto período do ano, e grandes intervalos secos, resultando em diversos efeitos que dificultam a vida da população nordestina.

Os dados de precipitação pluvial sobre o Nordeste são muitos, porém, sua organização, entendimento e visualização, fundamentais para modelagem deste fenômeno, na direção de planejamento de análises e uso de recursos hídricos, ainda apresentam um grande desafio.

Geralmente, os dados sobre precipitação são armazenados a partir de estações meteorológicas, convencionais e automáticas, e satélites meteorológicos geoestacionários e de órbita polar. As informações coletadas de estações meteorológicas possuem grande série histórica, mas não são capazes de cobrir todas as áreas do globo terrestre, já os dados obtidos por imagens de satélite cobrem toda a superfície terrestre, mas não possuem grande série histórica.

Na literatura científica mundial encontram-se diversos estudos como os de Li e Shao (2010) e Garcia-Pintado et al. (2009) na direção de aproveitar os benefícios e diminuir as falhas das fontes de dados, com objetivo geral de estabelecer padrões e regras para o tratamento dos dados, extraindo o máximo de informações neles contidos, bem como estabelecer os procedimentos e regras para as medidas futuras.

Além da técnica matemática/computacional *Parzen-Rosenblatt Window Method* (ROSENBLATT, 1956), (PARZEN, 1962), (EPANECHNIKOV, 1969) ter sido proposta várias décadas

atrás, o desafio computacional para sua implementação prática no caso atual só tornou-se possível com recentes avanços revolucionários de hardware para processamento paralelo, em geral os GPGPU'S, *General Purpose Graphics Processing Units*, e em particular com o uso do GPU *cluster "Neumann"* instalado com recursos do projeto *"Casadinho"* nas dependências do Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada do Departamento de Estatística e Informática da UFRPE.

O trabalho atual tem por objetivo utilizar a técnica Kernel Smoothing (ROSENBLATT, 1956), (PARZEN, 1962), (EPANECHNIKOV, 1969), para construção da estimativa contínua da densidade espaço-temporal da chuva para a região Nordeste, utilizando os dados de precipitação pluvial oriundos da antiga SUDENE () que são gerenciados pela Agência Pernambucana de Águas e Clima, APAC (), correspondendo a uma massa de mais de 26 milhões de observações provenientes de 2.283 estações meteorológicas convencionais espelhadas por toda a Região Nordeste, coletados entre o período de 1904 a 1998.

Neste trabalho serão investigadas as características da precipitação pluvial sobre o Nordeste ao longo de todo o período estudado, bem como em épocas específicas onde constam registros sobre incidências dos fenômenos El Niño e La Niña (TRENBERTH, 1997), além de fases de Oscilação Decadal do Pacífico (PAULA, 2009). Também será analisado o comportamento espacial da chuva sobre o Nordeste em cada mês do ano, assim como em épocas de chuvas sazonais (MENEGHETTI; FERREIRA, 2009), (RAO et al., 1993).

Com o mapeamento tornar-se-á possível providenciar uma visão geral da distribuição da chuva em escala espacial e temporal, estabelecendo assim base para estudos futuros da dinâmica da chuva.

O conhecimento da distribuição espacial da chuva no Nordeste será de suma importância auxiliar aos órgãos públicos competentes a traçar planos e medidas para melhorar o aproveitamento dos recursos hídricos da Região e traçar metas para beneficiar os locais mais castigados pelas épocas de estiagem.

2 Revisão de Literatura

Desde o início, o homem tenta conhecer e desvendar os mistérios da natureza, por isso começou a observar o comportamento dos fenômenos naturais e buscou meios de organizar essas observações para poder, de certa forma, preparar-se para o futuro.

De acordo com Mendonca e Danni-Oliveira (2007), os egípcios, observando o regime de cheias e vazantes no Rio Nilo, eram levados à refletir sobre como se formavam os elementos climáticos e os relacionava com a fertilidade dos solos na várzea do rio. Porém, os egípcios não eram os únicos que observavam os fenômenos da natureza. Há registros de outros povos como, por exemplo, os gregos e romanos.

Todas essas contribuições passadas foram importantes para que a humanidade, através da observação dos fenômenos naturais, conseguisse entender o mundo ao seu redor, aproveitar os benefícios da natureza e procurar meios para evitar as catástrofes naturais.

As observações destes fenômenos contribuíram para um melhor conhecimento da dinâmica atmosférica e regional, contribuindo para o avanço das pesquisas climáticas.

2.1 Noções de Meteorologia e Climatologia

Meteorologia, por definição, é o estudo da atmosfera e suas leis com a finalidade de prever as variações do tempo, e a climatologia é a ciência que descreve os climas, que os explica e os classifica por zonas, e ambas andam juntas para melhor explicar os fenômenos naturais (COSTA, 2006).

De acordo com Mendonca e Danni-Oliveira (2007), o dever do meteorologista é aplicar as leis da física e técnicas matemáticas aos fenômenos observados, ao passo que o climatologista utiliza técnicas estatísticas nos dados com a finalidade de inferir sobre as informações do clima. É importante frisar que o climatologista baseia seus estudos na Meteorologia existente, fincando uma parceria entre o estudo do clima e do tempo.

Em Meteorologia é feita uma distinção entre o tempo e o clima. O tempo é o estado da

atmosfera em um determinado momento e lugar ou é o estado da atmosfera com relação aos seus efeitos sobre a vida e as atividades humanas. Por outro lado, o clima é a síntese do tempo num determinado lugar para um determinado período de tempo, segundo (VIEIRA; PICULLI, 2009).

De acordo com Hartmann (1994), o clima da superfície terrestre é bastante flexível, indo desde regiões muito quentes a locais extremamente frios, da intensa seca do deserto a umidade de florestas tropicais.

Para entender os elementos e fatores que compõe a climatologia será feito um breve levantamento de definições a seguir.

2.1.1 Elementos Climáticos

Os elementos climáticos são grandezas meteorológicas que transmitem ao meio ambiente suas propriedades e características peculiares, influenciando sobre uma dada região. De acordo com Costa (2006) e Silva (2006), os principais Elementos Climáticos serão apresentados a seguir:

- **Temperatura :**

As definições de temperatura estão relacionadas com a sensação fisiológica no corpo humano, mas tais conceitos são bastante imprecisos. A temperatura indica o estado térmico do corpo e o calor é a manifestação da energia que pode ser transformada em trabalho e passar de um corpo para outro quando suas temperaturas forem diferentes.

- **Umidade do Ar :**

A maior parte da superfície terrestre é coberta por água. A parte superior da lâmina d'água que circula sobre o planeta está continuamente em processo de evaporação. A água evaporada permanece na atmosfera até voltar para a terra em forma de chuva, neve, orvalho, etc. A presença d'água na atmosfera é chamada de umidade.

- **Precipitação :**

A precipitação ocorre quando uma nuvem não suporta o excesso de umidade nela contida e, pela força gravitacional, as gotas de água caem, renovando assim o ciclo hidrológico. As formas de precipitação mais conhecidas são chuva, chuvisco, neve, entre outras.

- **Vento :**

O vento é o movimento horizontal do ar que ocorre quando duas regiões distintas possuem pressão atmosférica diferentes, decorrentes da variação de temperatura. Os ventos são caracterizados pela sua força e direção onde estão soprando. De acordo com suas variações de velocidade e de espaço de tempo os ventos recebem os nomes de rajadas, brisa, tempestade, furacão entre outros.

- **Nebulosidade :**

Nebulosidade é a fração da abóbada celeste que se encontra envolta por nuvens muito próximas umas das outras.

- **Pressão Atmosférica :**

A pressão do ar atmosférico é o resultado da força exercida em todas as direções, por efeito do peso do ar. Como consequência dos diversos movimentos constantes do ar, das variações de sua temperatura e do teor de vapor d'água, o peso do ar atmosférico, sobre um dado ponto, varia constantemente. A pressão, portanto, de maneira análoga à temperatura, nunca se estabiliza.

2.1.2 Fatores Climáticos

Os elementos climáticos são influenciados diretamente por alguns fatores climáticos, que atuam sobre todo o globo terrestre. Serão apresentados a seguir os principais fatores que influenciam no clima, segundo Costa (2006) e Silva (2006):

- **Latitude :**

A terra está supostamente dividida em coordenadas geográficas formada por linhas imaginárias. Por convenção, as linhas paralelas ao plano equatorial, que são chamadas de paralelos, e os meridianos, que são linhas imaginárias paralelas ao meridiano de Greenwich, ligam os polos norte e sul. A latitude é, então, a distância medida em graus de um determinado ponto do planeta e a linha do equador.

- **Longitude :**

Longitude é o ângulo compreendido entre o plano do meridiano de um local qualquer da superfície terrestre e o plano do meridiano de Greenwich. A longitude é contada a partir do meridiano de Greenwich para leste (E) e para oeste (O) até 180º.

- **Altitude :**

Altitude é a distância vertical, medida em metros, a partir do plano equatorial, que tem como referência o nível do mar, até a altura máxima do objeto medido, sendo considerada a terceira coordenada geográfica para localizar um corpo no planeta terra.

- **Massa de Ar :**

Massa de ar é uma grande quantidade da atmosfera que possui as mesmas propriedades físicas, como por exemplo, temperatura e umidade. Quando essas massas se deslocam sobre uma determinada região, perdem suas características de origem, adquirindo novas características devido às trocas com a nova superfície e aos movimentos verticais que começam a surgir em seu interior, para que as propriedades termodinâmicas entrem em equilíbrio.

- **Continentelidade :**

A continentalidade é a influência causada pelo oceano, sendo expressa pela distância da superfície terrestre ao mar.

- **Correntes Marítimas :**

Correntes marítimas são massas de água que circulam ao longo de oceanos e mares, mantendo suas próprias características de cor, temperatura e salinidade, sem adquirir características dos lugares que estão percorrendo. Acredita-se que a formação destas correntes é resultado da influência dos ventos além do movimento de rotação da terra.

- **Relevo :**

Relevo é o conjunto das formas da superfície terrestre, desde o fundo dos oceanos até as superfícies, que apresentam maiores altitudes. Os principais tipos de relevo são montanhas, planaltos, planícies, e depressões. O relevo é o resultado da ação das forças externas (como a chuva, o gelo, os mares, os animais e vegetais, além da ação do próprio homem), e internas (tectonismo, o vulcanismo e os abalos sísmicos), que agem no Planeta ao longo dos anos modificando suas formas de maneiras variadas.

- **Vegetação :**

Vegetação é o conjunto de plantas específicas de uma determinada região que nascem e crescem naturalmente sem interferência humana. A vegetação está diretamente ligada ao clima, à hidrografia, ao relevo e ao solo. Ela regula o fluxo dos ciclos da água, do carbono e do nitrogênio, e afeta as características do solo, quanto ao seu volume, química, textura e condições de fertilidade, de uma determinada região.

2.2 Precipitação Pluviométrica

Na natureza existem muitos fenômenos relacionados à água, como por exemplo, o orvalho, a geada, a chuva, o chuvisco, a neve, entre outros. Todas estas formas com que a água se apresenta, são conhecidas como hidrometeoros (SILVA, 2006).

Na formação da chuva as gotas de água evaporadas dos lagos, rios e oceanos sobem em forma de vapor d' água e formam as nuvens. Quando uma nuvem não suporta o excesso de umidade nela contida, as gotas de água caem sobre a terra em forma de chuva, renovando assim o ciclo das águas (COSTA, 2006).

A quantidade de precipitação de chuva de uma determinada região durante um período qualquer é medida através do instrumento chamado pluviômetro, que dá a medida em milímetros, ou seja, é calculada a quantidade de litros d'água que caíram por metro quadrado da projeção da superfície terrestre, sendo caracterizada pela sua duração e intensidade (COSTA, 2006).

2.3 Dados Pluviométricos

Para a análise dos fenômenos meteorológicos é necessário um sistema de observações unificado, que permita a exploração da atmosfera tanto no nível superficial quanto em níveis superiores, em intervalos de tempo extremamente curtos para que o monitoramento dos fenômenos seja feito da melhor forma possível.

A Organização Meteorológica Mundial, OMM, é o órgão especializado para coordenar as atividades meteorológicas em caráter operacional, mantida pela Organização das nações Unidas desde 1950. Esta organização desenvolve o programa de Vigilância Meteorológica Mundial, VMM, mantendo o intercâmbio de informações meteorológicas entre vários países (VIEIRA; PICULLI, 2009).

Segundo Vieira e Piculli (2009), o programa desenvolvido pela OMM é composto de três sistemas:

1. **Sistema Mundial de Observações**: Cerca de 10.000 estações terrestres, a maioria nos Continentes e no hemisfério norte, 7.000 navios mercantes, 3.000 aviões comerciais, plataformas automáticas, satélites e radares, voltado para a qualidade e quantidade das observações.

2. **Sistema Mundial de Preparação de Dados**: Constituídos dos Centros Meteorológicos Nacionais (CMN), Regionais (CMR) e Mundiais (CMM- Washington, Moscou e Melbourne), voltados para o tratamento dos dados e elaboração de previsões;

3. **Sistema Mundial de Telecomunicações**: Com centros nacionais de telecomunicações (CNT).

Existem duas formas de obtenção de dados meteorológicos da precipitação. Eles podem ser coletados através das Estações Meteorológicas, bem como de Satélites meteorológicos.

2.3.1 Dados de Estações Meteorológicas

As estações meteorológicas são unidades básicas de captação de dados meteorológicos fixadas sobre a planície terrestre. Geralmente são colocadas em locais onde não se tenha nenhuma interferência humana ou natural, para que não haja dúvidas quanto à fidelidade de informação de seus dados (COSTA, 2006).

As observações de superfície são sistematizadas e padronizadas pela **Organização Meteorológica Mundial**, OMM, sendo controladas desde a manutenção dos equipamentos, métodos de obtenção dos resultados e análise dos dados. Assim, as informações referentes aos parâmetros meteorológicos observados podem ser comparados a outras observações, a ainda podem caracterizar o estado instantâneo da atmosfera (VIEIRA; PICULLI, 2009).

Segundo Vieira e Piculli (2009), há dois tipos de Estações Meteorológicas de Superfície: as Estações Meteorológicas Convencionais e as Estações Meteorológicas Automáticas. As Estações Convencionais são aquelas em que é necessária a presença do observador para coleta e organização dos dados, já nas Estações Automáticas, as coletas são feitas através de sensores que operam a partir de sinais eletrônicos, que permite que os dados sejam armazenados mais rapidamente, e com maior confiabilidade.

2.3.2 Dados de Satélites Meteorológicos

Os satélites meteorológicos podem ser geoestacionários ou de órbita polar, cada um com rota e resoluções específicas.

Os satélites meteorológicos de órbita polar percorrem a circunferência da Terra de polo a polo, posicionados em uma faixa entre 800 a 1.200 km de distância da superfície terrestre, fornecendo imagens em faixas nominais de aproximadamente 3.000 km. Por sua vez, os satélites geoestacionários estão posicionados em órbita equatorial, permanecendo em posição fixa, em relação ao ponto observado, localizando-se a uma altura de aproximadamente 35.800 km, fornecendo imagens 24 horas por dia (FERREIRA, 2006).

Em relação ao monitoramento do tempo, os dados dos satélites geoestacionários são melhores do que os de órbita polar, pois são atualizadas continuamente, permitindo fazer o acompanhamento de uma determinada região com maior fidelidade.

Os dados dos satélites meteorológicos são transmitidos pelo sensor VISSR, "*Visible and Infrared Spin Scan Radiometer*", e enviados pela plataforma diretamente para estações terrestres. Os dados são processados no centro de controle e reenviados para os satélites para retransmissão a uma taxa mais lenta, podendo ser acessado por vários usuários. Outra forma de distribuição dos dados é pelo sistema WEFAX, "*Weather Fascimile*", com ele os dados são transmitidos por radiodifusão de acordo com horários estabelecidos pela OMM (FERREIRA, 2006).

2.3.2.1 Dados de Reanálises

O processo de reanálise acontece por duas etapas: Primeiramente os dados captados por satélite são analisados e interpolados pelo sistema com o auxilio de modelos utilizados para prever o tempo sobre a região de interesse. Em seguida, com base nos dados coletados, novos dados são interpolados em áreas onde não é possível captar nenhum tipo de informação sobre o fenômeno (FREITAS et al., 2010).

De acordo com Kalnay et al. (1996), no processo de reanálise os dados são produzidos e reanalizados com frequência de quatro vezes ao dia sendo também resumidos diariamente e mensalmente, com base no Tempo Universal (UTC).

Um dos projetos de Reanálises mais conhecido é o ERA-40, que reúne dados que vão de setembro de 1957 a agosto de 2002, produzido pelo Centro Europeu de Previsão do Tempo em Médio Prazo (ECMWF) entre outras instituições (UPPALA et al., 2005).

Os dados de reanálises são muito convenientes para completar as lacunas deixadas em algumas áreas onde as informações são ausentes. Para analisar dados coletados, preenchendo falhas existentes em séries temporais de precipitação, uma forma conveniente é utilizar dados de reanálises existentes no NCEP (BERNARDO; MOLION, 2002).

2.4 Características do Nordeste Brasileiro

A Região Nordeste do Brasil está situada entre 1° e 18°30' de latitude Sul e 34°30' e 40°20' de longitude Oeste de Greenwich, com extensão territorial de aproximadamente 1.540.827 Km^2, com relevo composto por planícies de baixadas litorâneas, vales baixos inferiores a 500m, entre superfícies que encontram-se a cotas de 800m, na região da Serra da Borborema, e 1.200m na Chapada da Diamantina (NIMER, 1989).

A precipitação e a radiação são consideradas as principais variáveis meteorológicas presentes no Nordeste. Com um regime de chuvas não uniforme, possui uma variação interanual e sazonal que implica na quantidade de precipitação da região. Sendo assim, o período de chuvas modulado pelos ventos alísios pode causar grandes prejuízos, ou influenciar no crescimento ou desenvolvimento de plantações agrícolas influenciando a economia local (MENEGHETTI; FERREIRA, 2009).

O Nordeste se diferencia das demais regiões brasileiras pela sua complexidade. A vegetação característica do Nordeste é Mata Atlântica, Mata dos Cocais, Cerrado, Caatinga, Vegetações Litorâneas e Matas Ciliares. Suas principais bacias são: Bacia do São

Francisco, Bacia do Parnaíba, Bacia do Atlântico Nordeste Oriental, Bacia do Atlântico Nordeste Ocidental e Bacia do Atlântico Leste. A região apresenta quatro tipos de clima: Clima equatorial úmido, litorâneo úmido, tropical e semiárido, sendo este último a de maior abrangência.

2.4.1 O Semi-Árido Nordestino

Uma região é considerada semiárida quando há deficiência e/ou irregularidade de chuvas. Nesta região, a evaporação é superior à precipitação, e geralmente ocorrem grandes períodos de seca intensa (CARITAS-BRASILEIRA, 2001).

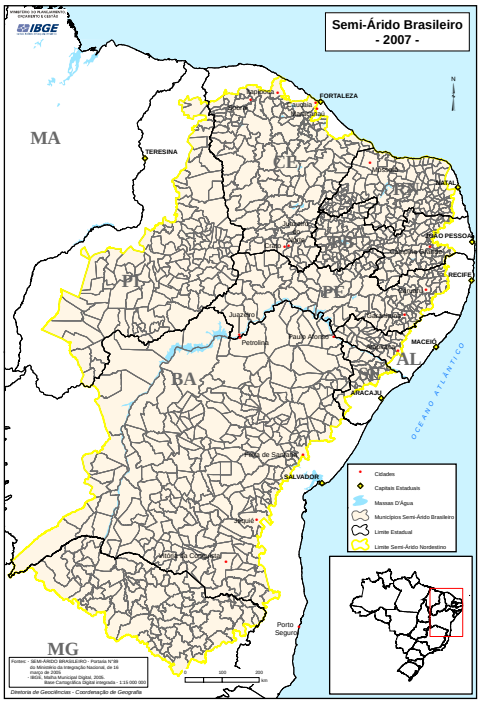
Esta região apresenta forte insolação, temperaturas altas, e um baixo volume de chuva. A concentração de chuva num curto período de tempo, variando de três a quatro meses, em média, é uma característica regional dominante, por isso a população sofre pelos longos períodos de seca.

De acordo com (SA; SILVA, 2010), a demanda hídrica, geralmente, excede o suprimento nestas regiões e um dos maiores problemas é a conjunção da irregularidade das chuvas com a ocorrência de elevadas temperaturas, ocasionando altas taxas de deficiências hídricas.

As principais características das áreas semiáridas são: Precipitações médias anuais iguais ou inferiores 800 mm; Insolação média de 2.800 h/ano; Regime de chuvas marcado pela irregularidade (espaço/tempo); Domínio do Ecossistema Caatinga (diversidade) e Limitações pluviométricas com baixa retenção dos solos (SUDENE, 2012).

Uma grande preocupação sobre a região semiárida, além dos grandes períodos secos, é o processo de desertificação. Tal fenômeno vem se agravando por consequência dos recursos escassos e da variabilidade interanual das precipitações. (CONTI, 2005).

A Figura 1 mostra a divisão da região semiárida entre os Estados (IBGE, 2012).



Fonte: IBGE, 2012

Figura 1: Semiárido Brasileiro de acordo com estimativas do IBGE (2007)

2.4.2 Chuva no Nordeste

O Nordeste apresenta diferentes regimes de chuva em áreas específicas. Na parte norte, a estação chuvosa geralmente está compreendida entre os meses de março a maio, no sul e sudeste, é comum as chuvas ocorrerem no período de dezembro e fevereiro, e no leste da região, a chuva ocorre geralmente entre maio e julho. A variação espacial da precipitação anual sobre esta região é bastante alta, pois a precipitação anual varia desde 300 mm, na região mais seca, a 2.000 mm, na costa leste, de acordo com estudos de (RAO et al., 1993), (MENEGHETTI; FERREIRA, 2009).

A região é considerada anômala nos continentes tropicais, porque, em contraste a outras regiões nesta faixa latitudinal, apresenta um clima semiárido, o qual é devido aos valores relativamente baixos de precipitação sobre a maior parte da região, de acordo com (NOBRE et al., 1986). A circulação atmosférica sobre a região é fortemente modulada e modificada pelos padrões termodinâmicos sobre as bacias dos oceanos Pacífico e Atlântico Tropicais (FERREIRA; MELLO, 2005) influenciando o comportamento da precipitação pluvial sobre a região (MOLION; BERNARDO, 2002).

Os mecanismos que determinam a complexidade do regime de chuvas da região, de

acordo com (UVO; BERNDTSSON, 1996) são: Eventos El Niño-Oscilação Sul (ENOS); Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na bacia do oceano Atlântico, Ventos Alísios, Pressão ao Nível do Mar (PNM); Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) sobre o oceano Atlântico e Frentes Frias e Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN)

Em anos nos quais se verificam anomalias positivas ou negativas da TSM, nas bacias desses oceanos, a célula de Hadley, que atua no sentido meridional, e a célula de Walker, que atua no sentido zonal, são perturbadas, causando fortes anomalias na circulação atmosférica sobre os trópicos, visto que essas células são deslocadas de suas posições climatológicas, consequentemente as intensidade e duração do período chuvoso dessa região também são afetadas (FERREIRA; MELLO, 2005).

A variabilidade de TSM do Atlântico Tropical é a força dominante das anomalias de precipitação no Nordeste do Brasil, enquanto que a influência remota do Pacífico, em determinadas ocasiões pode reforçar estas anomalias, mas em outras ocasiões pode ter efeitos opostos, de modo que estas anomalias sejam enfraquecidas (UVO et al., 1998 apud ANDREOLI; KAYANO, 2007).

Para (NOBRE et al., 1986), é provável que o fator mais importante na determinação de quão abundante ou deficiente serão as chuvas de uma dada estação chuvosa na parte seca do Nordeste é a posição latitudinal da ZCIT sobre o Atlântico Equatorial, mais especificamente sobre a porção ocidental próximo à costa da América do Sul. Em anos de seca a ZCIT usualmente não cruza o equador na sua migração sazonal para o sul, portanto não atinge o Nordeste.

Em anos chuvosos, o anticiclone do Atlântico Norte Subtropical (alta do Açores) está mais intenso que a normal, os ventos alísios de nordeste do Atlântico Norte estão, também, mais intensos e a ZCIT mais destacada para o Sul. Para os anos mais secos o reverso ocorre: o anticiclone do Atlântico Sul está mais intenso, a alta dos Açores mais fraca, os ventos alísios do Atlântico Sul mais intensos e a ZCIT encontra-se mais ao norte do que em sua posição normal, afirma (NOBRE et al., 1986).

Historicamente a região Nordeste sempre foi afetada por grandes secas ou grandes cheias. Relatos de secas na Região podem ser encontrados desde o Século XVII, quando os portugueses chegaram à região. Estatisticamente, acontecem de 18 a 20 anos de seca a cada 100 anos (MARENGO, 2007).

2.4.3 Efeitos do El Niño e La Niña

De acordo com Freire et al. (2011), El Niño e La Niña são fenômenos meteorológicos de grande escala, caracterizados por Anomalias de Temperatura da Superfície do Mar, ATSM, no Oceano Pacífico, que ocorrem simultaneamente com anomalias do Índice de Oscilação Sul (IOS). Esses fenômenos afetam a circulação atmosférica, determinando principalmente anomalias no campo da precipitação pluviométrica em diversas regiões do Globo Terrestre.

Os eventos de El Niño e La Niña têm uma tendência a alternarem-se a cada 3,2 anos. Porém, de um evento ao seguinte, o intervalo pode variar de 1 a 10 anos. A intensidade dos eventos varia bastante de caso a caso. O El Niño mais intenso, segundo as medições da ATSM, ocorreu em 1982-83 e em 1997-98 (COSTA, 2009).

O El Niño é caracterizado por um superaquecimento das águas do Oceano Pacífico Equatorial. Este aquecimento anormal pode afetar o clima local, mudando a direção dos ventos, podendo causar grandes secas na região semiárida do Brasil. O período que geralmente acontece este fenômeno vai de 2 a 7 anos tendo uma duração média de doze a dezoito meses.

Já com a La Niña é o contrário. Trata-se do resfriamento das águas do Pacífico Ocidental. Este fenômeno faz com que a Alta Subtropical do Pacífico Sul se fortaleça, transportando as águas superficiais frias para o Pacífico Equatorial. As consequências são as grandes enchentes no Nordeste. Sua duração média vai de nove a doze meses.

De acordo com Trenberth (1997), os períodos de atuação dos efeitos do El Niño e La Niña sobre o Brasil compreendidos entre 1950 e 1998 estão descritos nas Tabelas 1 e 2.

A anomalia que ocorre na temperatura da superfície do mar é motivo de estudo para muitos pesquisadores (CHU, 1983), (HASTENRATH; GREISCHAR, 1993), (HASTENRATH, 1990) e (GRIMM et al., 1998).

Em um caso particular para a investigação deste fenômeno em um dos estados do Nordeste, SILVA et al. (2011) afirmaram que a influência da distribuição das anomalias de temperatura da superfície do mar sobre as chuvas no nordeste de Pernambuco está diretamente relacionada com áreas do Atlântico Tropical Sul e áreas do Pacífico Equatorial. Águas quentes na Bacia do Atlântico Sul afetam positivamente as chuvas, enquanto que águas mais frias, impactam negativamente a estação chuvosa nesta região do Estado. Em relação à região do Pacífico, quando as águas apresentaram temperatura abaixo da média há um acréscimo na precipitação no setor nordeste do Estado.

Tabela 1: Períodos de atuação do El Niño entre 1950 e 1998

Início	**Término**	**Duração em meses**	**Intesidade**
Agosto de 1951	Fevereiro de 1952	7	Fraca
Março de 1953	Novembro de 1953	9	Fraca
Abril de 1957	Junho de 1958	15	Fraca
Junho de 1963	Fevereiro de 1964	9	Fraca
Maio de 1965	Junho de 1966	14	Moderada
Setembro de 1968	Março de 1970	19	Fraca
Abril de 1972	Março de 1973	12	Moderada
Agosto 1976	Março de 1977	8	Moderada
Julho de 1977	Janeiro de 1978	7	Fraca
Outubro de 1979	Abril de 1980	7	Fraca
Abril de 1982	Julho de 1983	16	Forte
Agosto de 1986	fevereiro de 1988	19	Forte
Março de 1991	Julho de 1992	17	Moderada
fevereiro de 1993	Setembro de 1993	8	Moderada
Junho de 1994	Março de 1995	10	Moderada
Abril de 1997	Abril de 1998	13	Moderada

Fonte: Trenberth (1997)

Tabela 2: Períodos de atuação do La Niña entre 1950 e 1998

Início	**Término**	**Duração em meses**	**Intensidade**
Março de 1950	Fevereiro de 1951	12	Forte
Junho de 1954	Março de 1956	22	Forte
Maio de 1956	Novembro 1956	7	Forte
Maio de 1964	Janeiro de 1965	9	Moderada
Julho de 1970	Janeiro de 1972	19	Moderada
Junho de 1973	Junho de 1974	13	Forte
Setembro de 1974	Abril de 1976	20	Forte
Setembro de 1984	Junho de 1985	10	Forte
Maio de 1988	Junho de 1989	14	Forte
Setembro de 1995	Março de 1996	7	Forte

Fonte: Trenberth (1997)

Segundo Marengo (2007), nem todos os períodos de seca estão relacionados com o El Niño. No século passado, por exemplo, observou-se que os anos em que os dois acontecimentos coincidiram foram 1900, 1902, 1907, 1915, 1919, 1932-33, 1936, 1941-44, 1951, 1953, 1958, 1970, 1979-80, 1981, 1982-83, 1986-87, 1991-1992, 1997-1998.

2.4.4 Oscilação Decadal do Pacífico

O regime de chuvas sobre a região Nordeste também é influenciado pela Oscilação Decadal do Pacífico. Tal fenômeno é caracterizado por uma perturbação na temperatura da superfície do mar sobre a bacia do Oceano Pacífico descoberta recentemente pelos pesquisadores da Universidade de Washington em 1996, que descobriram um padrão decadal de trabalhos feitos sobre a variação da população dos peixes no Pacífico Norte (MANTUA et al., 1997 apud PAULA, 2009) .

Em seus estudos, perceberam que as temperaturas da superfície do Oceano Pacífico (TSM) apresentam uma configuração com variações de prazo mais longo, semelhante ao El Niño, denominada Oscilação Decadal do Pacífico (ODP) e descrita por (MANTUA et al., 1997 apud MOLION, 2003).

Estes eventos geralmente se propagam de 20 a 30 anos, apresentando-se em duas fases. A fase fria é caracterizada por anomalias negativas de TSM no Pacífico Tropical e, simultaneamente, anomalias de TSM positivas no Pacífico Extratropical em ambos os hemisférios. A fase quente apresenta configuração contrária, com anomalias de TSM positivas no Pacífico Tropical e negativas no Pacífico Extratropical (MOLION, 2003).

No Século XX, ocorreram duas fases quentes compreendidas entre 1925-1946 e 1977-1998 e duas fases frias entre 1910-1924 e 1947-1976 (PAULA, 2009).

Durante a ocorrência da fase positiva da ODP, há a tendência de maior número de episódios de El Niño e mais intensos. Menor número de La Niña, e menos intensas. Já durante a fase negativa da ODP, há maior ocorrência de episódios de La Niña, que tendem a ser mais intensos, e menor frequência de El Niños, os quais tendem a ser curtos e rápidos (ANDREOLI; KAYANO, 2004 apud SILVA; GALVíNCIO, 2011).

2.5 Interpolação de dados Espaço-Temporais

Historicamente, a fim de reduzir o custo computacional relacionado com a estimação de densidades, uma forma funcional ou paramétrica é imposta aos dados. Esta forma paramétrica pode ser bastante subjetiva, contudo, na maioria das situações, sua imposição permite simplificar bastante o problema, pois tudo que resta é estimar os parâmetros através da amostra de dados (FERREIRA, 2007).

Na maioria dos métodos é necessário que a distribuição de probabilidade aos quais os dados pertençam seja conhecida, porém, em alguns casos, é muito difícil conhecer os

parâmetros da distribuição. Nesses casos é necessário buscar outras ferramentas para analisar o comportamento dos dados.

Na climatologia, os métodos de interpolação mais usados para modelagem de fenômenos são: Distância inversa ponderada, Kriging, Curvatura Mínima, Vizinho mais próximo, Regressão polinomial, Funções de base radial, Método de Shepard, Triangulação com interpolação linear, segundo (NIKOLOVA; VASSILEV, 2006).

É importante frisar que quanto mais uniforme for a distribuição dos dados sobre toda a área de estudo, ou se os dados estiverem concentrados em determinados aglomerados de pontos, serão obtidas estimativas muito boas, independentemente do algoritmo de interpolação que seja utilizado.

2.5.1 Uso dos Métodos de Interpolação em Pluviometria

A precipitação é um elemento climático que se modifica de acordo com diferentes fatores que atuam sobre cada local, causando variações ao longo do tempo e do espaço.

Para resolver alguns questionamentos sobre o comportamento dos dados de chuva sobre uma determinada região, é necessário recorrer a métodos estatísticos e computacionais, que através da análise do banco de dados, nos permitem analisar os fenômenos relacionados à pluviometria.

Geralmente os dados pluviométricos são coletados através de Estações Meteorológicas convencionais ou automáticas, ou de Satélites Meteorológicos, e contém informações sobre a quantidade (em milímetros) de água de chuva diária, a localização geográfica da estação (altitude, latitude e longitude), entre outras, permitindo que seja possível estudar a variação da quantidade de chuva que cai, tanto em relação a uma dada localização no globo em termos de distribuição espacial, quanto em relação à distribuição temporal.

Os métodos mais utilizados para modelagem de fenômenos relacionados à pluviometria são o Kriging e a Distância Inversa Ponderada. Em alguns casos, o primeiro método é preferido para ser aplicado (MATKAN et al., 2010), (OLIVEIRA et al., 2012) e (VERWORN; HABERLANDT, 2011). Em outros casos, o segundo método é o mais adequado (TOMCZAK, 1998).

Muitos pesquisadores no mundo inteiro comparam estes dois métodos para analisar qual explica melhor o comportamento de suas variáveis, como se pode ver nos trabalhos desenvolvidos por (REIS et al., 2005),(SILVA et al., 2011), (HARTKAMP et al., 1999), (MELLO et al., 2003) e (SOENARIO et al., 2010).

A técnica de interpolação através do Kernel também é utilizada na pluviometria, porém com pouca frequência, pelo fato de ser computacionalmente intensiva. A literatura sobre tal aplicação na Climatologia e Meteorologia ainda é muito escassa e vem aumentando nos trabalhos científicos mais recentes (STECK, 2002), (XIONG et al., 2006), (JOU et al., 2012) e (ALI, 1998).

3 Materiais e Métodos

3.1 Dados Pluviométricos

Os dados pluviométricos utilizados neste trabalho são provenientes de observações coletadas pela Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste, SUDENE, que encontram-se sob cuidados da Agência Pernambucana de Águas e Clima, APAC.

O banco de dados é composto por medições de precipitação pluvial extraídas de 2.283 estações meteorológicas convencionais localizadas em todos os estados da Região Nordeste, entre os anos de 1904 a 1998, correspondendo a 26.496.444 de observações.

A distribuição espacial das estações meteorológicas não é uniforme em toda a região estudada, porém, a partir das interpolações realizadas, será possível estimar o comportamento da chuva em todo o Nordeste.

3.2 Metodologia

3.2.1 Kernel Smoothing

Um método bastante eficaz para fazer interpolação de dados pontuais utilizando estatística não paramétrica, estudado por (ROSENBLATT, 1956), (PARZEN, 1962), é o Kernel Estimator, ou simplesmente Estimador de Núcleo. Esta nova técnica, computacionalmente intensiva, tem sido utilizada recentemente com maior frequência por causa de crescimento de poder computacional (PIMENTEL, 2010), (FREITAS et al., 2002), (DUONG, 2007), (PINTO, 2003), (KAWAMOTO, 2012), (CHUNG, 2006), (FERREIRA, 2007).

O método do Kernel é muito utilizado para mapear e estimar a forma de distribuição dos pontos no espaço, utilizando a estatística não paramétrica através da função de Núcleo. Este método de interpolação é baseado no método primitivo do histograma, onde não é preciso um conhecimento da distribuição de probabilidade dos dados, apenas os

dados são organizados em classes, de acordo com a frequência com que aparecem na amostra. Através deste método pode-se ter uma suavização dos dados e assim estimar uma densidade desconhecida.

De acordo com Ali (1998), os estimadores de Kernel são médias móveis ponderadas de uma função de destino, onde o peso é prescrito através de uma função kernel que é geralmente escolhida para ser uma função de densidade de probabilidade simétrica com variância finita, que tem o papel de uma função de ponderação.

A estimação através do método do núcleo suaviza a superfície, calculando a densidade de cada "janela"(ou "grade"), através de interpolação, sem modificar as características e variabilidade do conjunto de dados, possibilitando até mesmo estimar valores para áreas onde não houve observações.

A função do Kernel é interpolar um valor de intensidade para cada célula de uma grade, considerando uma função simétrica, centrada na célula, utilizando-se para o cálculo os pontos situados até certa distância do centro da célula (CARNEIRO; SANTOS, 2003).

Suponha a existência de uma variável aleatória de onde foi obtida uma amostra aleatória $X_1, ..., X_n$, cujos valores observados são independentes e identicamente distribuídos. O estimador de kernel, $\hat{f}_h(x)$, para esta amostra é dado através da expressão matemática dada por 3.1:

$$\hat{f}_h(x) = \frac{1}{nh} \sum_{i=1}^{n} K\left(\frac{x - X_i}{h}\right) \tag{3.1}$$

onde n representa o tamanho da amostra, $K(.)$ representa a função de Kernel escolhida para a interpolação, e h, o raio de abrangência da estimação, também chamado de parâmetro de suavização. Esses parâmetros são os únicos necessários para o cálculo das estimativas (SCHEID, 2004).

Muitas *funções densidades de probabilidade* são utilizadas neste método não paramétrico. Na tabela 3 encontram-se as mais utilizadas.

É importante mencionar que a estimativa de densidade Kernel possui as mesmas propriedades da função de núcleo escolhida, por isso é interessante escolher um Kernel suave e claramente unimodal simétrico ao redor do zero, afirma SCOTT (1950).

A escolha da função de densidade escolhida para a estimação é importante, mas muito mais importante é a escolha do raio, pois a partir do raio se definirá a vizinhança do ponto a ser interpolado e se controlará quão suave será a estimação da densidade.

Tabela 3: Algumas de Funções de Kernel

Função de Kernel	$K(x)$
Uniforme	$K(x) = \frac{1}{2}$
Epanechnikov	$K(x) = \frac{3}{4}(1 - \frac{1}{5}x^2)/\sqrt{5}$
Biweight	$K(x) = \frac{15}{16}(1 - x^2)^2$
Guassian	$K(x) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}}e^{-(1/2)x^2}$
Triangular	$K(x) = 1 - \|x\|$

Segundo Cortes (2004), o parâmetro de suavização h define uma espécie de controlador entre vício e variância da estimativa. Se h for muito baixo, pode-se estar deixando de suavizar a função de maneira eficiente (subsuavizar), enquanto que se pode estar suavizando a função em excesso (sobresuavizar) caso h for muito grande.

Quando cada ponto no espaço a ser estimado tem um valor associado a ele, é utilizada a seguinte fórmula para encontrar as estimativas:

$$\hat{Y}(x_0) = \sum_{i=1}^{n} K\left(\frac{x_0 - X_i}{h}\right) y(X_i)$$

que representa a quantidade de atributo por unidade de área.

Se o objetivo é encontrar o valor médio do atributo, é sensato utilizar a expressão dada por 3.2, que representa o Kernel Smother da função:

$$\hat{Y}(x_0) = \frac{\sum_{i=1}^{n} K\left(\frac{x_0 - X_i}{h}\right) y(X_i)}{\sum_{i=1}^{n} K\left(\frac{x_0 - X_i}{h}\right)} \tag{3.2}$$

3.2.2 Implementação computacional

Os cálculos numéricos para realização deste trabalho foram implementados no GPU "Cluster Neumann" do Programa de Pós-Graduação em Biometria e Estatística Aplicada (PPGBEA), do Departamento de Estatística e Informática da UFRPE, utilizando o software "Kernel" desenvolvido no PPGBEA em linguagens C e CUDA. Tal ferramenta possibilitou realizar cálculos complexos que, realizados apenas pelo CPU, custariam muito tempo, ou até nem seriam possíveis de se realizar, já que os dados correspondem a aproximadamente 26 milhões de observações, com um volume de 10^9 voxeis, em média.

O software "Kernel" utilizado neste trabalho é preparado para ler o banco de dados, calcular a média diária de precipitação das estações meteorológicas, e através da função

de Kernel Smoothing, utilizando a função Gaussiana, estimar a curva de densidade, que representa a precipitação pluvial, para todo o mapa da região Nordeste, preenchendo os espaços com dados ausentes, e estimar a média diária de chuva sobre a região, no espaço de tempo desejado.

Após a compilação do "Kernel", aparece na tela do computador uma caixa de entrada, conforme Figura 2.

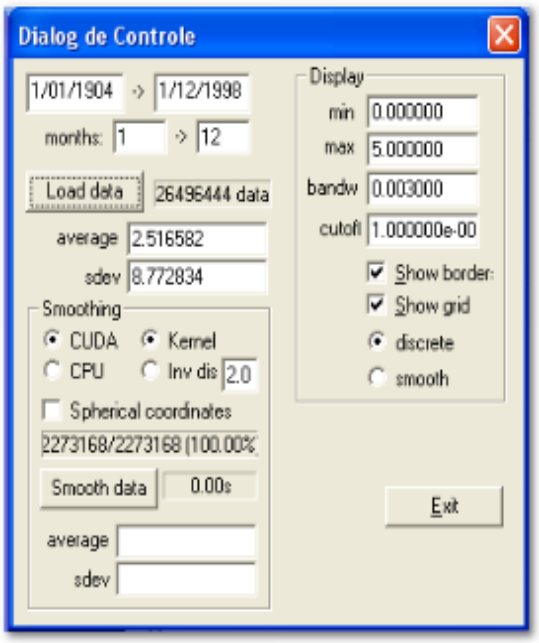


Figura 2: Caixa de entrada do software Kernel

O processo de interpolação é realizado através das seguintes etapas:

1. Preenchem-se os espaços referentes ao período que em que o usuário deseja fazer a interpolação (Neste caso, foram utilizados dados desde 01/01/1904 até 31/12/1998);
2. Selecionam-se os meses que entraram na interpolação (Neste caso temos os meses de Janeiro a Dezembro);
3. Tecla-se a tecla "Load data", para carregar os dados (Ao lado é possível observar a quantidade de observações utilizadas na interpolação);
4. Selecionam-se na janela "Smoothing" as opções "Cuda" e "Kernel";

5. Tecla-se a tecla "Smooth data" para iniciar a interpolação (Ao lado é possível observar o tempo estimado para o término da interpolação);

6. Finaliza-se a interpolação com a informação da média diária de precipitação pluvial no período analisado, bem como seu desvio padrão, e visualização do mapa da estimativa de chuvas sobre toda a Região Nordeste.

Dentro da janela "Display" é possível selecionar o valores máximo e mínimo a serem considerados, afim de compor a escala de cores utilizadas no mapa, e ainda podemos controlar o parâmetro de suavização, h. Neste caso, como estamos trabalhando com médias diárias dos dados pluviométricos, os valores máximo e mínimo serão considerados $0mm$ e $5mm$, respectivamente. A escala de cores irá, portanto, variar de Vermelha, quando indicar baixa quantidade de precipitação, a azul, quando indicar grande quantidade de precipitação.

Ainda na janela "Display", encontram-se as opções "Show border", para mostrar as bordas das delimitações de cada Estado dentro do mapa, e "Show grid", para mostrar a grade que representa a latitude e longitude no mapa. Assim, é possível localizar a posição de cada Estação Meteorológica Convencional.

É possível selecionar, dentro da janela "Display", um dos botões: "discrete" ou "smooth". O primeiro fornece a localização geográfica das Estações Meteorológicas que possuem informação de precipitação no período analisado e o segundo gera a suavização dos dados.

Na janela "Smoohting" existem dois espaços inicialmente vazios. No primeiro espaço, será informado o resultado da média de precipitação pluviométrica diária, referente ao período analisado, calculado pelo software "Kernel", e no segundo espaço será visualizado o desvio padrão dos dados após a interpolação.

O cálculo da precipitação anual acumulada foi feito através da multiplicação da média diária anual pelo número de dias que contém o ano. Assim, foi possível fazer interpolações em todos os anos do período analisado, e posteriormente encontrar a precipitação acumulada, e ainda, classificar os anos, de acordo com a quantidade de chuva, em anos secos, muito secos, normais, chuvosos e muito chuvosos.

As interpolações foram realizadas para analisar alguns períodos específicos relevantes para a região Nordeste com relação à distribuição espacial de chuva, como períodos sazonais em algumas localidades da região, anos de incidência de El Niño, La Niña e Oscilação Decadal do Pacífico.

4 Resultados e Discussão

A seguir serão apresentados os resultados de interpolações feitas para dados de chuva no Nordeste do Brasil aplicando a técnica de kernel Smoothing nos dados oriundos da SUDENE, desde 1904 até 1998.

Para iniciar o estudo foi feita a interpolação de todas as observações quem constam no banco de dados.

Através do software utilizado foi possível localizar a posição da cada Estação Meteorológica que contribuiu para a pesquisa, conforme Figura 3.

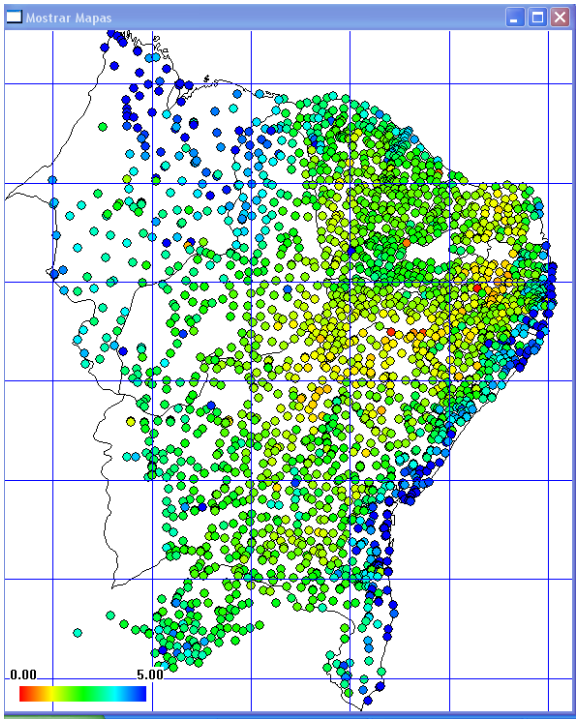


Figura 3: Estações Meteorológicas na Região Nordeste de Brasil no período de 1904 a 1998

Pela Figura 3 é possível observar que a distribuição espacial das estações sobre a área nordestina não é homogênea, apresentando muitas áreas descobertas por informações.

Para preencher estas grandes áreas de dados ausentes foi feita a interpolação da precipitação diária utilizando o método Kernel Smoothing. O resultado pode ser observado na Figura 4.

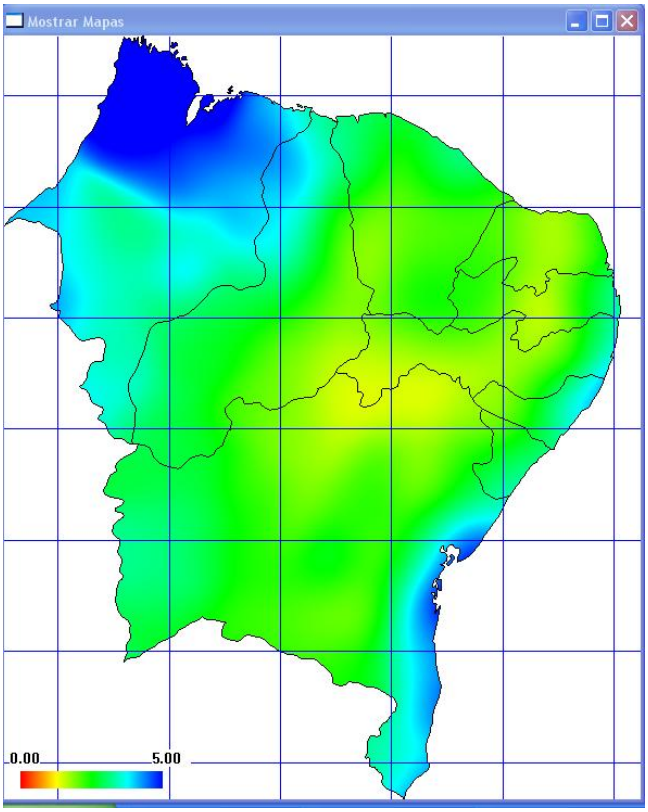


Figura 4: Interpolação dos dados de Precipitação Pluviométrica média diária na Região Nordeste do Brasil no período de 1904 a 1998

Através da Figura 4, percebe-se que há uma grande área sobre o estado do Maranhão onde a quantidade de precipitação se destaca das demais áreas, seguido pela costa leste da Bahia. E, como era de se esperar, verifica-se o baixo nível de precipitação sobre a região semiárida do Nordeste.

A média diária de chuva sobre o Nordeste para o período de 1904 a 1998, obtida por meio de interpolação, foi de 2,83mm com desvio padrão de 0,97mm.

Também foi analisada a quantidade de precipitação acumulada em cada ano, exceto

nos anos de 1904 a 1909, por apresentarem pouquíssimas informações. O cálculo foi realizado multiplicando a média diária anual por 365, que corresponde ao número de dias do ano.

A Tabela 4 apresenta a quantidade de precipitação acumulada anualmente, em milímetro, no período de 1910 até 1998, com base na interpolação dos dados observacionais.

Tabela 4: Precipitação Acumulada Anual(mm) da Região Nordeste

Ano	**Precipitação**	**Ano**	**Precipitação**	**Ano**	**Precipitação**	**Ano**	**Precipitação**
1910	648,86	1934	1082,25	1957	1060,29	1980	1049,23
1911	557,57	1935	1138,69	1958	737,26	1981	851,00
1912	1041,16	1936	954,36	1959	781,68	1982	778,33
1913	1041,45	1937	1000,32	1960	1106,02	1983	732,34
1914	976,99	1938	787,23	1961	864,10	1984	987,29
1915	605,46	1939	957,36	1962	898,15	1985	1654,87
1916	1122,26	1940	1192,75	1963	1045,07	1986	1052,04
1917	1208,54	1941	817,71	1964	1351,01	1987	755,40
1918	1071,49	1942	865,82	1965	864,83	1988	1090,80
1920	729,59	1943	866,33	1966	1050,51	1989	1281,62
1921	1129,53	1944	971,92	1967	1182,16	1990	662,15
1922	1157,56	1945	1059,67	1968	1110,51	1991	851,36
1923	957,50	1946	799,64	1969	1058,21	1992	680,10
1924	1680,93	1947	1250,71	1970	913,16	1993	333,24
1925	1043,79	1948	973,35	1971	1007,84	1994	839,03
1926	1299,43	1949	947,61	1972	938,85	1995	984,37
1927	985,68	1950	1038,94	1973	1117,97	1996	684,63
1928	855,45	1951	684,85	1974	1474,86	1997	933,27
1929	1146,03	1952	903,45	1975	1112,78	1998	593,05
1930	903,59	1953	684,85	1976	851,11	-	
1931	865,74	1954	807,45	1977	1135,66	-	
1932	611,78	1955	902,75	1978	1140,77	-	
1933	1052,91	1956	895,13	1979	957,72	-	

A média de precipitação acumulada anual para o período estudado é de 962,9064 mm, com desvio padrão de 222,5017 mm. Observa-se que alguns anos apresentam precipitação acumulada muito inferior, e outros, muito superior ao da média. A grande oscilação entre a quantidade de chuva sobre a região Nordeste deve-se à incidência de fenômenos meteorológicos a climáticos atuantes sobre a região.

A Figura 5 apresenta o histograma da precipitação anual acumulada para o Nordeste desde 1910 até 1998.

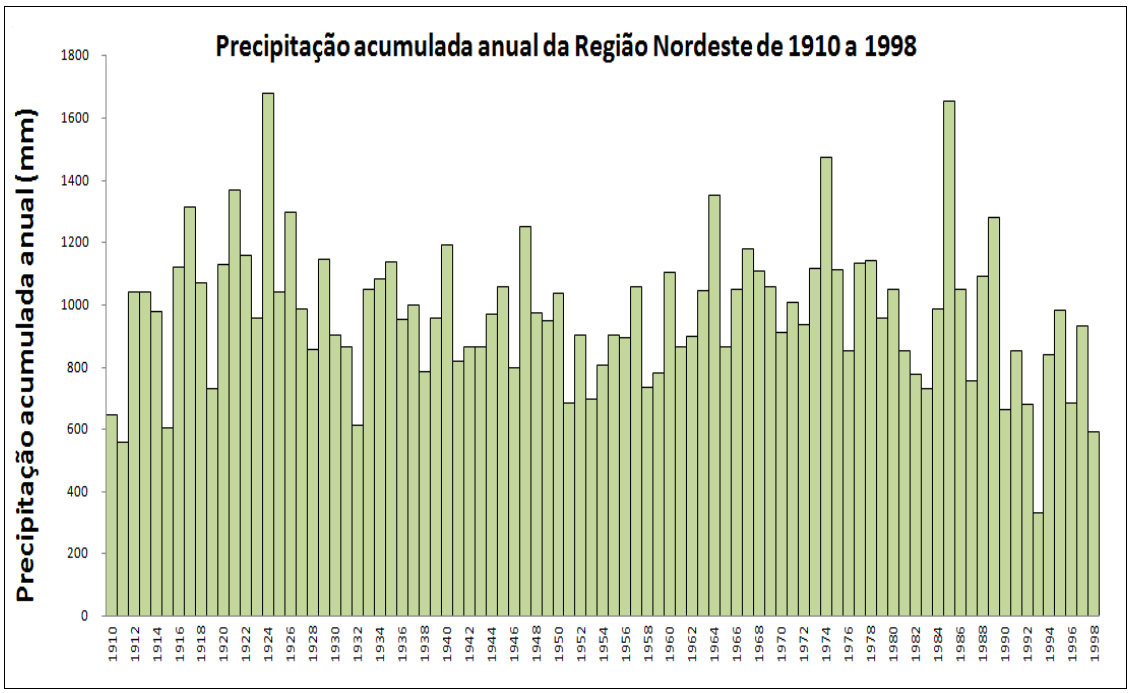


Figura 5: Precipitação Acumulada Anual para os períodos de 1910 a 1998 no Nordeste

Através da Figura 5, percebe-se que o comportamento dos dados não segue nenhum padrão específico ao longo dos anos.

Com base na precipitação acumulada de cada ano é possível classificar os anos considerados muito seco (MS), seco (S), normal (N), chuvoso (C) e muito chuvoso (MC), agrupando as precipitações acumuladas em percentis de 20% cada uma, de acordo com (ALVES; REPELLI, 1992).

O intervalo de precipitação anual acumulada, de acordo com os dados analisados na Tabela 4, variou entre 333,24 mm a 1680,93 mm, por esta razão, os limites escolhidos foram 300 mm e 1700 mm. Assim, será considerado um ano muito seco aquele cuja precipitação acumulada foi inferior a 580 mm, seco, aquele cuja precipitação acumulada anual variou entre 580 mm e 860 mm, normal, aquele que a precipitação acumulada anual variou entre 860 e 1140 mm, chuvoso, aquele que a precipitação acumulada anual variou entre 1140 mm e 1420 mm, e muito chuvoso aquele ano cuja precipitação acumulada anual foi superior a 1420 mm.

A classificação de cada ano analisado, de acordo com o critério de classificação, encontra-se na Tabela 5.

Tabela 5: Classificação dos anos em relação à Precipitação Acumulada Anual

Precipitação Anual Acumulada	**Classificação**	**Anos**
$300mm \leq Prec. < 580mm$	Muito seco (MS)	1911, 1993
$580mm \leq Prec. < 860mm$	Seco (S)	1910, 1915, 1919, 1932, 1938, 1941, 1946, 1951, 1953, 1954 1958, 1959, 1976, 1981, 1982 1983, 1990, 1991, 1992,1994 1996, 1998
$860mm \leq Prec. < 1140mm$	Normal (N)	1914, 1918, 1920, 1923, 1925, 1927, 1928, 1930, 1933, 1934, 1935, 1936, 1937, 1939, 1942, 1943, 1944, 1945, 1948, 1949, 1950, 1952, 1955, 1956, 1957, 1960, 1961, 1962, 1963, 1965, 1966, 1968, 1969, 1970, 1971, 1972, 1973, 1975, 1977, 1979, 1980, 1984, 1986, 1987, 1988, 1997
$1140mm \leq Prec. < 1420mm$	Chuvoso (C)	1912, 1913, 1916, 1917, 1921, 1922, 1926, 1929, 1940, 1947, 1964, 1967, 1978, 1989
$1420mm \leq Prec. < 1700mm$	Muito chuvoso (MC)	1924, 1974, 1985

Com base nos resultados da Tabela 5, podemos ressaltar os anos de 1911 e 1993 como sendo os anos mais secos dentro do período observado e 1924, 1974 e 1985, por apresentarem, os maiores índices de precipitação anual acumulado.

Para investigar se há diferenças significativas ao longo do tempo, pode-se analisar o comportamento do fenômeno em intervalos. Para tal propósito, foram escolhidos três intervalos, cada um com amplitude de 30 anos.

A Tabela 6 apresenta a média diária de dados interpolados de chuva sobre o Nordeste nos intervalos escolhidos.

Tabela 6: Precipitação média diária em intervalos de 30 anos sobre o Nordeste do Brasil

Período	**Média de dados interpolados**	**Desvio Padrão**	**CV**
1910-1938	2,8126	0,9780	34,77
1939-1968	2,7927	0,8233	29,48
1969-1998	2,6617	0,8241	30,96

Os resultados da Tabela 6 mostram que nos três períodos o Coeficiente de Variação

apresentou valores baixos em todos os intervalos, por isso, é possível afirmar que os dados parecem ser homogêneos.

A Figura 6 apresenta a interpolação feita para cada período.

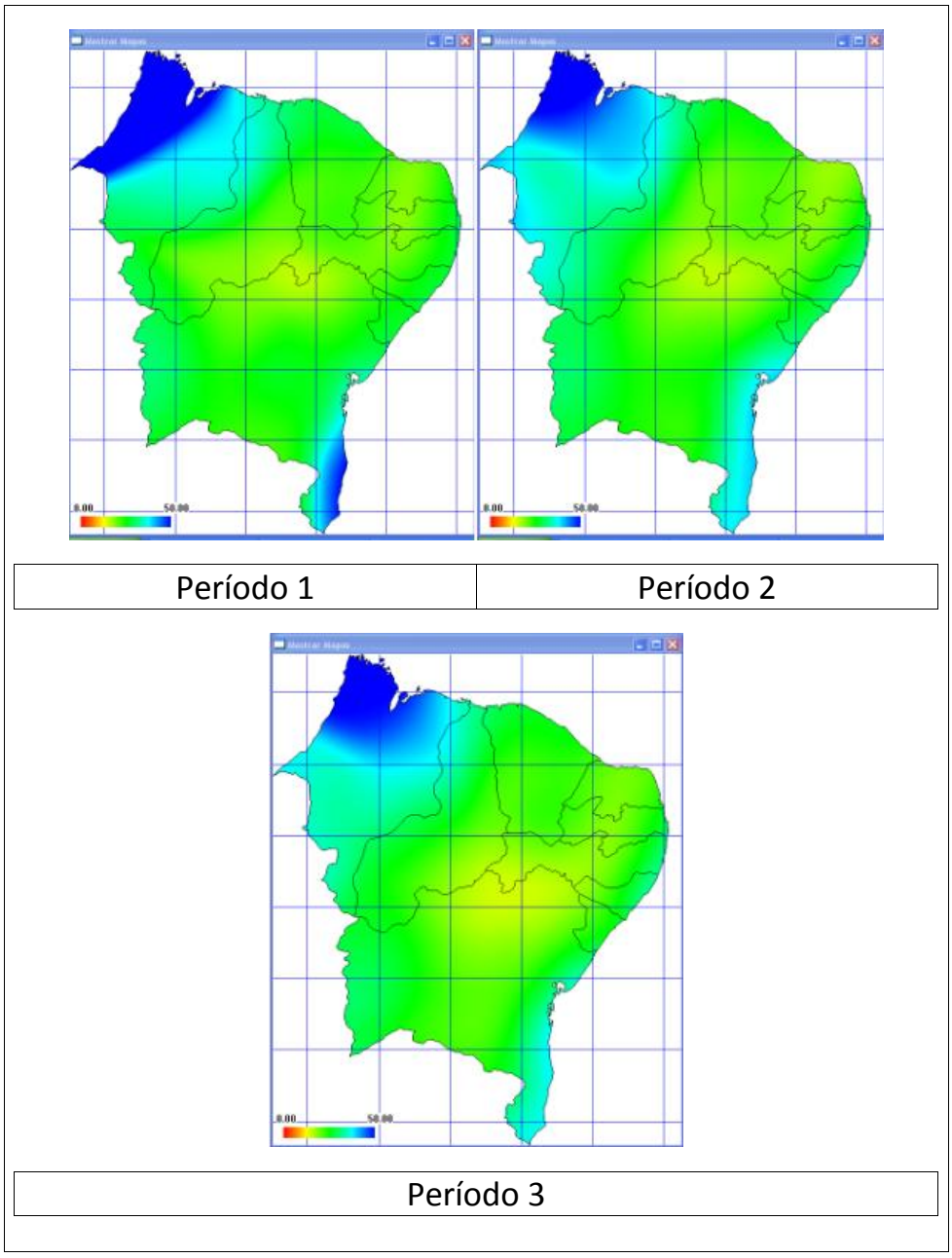


Figura 6: Interpolação dos dados de Precipitação Pluviométrica média diária na Região Nordeste de Brasil no período de 1904 a 1998 em intervalos de 30 anos

É possível perceber, pela Tabela 6, que a quantidade de precipitação veio diminuindo a cada período, mas observando a Figura 6, pode-se pensar que não houve mudança significativa já que as três figuras apresentam comportamento semelhante, com maior concentração de chuva em partes dos estados do Maranhão e Bahia, e menor quantidade sobre a região semiárida do Nordeste.

Através do software também foi possível calcular a precipitação média diária em meses isolados, descartando, do período informado pelo usuário na caixa de entrada, os meses desnecessários. Para realizar esta interpolação, informavam-se, abaixo do período, os meses de interesse. Assim, tornou-se possível calcular a precipitação média diária para cada mês, somando toda a precipitação ocorrida em cada mês, sem interferência dos outros meses.

A estimativa da precipitação média diária em cada mês, durante o período de 1904 a 1998 sobre o Nordeste pode ser observada na Tabela 7.

Tabela 7: Precipitação mensal média diária para o período de 1904 a 1998 no Nordeste do Brasil

Mês	**Média**	**Desvio Padrão**	**CV**
Janeiro	4,0190	1,7601	43,79
Fevereiro	4,9275	2,1994	44,64
Março	5,7832	2,6366	45,59
Abril	4,8373	2,6399	54,57
Maio	2,5229	2,2476	89,09
Junho	1,4898	1,6269	109,21
Julho	1,1583	1,4720	127,08
Agosto	0,6779	0,8942	131,90
Setembro	0,7076	0,6479	91,57
Outubro	1,4008	1,0053	71,77
Novembro	2,7718	1,9117	68,97
Dezembro	3,4013	1,7959	52,80

Com base nos dados fornecidos pelo software para a precipitação diária média de cada mês sobre a Região Nordeste durante todo o período analisado, é possível perceber que nos meses de Janeiro, Fevereiro, Março e Abril concentram uma grande quantidade de chuva, e os meses de Agosto, Setembro e Outubro apresentam menor quantidade de precipitação sobre a região.

A Figura 7 apresenta a precipitação média de cada mês para o período de 1904 a 1998 em todo o Nordeste.

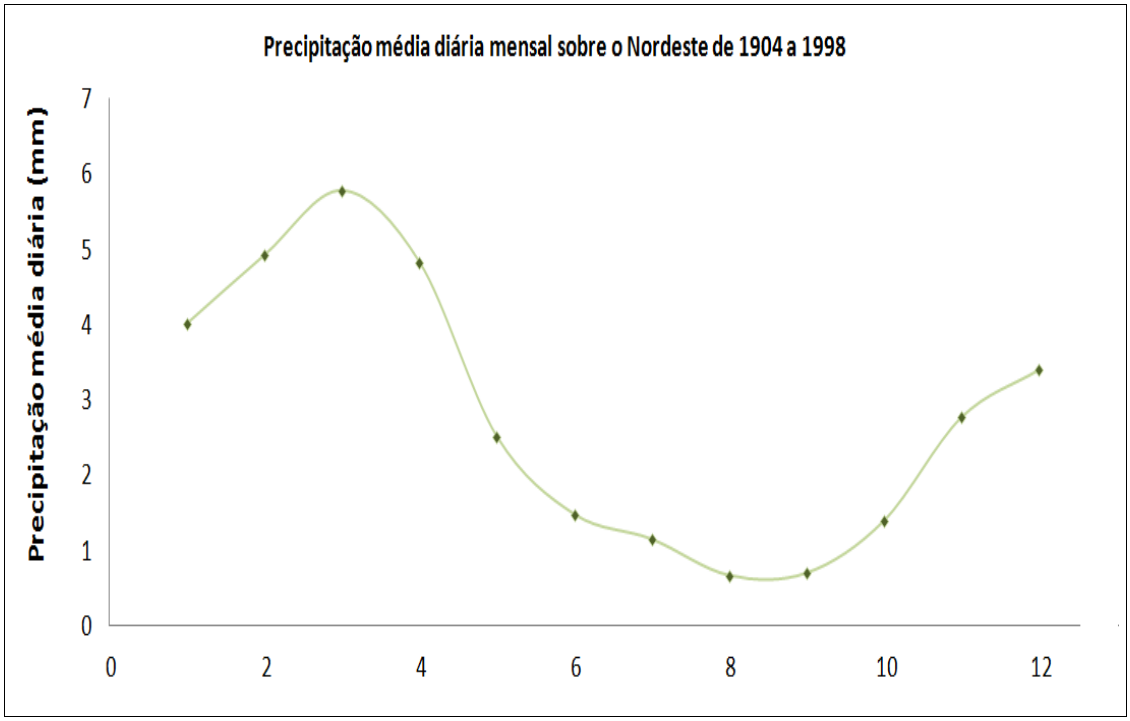


Figura 7: Gráfico de dispersão da precipitação média diária mensal sobre o Nordeste no período de 1904 a 1998

Com o auxílio da Figura 7, é possível verificar que a precipitação média diária em cada mês se comporta se forma sistemática, havendo fases onde há maior concentração de chuva sobre o Nordeste, e fases onde há menor quantidade de chuva.

Poderíamos dizer que de Setembro a Março, a tendência da precipitação sobre o Nordeste é aumentar, enquanto que, de Abril até Agosto, a tendência da quantidade de chuvas sobre a região é diminuir. Sendo os pontos de inflexão nos meses de Março e Agosto. Este comportamento pode ser consequência de fenômenos meteorológicos que atuam sobre o Nordeste do Brasil em épocas específicas do ano.

A Figura 8 apresenta a interpolação espacial da precipitação sobre a região Nordeste de janeiro a dezembro desde 1904 até 1998, para cada mês do ano.

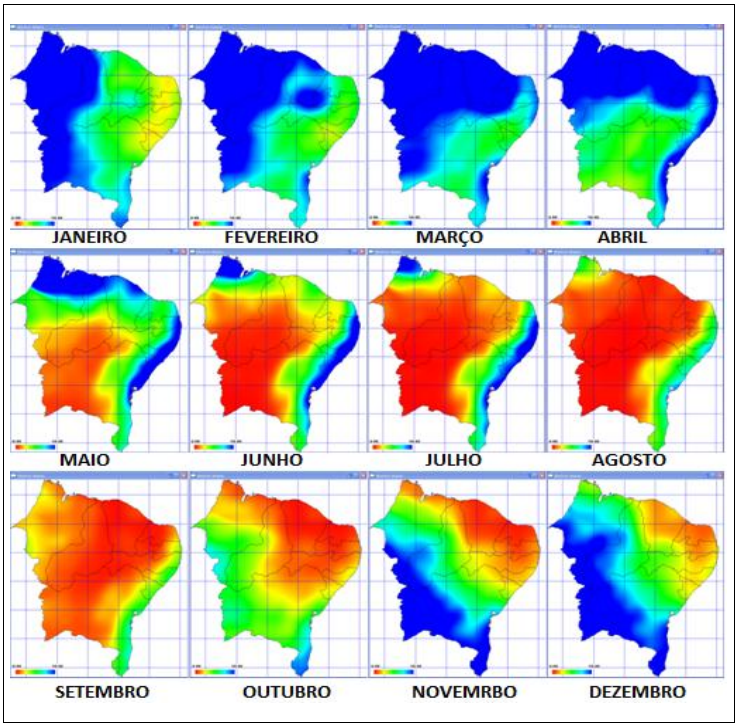


Figura 8: Interpolação dos dados de Precipitação Pluviométrica mensal na Região Nordeste de Brasil no período de 1904 a 1998

Através da Figura 8, observa-se que a distribuição espacial das chuvas não é uniforme sobre o Nordeste, apresentando meses onde a chuva se concentra em áreas específicas.

De acordo com Meneghetti e Ferreira (2009), o Nordeste possui três regimes de chuva distintos: na parte norte, chove mais entre março e maio, no sul e sudeste, a chuva ocorre de dezembro a fevereiro, e no leste, chove entre maio e julho.

A Tabela 8 apresenta a quantidade de chuva registrada em cada período sazonal, com exceção do ultimo intervalo, que não corresponde a nenhum período chuvoso.

Tabela 8: Precipitação sazonal para o período de 1904 a 1998 no Nordeste do Brasil

Mês	**Média**	**Desvio Padrão**	**CV**
Dezembro, Janeiro, Fevereiro	4,2528	1,9073	44,85
Março, Abril, Maio	4,3887	2,3415	53,35
Junho, Julho, Agosto	1,1066	1,3066	118,07
Setembro, Outubro, Novembro	1,6064	1,0040	62,50

Dentre os períodos analisados, é possível destacar os dois primeiros períodos, onde a

precipitação média diária foi superior ao restante dos períodos verificados. Para visualizar a distribuição espacial da precipitação pluvial durante os períodos estudados, observe a Figura 9.

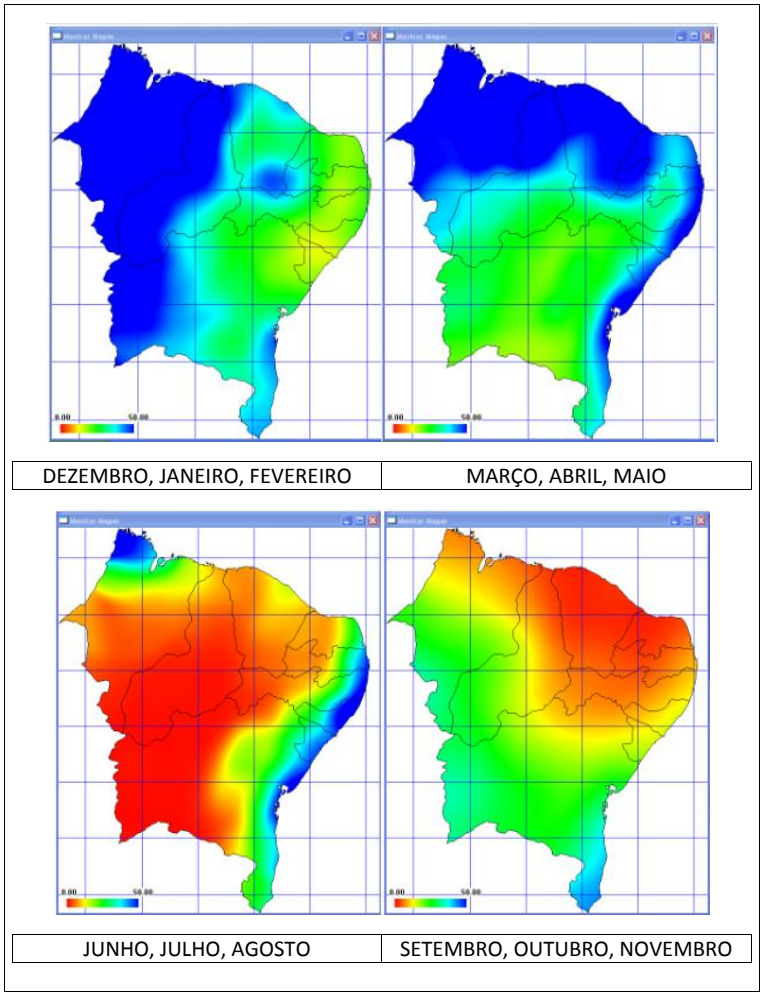


Figura 9: Interpolação dos dados de precipitação pluviométrica média diária na Região Nordeste de Brasil no período de 1904 a 1998 em cada estação chuvosa local

Pelo que foi observado na Figura 9, em cada época analisada ao longo dos anos estudados, há uma concentração maior de chuva em determinadas regiões ao longo dos meses, tornando o tempo de inverno diferente em cada localidade.

A precipitação pluvial sobre a Região Nordeste também sofre influências de alguns fenômenos climáticos.

Para analisar a distribuição da chuva sobre épocas de El Niño e La Niña, foram feitas

interpolações dos dados de chuva registrados nos períodos indicados por Trenberth (1997), como sendo períodos de incidências de tais fenômenos.

A Tabela 9 apresenta a precipitação média diária , em milímetros, dos períodos de El Niño, lembrando que os períodos citados correspondem a eventos fracos, moderados e fortes.

Tabela 9: Precipitação média diária durante os períodos de El Niño sobre o Nordeste

Período	**Intensidade**	**Média**	**Desvio Padrão**
Ago/1951 a Fev/1952	Fraca	1,5734	0,7011
Mar/1953 a Nov/1953	Fraca	1,7442	0,7249
Abr/1957 a Jun/1958	Fraca	2,8164	0,8965
Jun/1963 a Fev/1964	Fraca	3,2215	0,9852
Mai/1965 a Jun/1966	Moderada	2,4088	0,7783
Set/1968 a Mar/1970	Fraca	3,1080	0,8856
Abr/1972 a Mar/1973	Moderada	2,7242	0,8872
Ago/1976 a Mar/1977	Moderada	2,9293	0,9824
Jul/1977 a Jan/1978	Fraca	2,2235	0,9350
Out/1979 a Abr/1980	Fraca	4,6741	1,6333
Abr/1982 a Jul/1983	Forte	1,8691	0,1297
Ago/1986 a fev/1988	Forte	2,1284	0,7647
Mar/1991 a Jul/1992	Moderada	2,1857	1,1047
fev/1993 a Set/1993	Moderada	0,6052	0,3638
Jun/1994 a Mar/1995	Moderada	2,0045	1,0152
Abr/1997 a Abr/1998	Moderada	2,3961	1,4146

De acordo com a Tabela 9, é possível verificar que os períodos de Fevereiro de 1993 a Setembro de 1993, e Outubro de 1979 e Abril de 1980 apresentaram, respectivamente, o menor e o maior índice pluviométrico registrado, com 0,8564 mm e 4,6741mm.

Com este resultado é possível imaginar que em algumas épocas de El Niño a quantidade média diária de chuva que cai sobre a Região Nordeste não é muito afetada por tal fenômeno, ou até mesmo, algumas áreas sejam castigadas pela estiagem e outras não sofram com este problema, já em outros períodos, como o período de Fevereiro de 1993 a Setembro de 1993, imagina-se que toda a região Nordeste é prejudicada.

A Figura 10 apresenta a distribuição espacial da chuva sobre cada período analisado.

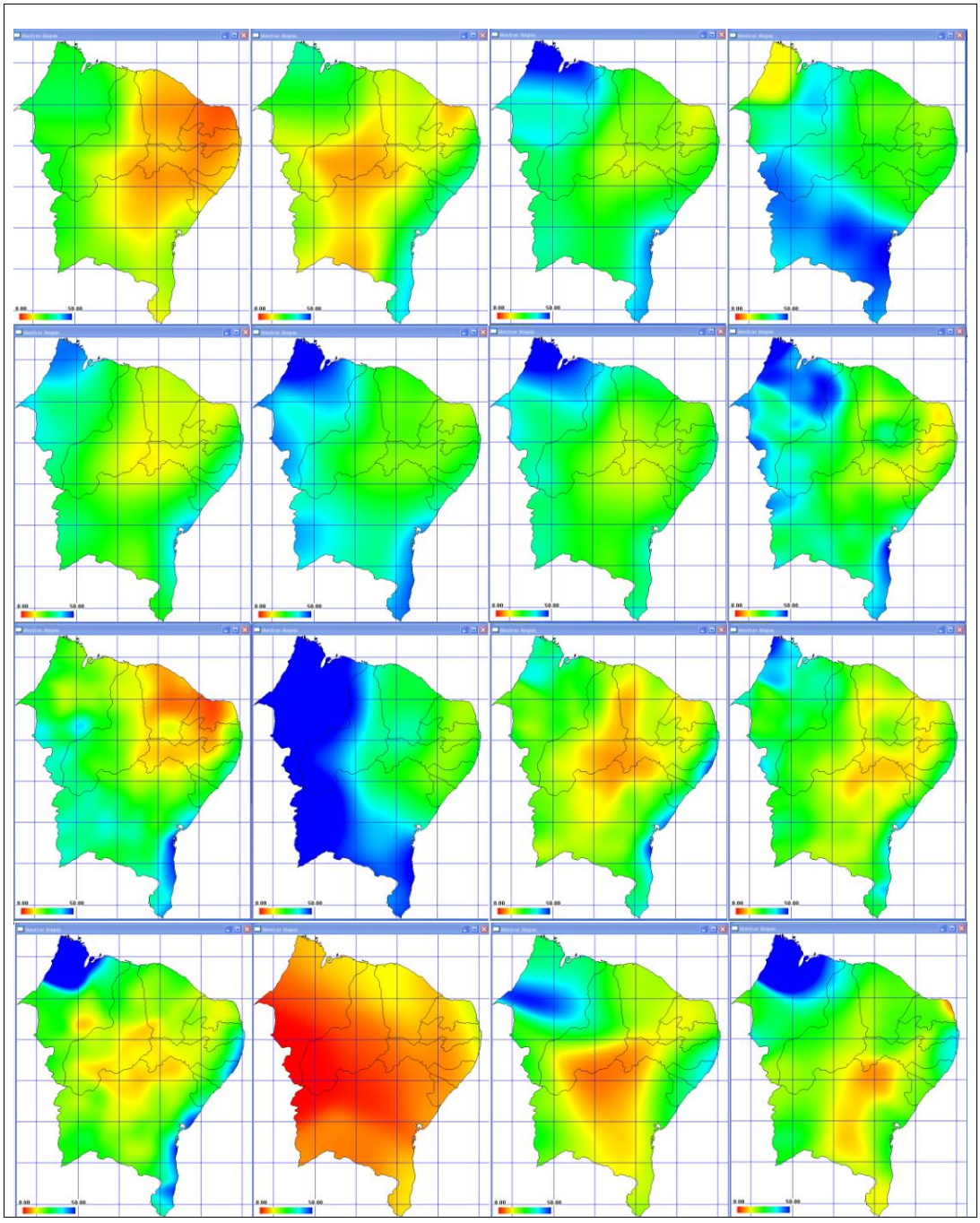


Figura 10: Períodos de El Niño sobre Nordeste em relação à precipitação diária média

Com o auxílio da interpolação espacial dos dados de chuva sobre o Nordeste realizados pelo Kernel Smoothing é possível analisar a distribuição espacial da precipitação pluvial nos períodos de El Niño, onde verifica-se que alguns períodos parecem não sofrer influências no seu regime de chuva, como é o caso do período de Outubro de 1979 a Abril de 1980, e outros onde nota-se algumas áreas "avermelhadas" no mapa, dos quais percebemos que o período de Fevereiro de 1993 a Setembro de 1993 apresentou maior déficit pluviométrico.

A Figura 11 apresenta o gráfico da média diária de precipitação, em milímetros, nos 16 períodos de atuação do El Niño sobre a região Nordeste.

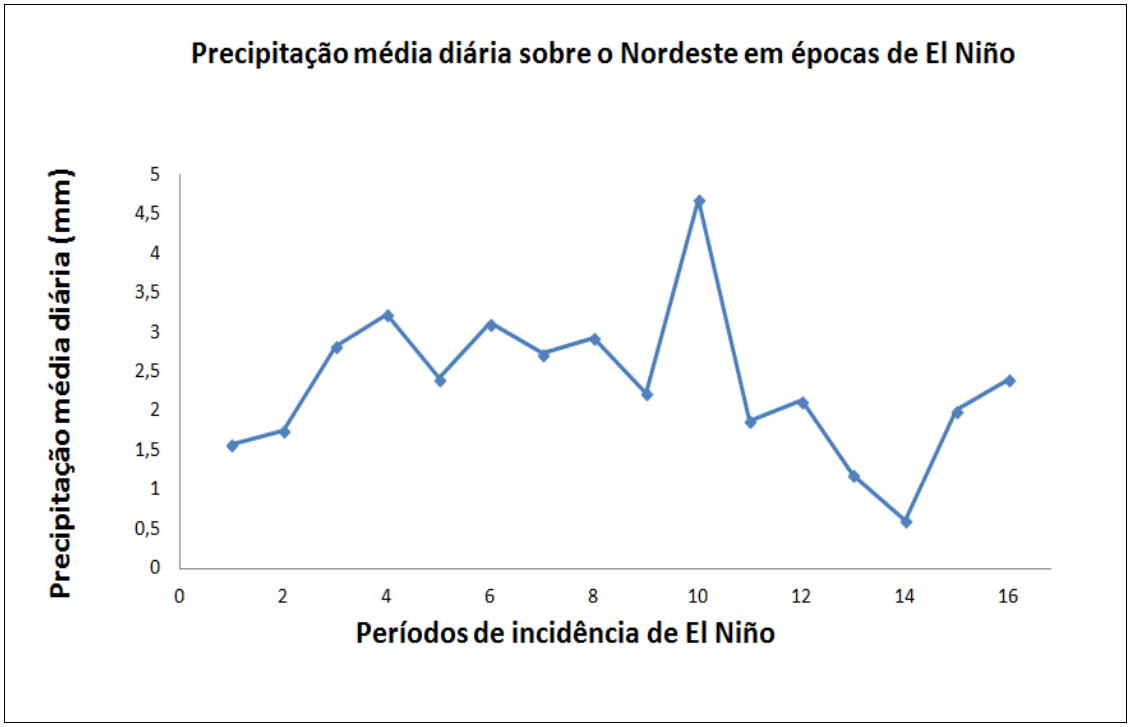


Figura 11: Gráfico da precipitação média diária nos períodos de El Niño sobre o Nordeste

Pela Figura 11 pode-se verificar que durante as ocorrências de El Niño sobre o Nordeste, a precipitação diária média se comporta aparentemente semelhante, salve casos isolados mencionados anteriormente.

É possível construir um intervalo de confiança para a precipitação média diária sobre a Região Nordeste em épocas de El Niño com base nas informações extraídas do software

utilizado. Para isso iremos utilizar a seguinte fórmula:

$$IC_{(\mu_E)} = \left[\bar{x}_E \pm t_{(\alpha,n-1)}\frac{S_E}{\sqrt{n_E}}\right]$$

onde μ_E é a média das precipitações médias diárias em épocas de El Niño, $\bar{x}_E$ é a estimativa da média das precipitações médias diárias em épocas de El Niño, $t_{(\alpha,n-1)}$ é o quantil da distribuição *t* (utilizado, neste caso, ao nível de significância de 5%, com 15 graus de liberdade), S_E é o desvio padrão das precipitações médias e n_E é o número de períodos de El Niño.

A média das precipitações médias diárias obtidas através do software foi de 2,4133 mm e desvio padrão de 0,888 mm; O valor do quantil da distribuição *t* utilizado neste cálculo foi 2,13145; o número de observações correspondem ao número de eventos de El Niño, que neste caso foi 16.

Desse modo, podemos afirmar, com 99% de confiança que a média de precipitação diária no período de El Niño pode pertencer ao intervalo $[1,7591; 3,0667]$, com base nas informações extraídas da amostra.

Outro fenômeno que também influencia o regime de chuvas sobre o Nordeste é o La Niña, por isto, a quantidade de precipitação coletada em sua época de atuação foi investigada. A Tabela 10 apresenta a média diária de precipitação sobre períodos de atuação do La Niña na região Nordeste, de acordo com (TRENBERTH, 1997).

Tabela 10: Precipitação média diária durante os períodos de La Niña sobre o Nordeste

Período	**Intensidade**	**Média**	**Desvio Padrão**
Mar/1950 a Fev/1951	Forte	2,4523	0,9390
Jun/1954 a Mar/1956	Forte	2,2771	0,7252
Maio/1956 a Nov/1956	Forte	1,4478	0,9653
Mai/1964 a Jan/1965	Moderado	2,2431	0,9510
Jul/1970 a Jan/1972	Moderado	2,4642	0,8348
Jun/1973 a Jun/1974	Forte	3,9034	1,3409
Set/1974 a Abr/1976	Forte	2,9706	1,0157
Set/1984 a Jun/1985	Forte	4,4357	1,6841
Mai/1988 a Jun/1989	Forte	2,5857	1,0102

A partir da Figura 12, é possível visualizar a interpolação dos dados de precipitação para a região Nordeste durante os período de La Niña.

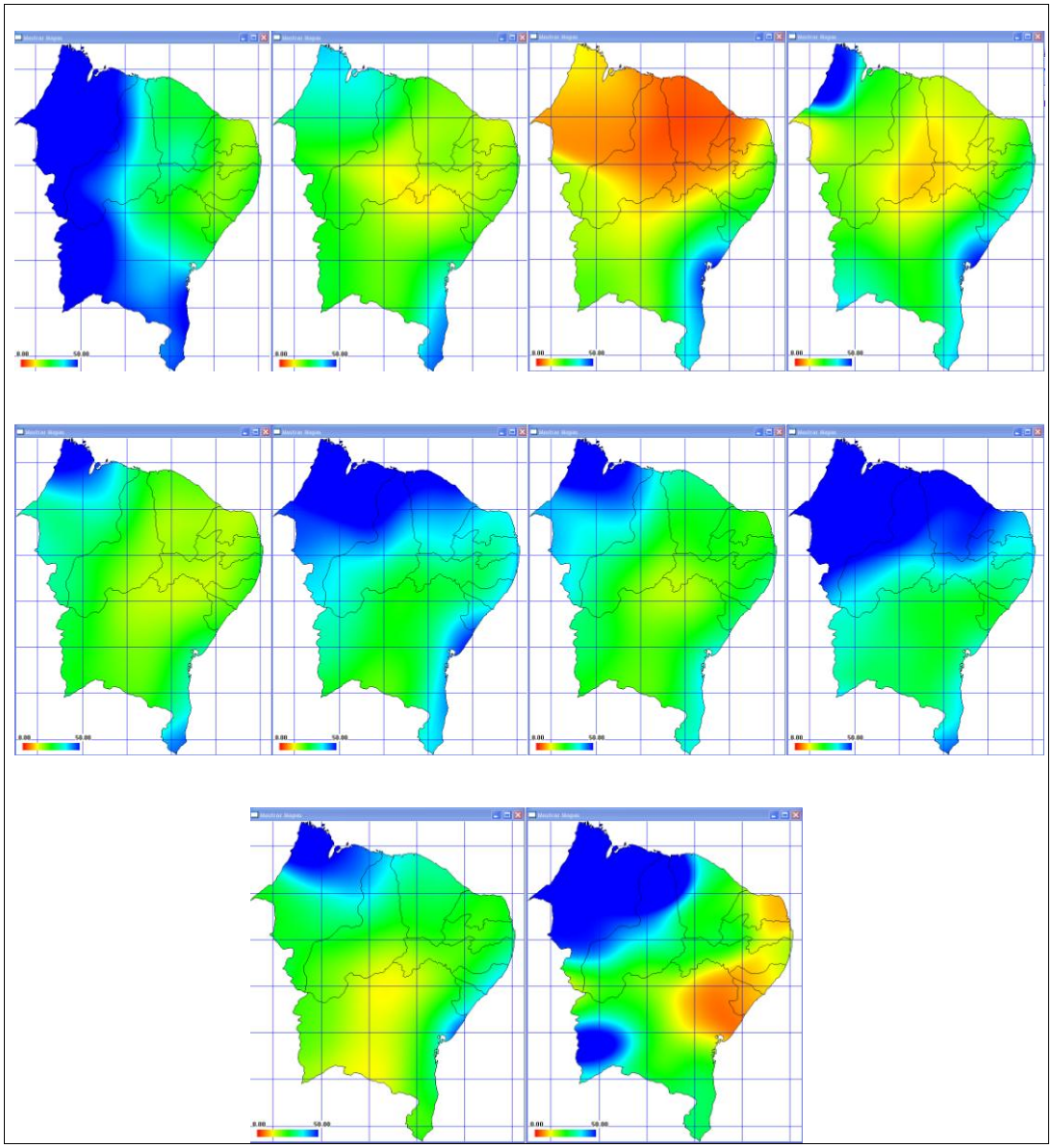


Figura 12: Precipitação média diária durante os períodos de La Niña sobre o Nordeste

Com a ajuda da Figura 12 verifica-se que alguns períodos apresentam características de pouca chuva, como no período de Maio de 1956 a Novembro 1956, mas a maioria dá indícios de dias bastantes chuvosos.

Na Figura 13 é possível ver o comportamento das médias diárias de chuva em cada período informado na Tabela 10.

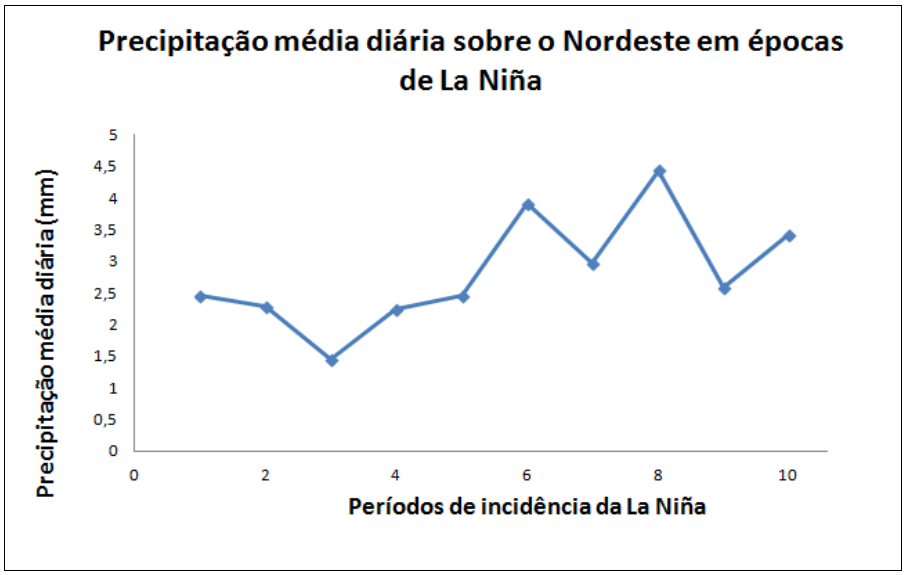


Figura 13: Gráfico da precipitação média diária nos períodos de La Niña sobre o Nordeste versus Precipitação média diária

Aparentemente as médias diárias de chuva aumentaram a partir do sexto período de La Niña, mas parece não seguir um padrão.

Da mesma forma que foi feito para estimar um intervalo de confiança para a precipitação média de períodos de El Niño, é possível construir um intervalo de confiança para a precipitação média diária sobre a Região Nordeste em épocas de La Niña. Para isso iremos utilizar a seguinte fórmula:

$$IC_{(\mu_L)} = \left[\bar{x}_L \pm t_{(\alpha,n-1)} \frac{S_L}{\sqrt{n_L}}\right]$$

onde μ_L é a média das precipitações médias diárias em épocas de La Niña, $\bar{x}_L$ é a estimativa da média das precipitações médias diárias em épocas de La Niña, $t_{(\alpha,n-1)}$ é o quantil da distribuição *t* (utilizado, neste caso, ao nível de significância de 5%, com 9 graus de

liberdade), S_L é o desvio padrão das precipitações médias e n_L é o número de períodos de El Niño.

A média das precipitações médias diárias obtidas através do software foi de 2,8821 mm, com desvio padrão de 3,067 mm; O valor do quantil da distribuição *t* utilizado neste cálculo foi 2,262157; o número de observações correspondem ao número de eventos de La Niña, que neste caso foi 9.

Desse modo, podemos afirmar, com 99% de confiança que a média de precipitação diária no período de La Niña pode estar contido no intervalo $[1,1914; 3,7273]$, com base nas informações extraídas da amostra.

É possível imaginar que durante a atuação de eventos de El Niño e La Niña a quantidade de precipitação pluvial sobre o Nordeste seja diferente. Em épocas de El Niño, espera-se que a quantidade de chuva sobre a Região seja pouca, enquanto que, em épocas de La Niña, espera-se que a chuva venha sobre o Nordeste com maior abundância.

Para verificar se há diferença significativa entre as médias de precipitação diárias ocorridas em El Niño e La Niña, será construído um intervalo de confiança para a diferença de médias, dada pela fórmula:

$$IC_{(\mu_E-\mu_L)} = \left[\bar{x}_E - \bar{x}_L \pm t_{(\alpha,n_E+n_L-2)}\sqrt{\frac{S_E^2}{n_E}+\frac{S_L^2}{n_L}}\right]$$

onde $\mu_E-\mu_L$ é a diferença das médias da precipitação média diária em épocas de El Niño e La Niña, respectivamente; $\bar{x}_E - \bar{x}$ é a diferença das estimativa das médias da precipitação média diária em épocas de El Niño e La Niña; $t_{(\alpha,n_E+n_L-2)}$ é o quantil da distribuição *t* (utilizada neste caso ao nível de 5% de significância, com 24 graus de liberdade); S_E^2 S_E^2 são as variâncias dos períodos de El Niño e La Niña e n_E e n_L são o tamanho das amostras.

O intervalo obtido para a diferença de médias foi $[-1,1444; 0,3295]$. Com este resultado, não podemos afirmar que há diferença significativa entre as médias diárias de chuva entre El Niño e La Niña, pois ao nível de 95% de confiança, o intervalo para a diferença de médias, pois o "zero" está contido neste intervalo. Ou seja, não podemos afirmar estatisticamente que em épocas de El Niño chovem menos do que em épocas de La Niña. Este resultado pode ser a consequência de El Niño e la Niña não terem uma influencia homogênea sobre todo o Nordeste, já que o regime de chuvas é sazonal. É possível que tais fenômenos influenciem em algumas áreas isoladamente.

Outro fenômeno que influencia o regime de chuvas no Nordeste, de acordo com (PAULA,

2009), é a Oscilação Decadal do Pacífico. Os períodos de atuação de tal fenômeno, descritos por (MANTUA et al., 1997 apud MOLION, 2003), foram analisadas. O resultado para cada período encontra-se na Tabela 11.

Tabela 11: Precipitação versus Oscilação Decadal do Pacífico sobre no Nordeste do Brasil

Fase	**Período**	**Média**	**Desvio Padrão**	**CV**
Fria	1910-1924	3,0001	0,9768	32,55
Quente	1925-1946	2,6952	0,9662	35,85
Fria	1947-1976	2,8669	0,9189	32,05
Quente	1977-1998	2,7292	0,8311	30,45

Aparentemente não há muita diferença entre a média diária da precipitação entre as fases quentes e frias.

A Figura 14 apresenta o resultado da interpolação das fases frias e quentes da Oscilação Decadal em relação à quantidade de precipitação no Nordeste.

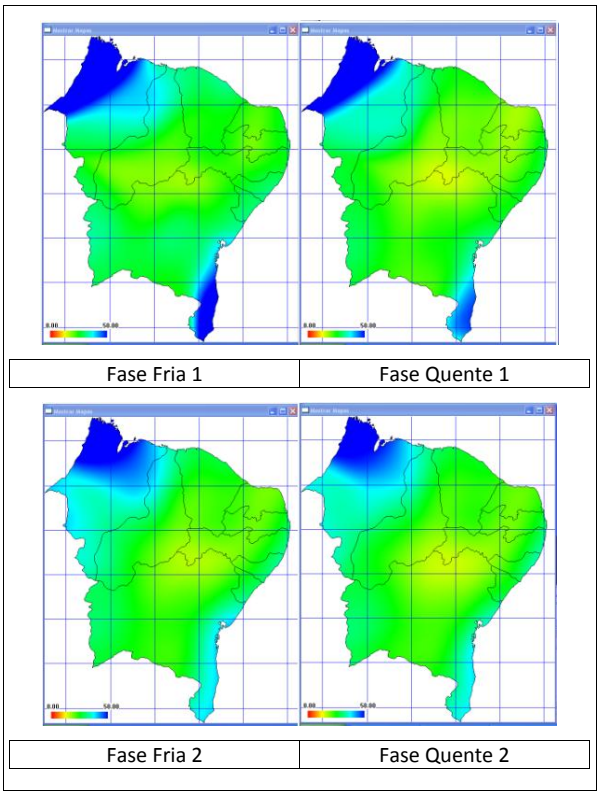


Figura 14: Interpolação dos dados de Precipitação Pluviométrica na Região Nordeste de Brasil no período de 1904 a 1998 nas fase de Oscilação Decadal do Pacífico

Observando a Figura 14 é possível perceber que durante a primeira fase fria e a primeira fase quente o comportamento é aproximadamente semelhante, havendo uma leve diminuição da precipitação sobre uma parte do Maranhão e da Bahia, além de uma pequena parte do semiárido. Na segunda fase quente e segunda fase fria também não há muita diferença. Entretanto, a diferença entre a primeira fase fria e a segunda fase fria, bem como da primeira fase quente para a segunda fase quente é nítida. Ao que tudo indica, a quantidade de precipitação média diária veio diminuindo gradativamente.

5 Conclusões

A Região Nordeste possui grande diversidade climatológica. A precipitação pluviométrica sobre esta Região apresenta características peculiares, sendo motivo de estudo por muitos pesquisadores.

Neste trabalho, o comportamento da distribuição espacial e temporal da chuva sobre o Nordeste foi analisado com base nos dados de precipitação pluvial que fazem parte da antiga SUDENE () e são gerenciados pela Agência Pernambucana de Águas e Clima (APAC). O banco de dados continham informações referentes a quantidade de precipitação, em milímetros, coletados a partir de 2.283 estações meteorológicas convencionais, bem como a localização geográfica de cada estação, espalhadas em pontos do Nordeste, entre os anos de 1904 a 1998, correspondendo a mais de 26 milhões de observações.

A técnica matemática/computacional utilizada para fazer a interpolação destes dados foi Kernel Smoothing que, através da estatística não paramétrica, utilizando a função de kernel Gaussiana, possibilitou fazer a estimativa de toda a área do Nordeste com base em dados de precipitação diários provenientes das estações meteorológicas.

Através do software "Kernel" foi possível selecionar o intervalo de tempo desejado e obter a média e o desvio padrão espacial dos dados referentes ao período analisado, bem como visualizar o resultado obtido da interpolação dos dados, gerando um mapa de precipitação diária média para o período desejado.

Primeiramente foi feita a interpolação de todas as observações, desde 1094 a 1998, gerando um mapa espacial que possibilitou a visualização da precipitação pluvial média diária sobre todo o Nordeste, revelando que as áreas onde a chuva é mais abundante correspondem ao norte do Estado do Maranhão e à costa leste da Bahia, e a área de menor precipitação pertence ao semiárido nordestino, sobretudo na fronteira da Bahia e Pernambuco.

Foi feita também uma investigação sobre a precipitação acumulada anual para os anos de 1910 a 1998. Os resultados obtidos permitiram, através do cálculo de quantis de 20%,

classificar os anos de 1911 e 1993, como anos muito secos, e 1924, 1974 e 1985, como anos muito chuvosos.

Para analisar se houve mudança no comportamento da precipitação pluvial ao longo do tempo, foi feita a interpolação dos dados de chuva divididos em três períodos de 30 anos cada. A partir das interpolações feitas, concluiu-se que a quantidade de precipitação pluvial média diária veio decaindo suavemente a cada período, porém, manteve as mesmas características espaciais, concentrando-se em maior quantidade sobre grande parte do Maranhão e em menor quantidade sobre o semiárido.

Com o auxílio do software, a precipitação pluvial média diária mensal foi analisada, possibilitando verificar que as épocas de maior volume de precipitação estão compreendidas entre os meses de Dezembro a Fevereiro, e os de meses mais secos são Setembro, Outubro e Novembro. Os mapas da precipitação média diária mensal permitiu analisar as características da distribuição espacial pluviométrica em cada mês, revelando a movimentação das áreas de concentração de chuva sobre o Nordeste.

Também foram analisados os períodos onde o regime de chuva ocorre de forma sazonal, correspondentes aos trimestres: Dezembro, Janeiro e Fevereiro; Março, Abril e Maio; Junho, Julho e Agosto. Da interpolação dos dados de precipitação pluvial referentes a estes períodos e com o auxílio dos mapas gerados, foi possível detectar que de Dezembro a Fevereiro, a chuva concentra-se na parte Oeste do Nordeste, de Março a Maio, a chuva predomina sobre a região norte, de Junho a Agosto, a chuva concentra-se em uma pequena parte do Estado do Maranhão e sobre a costa leste do litoral, sendo o restante do Nordeste bastante seco.

As épocas de incidência de El Niño e La Niña também foram investigadas. Através dos mapas gerados, foi possível verificar que a precipitação pluvial média diária durante os períodos não seguem um comportamento padrão. Através da construção do intervalo de confiança para diferença de médias foi visto que não se pode afirmar que em épocas de La Niña há predomínio de chuva no Nordeste, ou em épocas de El Niño há presença de estiagem.

Com base nos mapas gerados, foi possível verificar que em alguns períodos de El Niño a precipitação pluviométrica não sofreu alteração aparente, porém, a maioria dos períodos apresentou regiões secas, sendo o período de Fevereiro de 1993 a Setembro de 1993 o mais castigado pelo baixo índice pluviométrico. Já os períodos de La Niña apresentaram algumas regiões secas, mais em sua maioria, houve áreas de grande concentração de chuva, destacando-se o período de Setembro de 1984 a Junho de 1985.

A Oscilação Decadal do Pacífico também foi analizado neste trabalho, revelando que aparentemente não há muita diferença entre a precipitação pluviométrica média diária entre as fases quentes e frias.

Este trabalho representa o início de uma série de estudos referentes ao comportamento da precipitação pluvial sobre o Nordeste do Brasil com uma massa de dados gigantesca. Certamente esse banco de dados não poderia ser processado se fosse utilizada a tecnologia convencional das CPU'S. O software "Kernel"possibilitou fazer as interpolações a partir do código escrito em linguagem C e CUDA, utilizando o GPU cluster "Neumann"do Departamento de Estatística e Informática da UFRPE.

Futuramente outros estudos poderão ser feitos a partir do banco de dados analisados. Outros interpoladores poderão ser comparados para verificar qual consegue explicar de forma mais precisa o comportamento da precipitação pluvial sobre o Nordeste. Este estudo provavelmente servirá de apoio para que as autoridades competentes aproveitem melhor a diversidade climatológica nordestina.

Referências

ALI, A. Nonparametric spatial rainfall characterization using adaptive kernel estimador. **Journal of Geographic Information and decision Analysis**, v. 2, n. 2, p. 34–43, 1998.

ALVES, J. M. B.; REPELLI, C. A. A variabilidade pluviometrica no setor norte do nordeste e os eventos el nino-oscilacao sul (enos). **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 7, n. 2, p. 583–592, 1992.

ANDREOLI, R.; KAYANO, M. Multi-scale variability of the sea surface temperature in the tropical atlantic. **Journal of Geophysical Research**, v. 109, 2004.

ANDREOLI, R. V.; KAYANO, M. T. A importancia relativa do atlantico tropical sul e pacifico leste na variabilidade de precipitacao do nordeste do brasil. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 22, n. 1, p. 63–74, 2007.

APAC. **Agência Pernambucana de água e Clima**. Disponível em: <http://www.apac.pe.gov.br/>.

BERNARDO, S. D. O.; MOLION, L. C. B. Comparacao entre totais de precipitacao observados e os estimados pelas reanalises do cdc/ncep para o litoral do nordeste do brasil. **XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz do Iguaçu-PR**, 2002.

CARITAS-BRASILEIRA. **Agua de chuva - O segredo da convivencia com o Semi-arido brasileiro**. 2. ed. São Paulo, SP, Brasil: [s.n.], 2001.

CARNEIRO, E. O.; SANTOS, R. L. Analise espacial aplicada na determinacao de areas de risco para algumas doencas edemicas (calazar, dengue, diarréia, d.s.t. - doenças sexualmente trasmissíveis e tuberculose), no bairro de campo limpo, feira de santana (ba). **sitientibus**, n. 28, p. 51 –75, Junho 2003.

CHU, P.-S. Diagnostics studies of rainfall anomalies in northeast brazil. **American Meteorological Society**, v. 111, April 1983.

CHUNG, M. K. Heat kernel smoothing on unit sphere. **Department of Statistics, Biostatistics, and Medical Informatics. Waisman laboratory for brain imaging and behavior, University of Wisconsin**, p. 992–995, 2006.

CONTI, J. B. A questao climatica do nordeste brasileiro e os processos de desertificacao. **Revista Brasileira de Climatologia**, v. 1, n. 1, 2005.

CORTES, R. X. Um estudo comparativo de estimadores de regressoes nao-parametricas aditivas: Performance em amostras finitas. **Monografia apresentada para obtenção de grau de graduação em Bacharelado em Estatística - Universidade Federal do Rio Grande do Sul - Instituto de matemática - Departamento de Estatistica**, 2004.

COSTA, C. C. L. da. **Meteorologia**. Julho 2006. Disponível em: <http://pt.scribd.com/doc/66143648/Meteorologia>. Acesso em: 15/02/2012.

COSTA, J. de A. O fenomeno el nino e as secas no nordeste do brasil. **Trabalho apresentado para obtenção do título de Licenciatura Plena em Geografia pela Universidade Federal de Pernambuco**, 2009.

DUONG, T. ks: Kernel density estimation and kernel discriminant analysis for multivariate data in r. **Journal of Statistical Software**, v. 21, n. 7, october 2007.

EPANECHNIKOV, V. A. Non-parametric estimation of a multivariate probability density. theory of probability and its applications. v. 14, n. 1, p. 153–158, 1969.

FERREIRA, A. G. **Meteorologia Pratica**. São Paulo, SP, Brasil: [s.n.], 2006.

FERREIRA, A. G.; MELLO, N. G. da S. Principais sistemas atmosfericos atuantes sobre a regiao nordeste do brasil e a influencia dos oceanos pacifico e atlantico no clima da regiao. **Revista Brasileira de Climatologia,**, v. 1, n. 1, p. 15 – 28, Dezembro 2005.

FERREIRA, M. R. P. Analise discriminante classica e de nucleo: Avaliacoes e algumas contribuicoes relativas aos metodos boosting e bootstrap. **Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Pernambuco, CCEN, Estatística**, 2007.

FREIRE, J. L. M.; LIMA, J. R. A.; CAVALCANTI, E. P. Analise de aspectos meteorologicos sobre o nordeste do brasil em anos de el nino e la nina. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 3, p. 429–444, Setembro 2011.

FREITAS, A. C. V.; FRANCHITO, S. H.; RAO, V. B. Analise dos dados de precipitacao provenientes de diferentes fontes sobre a américa do sul, com enfase no brasil. **CLIMEP - Climatologia e Estudos da Paisagem, Rios Claros, PR, Brasil**, v. 5, n. 1, junho 2010.

FREITAS, A. R. de et al. Aplicacao da tecnica kernel a dados de pesagens de bovinos. **Anais do IV Simpósio Nacional de Melhoramento Animal**, 2002.

GARCIA-PINTADO, J. et al. Rainfall estimation by rain gauge-radar combination: A concurrent multiplicative-additive approach. **Walter Resources Reasearch**, v. 45, p. 1–15, 2009.

GRIMM, A. M.; FERRAZ, S. E. T.; GOMES, J. Precipitation anomalies in southern brazil associated with el niño and la niña events. **American Meteorological Society**, v. 11, p. 2863–2880, November 1998.

HARTKAMP, A. D. et al. Interpolation techniques for climate variables. **CIMMYT Natural Resources Group**, 1999. Disponível em: <http://repository.cimmyt.org/xmlui/bitstream/handle/10883/988/67882.pdf?sequence=1>.

HARTMANN, D. L. **Global Physical Climatology**. Academic press. Seattle, Washington: Departament of Atmospheric Sciences, University of Washington, 1994.

HASTENRATH, S. Prediction of northeast brazil rainfall anomalies. **American Meteorological Society**, v. 3, p. 893–904, August 1990.

HASTENRATH, S.; GREISCHAR, L. Circulation mechanisms related to northeast brazil rainfall anomalies. **JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH**, v. 98, n. D3, p. 5093–5102, November 1993.

IBGE. **INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATiSTICA**. 2012. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/>.

JOU, P. H.; AKHOOND-ALI, A. M.; NAZEMOSADAT, M. J. Nonparametric kernel estimation of annual precipitation over iran. **Theoretical and Applied Climatology**, July 2012.

KALNAY, E. et al. The ncep/ncar 40-year reanalysis project. **Bulletin of the American Meteorogical Society**, p. 437–471, 1996.

KAWAMOTO, M. T. Analise de tecnicas de distribuicao espacial com padroes pontuais e aplicacao a dados de acidentes de transito e a dados de dengue de rio claro-sp. **Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista - Instituto de Biociências de Botucatu**, Fevereiro 2012.

LI, M.; SHAO, Q. An improved statistical approach to merge satellite rainfall estimates and raingauge data. **Journal of Hydrology**, v. 385, p. 51–64, February 2010.

MANTUA, N. et al. A pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, p. 1069–1079, 1997.

MARENGO, J. A. **Caracterizacao do clima no seculo XX e cenarios no Brasil e na america do sul para o seculo XXI derivados dos modelos de clima do IPCC**. [S.l.], 2007.

MATKAN, A. et al. A comparison between kriging, cokriging and geographically weighted regression models for estimating rainfall over north west of iran. **EMS Annual Meeting Abstracts**, v. 7, 2010.

MELLO, C. R. et al. Krigagem e inverso do quadrado da distancia para interpolacao dos parametros da equacao de chuvas intensas. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, v. 27, n. 5, p. 925–933, Oct. 2003.

MENDONCA, F.; DANNI-OLIVEIRA, I. M. **Climatologia: Nocoes Basicas e Climas do Brasil**. São Paulo: [s.n.], 2007.

MENEGHETTI, G. T.; FERREIRA, N. J. Variabilidade sazonal e interanual da precipitacao no nordeste brasileiro. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, INPE**, p. 1685–1689, abril 2009.

MOLION, L. C. B. Aquecimento global, el ninos, manchas solares, vulcoes e oscilacao decadal do pacifico. **Revista Climanalise**, 2003.

MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. de oliveira. Uma revisao da dinamica das chuvas no nordeste brasileiro. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 17, n. 1, p. 1–10, 2002.

NIKOLOVA, N.; VASSILEV, S. Mapping precipitation variability using different interpolation methods. **Proceedings of the Conference on Water Observation and Information System for Decision Support (BALWOIS)**, p. 25–29, May 2006.

NIMER, E. **Climatologia do Brasil**. 2. ed. Rio de Janeiro, RJ, Brasil: [s.n.], 1989.

NOBRE, C. A. et al. Aspectos da climatologia dinamica do brasil. In: **Climanálise: Boletim de Monitoramento e Análise Climática**. Brasília, DF, Brasil: INSTITUTO DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE e INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA - INEMET, 1986.

OLIVEIRA, P. T. S. et al. Spatial variability of the rainfall erosive potential in the state of mato grosso do sul, brazil. **Engenharia Agrícola**, v. 32, n. 1, p. 69–79, Feb. 2012.

PARZEN, E. On estimation of a probability density function and mode. v. 33, p. 1065–1076, 1962.

PAULA, G. M. d. O fenomeno el nino oscilacao sul e a erosividade das chuvas em santa maria - rs. **Dissertação apresentada ao Curso de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Santa Maria (UFSM, RS), para obtenção do grau de Mestre em Engenharia Agrícola**, 2009.

PIMENTEL, B. A. Metodos de kernel para agrupamentos de dados de tipo intervalo. **Universidade Federal de Pernambuco - Centro de Informática**, Dezembro 2010.

PINTO, C. C. de X. Diversidade do lucro entre as pequenas empresas brasileiras: o mercado de credito como um de seus possiveis determinantes. **Dissertação (mestrado) - Pontifícia Universidade Católica do Rio de Janeiro, Departamento de Economia.**, maio 2003.

RAO, V. B.; LIMA, M. C. de; FRANCHITO, S. H. Seasonal and interannual variations of rainfall over eastern northeast brazil. **Journal of Climate**, v. 6, p. 1754–1763, January 1993.

REIS, M. H. d. et al. Espacializacao de dados de precipitacao e avaliacao de interpoladores para projetos de drenagem agricola no estado de goias e distrito federal. **Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, p. 229–236, 2005.

ROSENBLATT, M. Remarks on some nonparametric estimates of a density function. v. 27, n. 3, p. 832–837, September 1956.

SA, I. B.; SILVA, P. C. da. **Semiarido Brasileiro: Pesquisa, Desenvolvimento e Inovacao**. 1. ed. Petrolina, PE: [s.n.], 2010.

SCHEID, S. **Introduction to Kernel Smoothing**. January 2004. Disponível em: <http://compdiag.molgen.mpg.de/docs/talk_05_01_04_stefanie.pdf>.

SCOTT, D. W. **Multivariate Density Estimation, Theory, Practice, and Visualization**. [s.n.], 1950. Disponível em: <http://www.stat.rice.edu/ scottdw/stat550/mde-92.pdf>.

SILVA, A. P. N. et al. Correlacao entre as temperaturas da superfície do mar e a quantidade da precipitacao na estacao chuvosa no nordeste do estado de pernambuco. **Revista Brasileira de Meteoorologia**, v. 26, n. 1, p. 149–156, Junho 2011.

SILVA, D. F. d.; GALVíNCIO, J. D. Estudo da influencia da oscilacao decadal do pacifico no nordeste do brasil. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v. 4, p. 665–676, Maio 2011. Disponível em: <http://www.ufpe.br/rbgfe/index.php/revista/article/view/142/198>. Acesso em: 06/03/2012.

SILVA, K. R. da et al. Interpolacao espacial da precipitacao no estado do espirito santo. **Floresta e Ambiente**, v. 18, n. 4, p. 417–427, Dezembro 2011.

SILVA, M. A. V. ao. **meteorologia e Climatologia**. Versão digital 2. Recife, Pernambuco, Brasil: [s.n.], 2006.

SOENARIO, I.; PLIEGER, M.; SLUITER, R. **Optimization of Rainfall Interpolation**. De Bilth, province of Utrecht, Netherlands, March 2010.

STECK, T. Methods for determining regularization for atmospheric retrieval problems. **Applied Optics**, v. 41, n. 9, p. 1788–1797, 2002.

SUDENE. **Superintendencia de Desenvolvimento do Nordeste**. Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/>.

SUDENE. **SUPERINTENDeNCIA DE DESENVOLVIMENTO DO NORDESTE**. 2012. Disponível em: <http://www.sudene.gov.br/>.

TOMCZAK, M. Spatial interpolation and its uncertainty using automated anisotropic inverse distance weighting (idw) - cross-validation/jackknife approach. **Journal of Geographic Information and Decision Analysis**, v. 2, n. 2, p. 18–30, 1998.

TRENBERTH, K. E. The definition of el niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v. 78, p. 2771–2777, 1997.

UPPALA, S. M. et al. The era-40 re-analysis. **Quarterly Journal of Royal Society de Meteorologia**, v. 131, n. 612, p. 2961–3012, Out 2005.

UVO, C.; BERNDTSSON, R. Regionalization and spatial properties of ceara state rainfall in northeast brazil. **JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH**, v. 101, p. 4221–423, 1996.

UVO, C. B. et al. The relationships between tropical pacific and atlantic sst and northeast brazil monthly precipitation. **J. Climate**, v. 11, p. 551–562, 1998.

VERWORN, A.; HABERLANDT, U. Spatial interpolation of hourly rainfall - effect of additional information, variogram inference and storm properties. **Hydrology and Earth System Sciences**, v. 15, p. 569–584, 2011.

VIEIRA, L.; PICULLI, F. J. **Meteorologia e Climatologia Agricola-Notas de aula**. Cidade Gaúcha, PR, Brasil, 2009. Disponível em: <http://www.dea.uem.br/disciplinas/meteorologia/meteorologia8.pdf>.

XIONG, L.; GUO, S.; O'CONNOR, K. M. Smoothing the seasonal means of rainfall and runoff in the linear perturbation model (lpm) using the kernel estimator. **Journal of Hydrology**, v. 324, p. 266–282, 2006.