

ANÁLISE DA IRREGULARIDADE METEOROLÓGICA COMO INDICADOR DE MODIFICAÇÕES NO CLIMA: um estudo de caso na bacia do rio Una - Pernambuco

*João Hipólito Paiva de Britto Salgueiro¹; Suzana Maria Gico Lima Montenegro²,
Bernardo Barbosa da Silva,³ Alfredo Ribeiro Neto⁴ & Leidjane Maria Maciel de Oliveira⁵*

RESUMO – As modificações climáticas e consequentes alterações nos regimes pluviais vêm se agravando nas últimas décadas. Os eventos extremos caracterizados pelas chuvas intensas ou longas estiagens contribuem para o crescimento do número de desastres naturais. Este artigo estudou a bacia hidrográfica do rio Una, localizado no Estado de Pernambuco, e propôs que análises periódicas dos padrões meteorológicos convectivos e frontais das precipitações sejam realizadas, com o intuito de monitorar o avanço ou estacionaridade das modificações dos climas. Para isso, analisou a variabilidade espacial dos coeficientes de irregularidades meteorológicas utilizando as séries pluviométricas produzidas pela SUDENE, com períodos de observação pertencente à segunda metade do século passado, utilizando interpolador determinístico. A metodologia recomendou que análises similares fossem realizadas no futuro. O processo comparativo das análises posteriores poderão evidenciar possíveis revelações, tornando os coeficientes de irregularidade meteorológica excelente indicadores dessas mudanças. Entre outras conclusões, as isolinhas delinearam a predominância dos efeitos convectivos na região semiárida da bacia, enquanto na Zona da Mata e Litoral, a concentração de chuvas frontais comprovou sua predominância. Espera-se que pesquisadores futuros deem continuidade a pesquisa, inclusive em outras bacias hidrográficas.

ABSTRACT – The climatic changes and consequent changes in rainfall patterns have been worsening in recent decades. The extreme events characterized by heavy rains or long droughts contribute to the growing number of natural disasters. This article studied the Una River basin, located in the State of Pernambuco, and proposed that periodic analyzes of weather patterns and frontal convective rainfall are carried out, in order to monitor progress or stationarity of the climate changes. Thus, analysis of spatial variability of weather irregularities coefficients using the rainfall time series produced by SUDENE, with periods of observation belonging to the second half of last century, using deterministic interpolator. The methodology recommended that similar analyzes were performed in the future. The comparative process of further analysis may show possible disclosures, making the coefficients of irregular weather excellent indicators of these changes. Among other findings, the contour outlined the predominance of convective effects in the semiarid region of the basin, while in the Zone the Mata and Coastland, the concentration of frontal rains proved its dominance. It is hoped that future researchers continued research, including in other watersheds.

Palavras-chave: Variabilidade espacial, precipitação extrema máxima, interpolação

1) Eng. Hidrólogo da CPRM / SGB e Doutorando da UFPE; Av. Sul, 2291, Afogados, Recife - PE; CEP: 50.750-011; Fone/fax (81) 3316.149, e-mail: joao.salgueiro@cprm.gov.br

2) Profa. Associado da UFPE; Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n; Recife - PE; Brasil; CEP: 50670-901; Fone/fax (81) 2126.7216; e-mail: suzanam@ufpe.br

3) Prof. Visitante dos Departamento de Geografia e Engenharia Civil - UFPE; Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n; Recife - PE; Brasil; CEP: 50670-901; Fone/fax (81) 2126.7216; e-mail: bbdasilva.ufpe@gmail.com

4) Prof. Adjunto da UFPE; Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n; Recife - PE; Brasil; CEP: 50670-901; Fone/fax (81) 2126.7216; e-mail: ribeiront@gmail.com

5) Doutoranda da UFPE; Av. Acadêmico Hélio Ramos s/n; Recife - PE; Brasil; CEP: 50670-901; Fone/fax (81) 2126.7216; e-mail: leidjaneoliveira@hotmail.com

INTRODUÇÃO

As modificações climáticas constatadas nas últimas décadas em todo o Planeta vêm despertando no homem uma imperiosa necessidade de melhor entender os fenômenos naturais. Portanto, gestores governamentais dos países, organizações não governamentais, pesquisadores ambientalistas ou de áreas temáticas afins, populações de um modo geral, entre outros, reúnem-se periodicamente para acordar metas de comportamentos, com vista à mitigação dos impactos socioeconômicos e ambientais decorrentes dessas modificações.

Consequentemente envolvidos no cenário das modificações dos climas, em algumas regiões do Planeta, os regimes hidrológicos pluviais passaram a responder diferentemente em bacias hidrográficas, como é o caso das intensidades, durações e frequências das precipitações, onde valores inesperados passaram a ser aferidos. Além disso, as incertezas na sazonalidade de suas ocorrências e o aumento das irregularidades na distribuição espaço-temporal, em comparação às séries estatísticas historicamente analisadas, sinalizaram um porvir com evidências de grandes desafios no campo desse entendimento. Neste contexto, as tormentas críticas e as longas estiagens passaram a dividir com maiores magnitudes os calendários hidrológicos das regiões, ambas repercutindo em imensuráveis prejuízos. As tormentas, entendidas como mais preocupantes por serem caracterizadas pelas suas ações subitamente devastadoras, enquanto as estiagens, permitindo uma execução das medidas socorristas mais planejadas, por se desenvolverem mais lentamente.

O aumento do número de ocorrências de chuvas intensas pode ser considerado o fator preponderante para o agravamento dos desastres naturais, que subestima cada vez mais a capacidade de drenagem das superfícies. Tais superfícies podem ser entendidas como os solos naturais, comumente encontrados nas zonas rurais, ou pavimentadas, predominantes de ambientes urbanamente projetados. Os excessos dos escoamentos superficiais resultantes passaram a superar com mais frequência os níveis que limitam as calhas dos rios durante os regimes sazonais de suas cheias periódicas, favorecendo assim as inundações de suas margens. Os sinistros decorrentes desses excessos comprometeram com mais veemência a segurança e a qualidade da vida das populações, causando prejuízos ao erário público e ao patrimônio privado, e em algumas vezes somando registros de óbitos humanos. Por outro lado, alguns anos persistem no alongamento dos períodos secos, gerando redução da disponibilidade hídrica, desde o abastecimento público e industrial nos grandes centros urbanos, até os incalculáveis prejuízos agropecuários no campo. Em ambas as situações, as prefeituras dos municípios vêm contabilizando cada vez mais aumentos significativos no número de decretos de estado de emergências e calamidades públicas.

Diante deste contexto, importante se faz que os comportamentos pluviais extremos nas bacias hidrográficas sejam avaliados periodicamente, pelo menos a cada 30 anos, período representativo de uma normal climatológica, suficiente para caracterizar o clima. A análise espacial das

irregularidades meteorológicas pode representar um excelente indicador das alterações dos regimes hidrológicos quando realizadas sistematicamente. O processo deverá se desenvolver segundo comparação dos padrões de comportamentos frontais e convectivos definidos pelos coeficientes representativos dessas irregularidades e suas áreas de abrangência, segundo a variabilidade delineada pela distribuição espacial, analisadas entre dois ou mais períodos consecutivos. Neste caso, os avanços ou estacionaridade das alterações detectadas indicarão se houve modificação nos climas.

Este artigo teve por objetivo analisar a variabilidade espacial dos coeficientes de irregularidade meteorológica na bacia do rio Una em Pernambuco, através do “Critério das características meteorológicas dominantes de uma região”, desenvolvido por Llamas (1930). Para isso, utilizou as séries pluviométricas pertencentes à segunda metade do século passado, produzidas pela extinta Rede Hidroclimática da Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste – SUDENE, mesmo sem existir períodos de 30 anos completos para todas as estações pluviométricas selecionadas. Para esta análise foi utilizado um método determinístico de interpolação conhecido com Inverso do Quadrado da Distância.

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

Critério das Características Meteorológicas dominantes em uma região (Llamas, 1993)

As precipitações podem ser classificadas em três tipos: *chuvas frontais*, caracterizadas por média intensidade, grande duração e grandes áreas de ocorrências; *convectivas*, por grande intensidade, pequena duração e pequenas áreas, e *orográficas*, com pequena intensidade, grande duração, em pequenas áreas localizadas próximas às elevações topográficas. Neste caso, as elevações constituem obstruções responsáveis pela antecipação de parte da precipitação que não conseguem ultrapassá-las. No lado montante dessas elevações ocorre ascendência de vento úmido que se resfria ao subir na atmosfera formando nuvens e produzindo chuvas. Já na parte jusante, o vento descendente seco e frio, impede a formação de nuvens, e consequentemente há falta de chuvas.

O critério das características meteorológicas dominantes em uma região foi elaborado para planejar as redes pluviométricas e é bastante usado para verificação das suas eficiências. Consiste em examinar com detalhe os eventos meteorológicos dominantes. Nos regimes pluviométricos dominantes, comumente se destacam as chuvas provocadas por tormentas frontais, ou tormentas intensas associadas às circulações convectivas.

Com o objetivo de analisar o regime dominante pode-se então introduzir a concepção de coeficiente de irregularidade meteorológica, para considerar a preponderância de processos

irregulares (precipitação convectiva) sobre a regularidade meteorológica (precipitação frontal). Este coeficiente é definido como sendo a relação entre a precipitação anual máxima e a mínima durante um período longo de observações, conforme a equação (1). Quanto maior for este coeficiente, mais irregular será o regime de chuvas. Esse coeficiente pode ser considerado alto se obtido acima de 3, segundo Llamas (1993).

$$ci = \frac{\rho_{\max}}{\rho_{\min}} \quad (1)$$

onde: $\rho_{\max}$ é a precipitação anual máxima e $\rho_{\min}$ precipitação anual mínima.

Método do Inverso do quadrado da distância

O inverso da distância é um método determinístico de interpolação linear que utiliza a ponderação dos inversos das distâncias a um número específico de pontos amostrados mais próximos de um dado ponto. Para isso, o conhecimento da localização de cada ponto se faz necessário. Matematicamente, podem ser utilizados os expoentes: 1, 2, 3 e 4 através da expressão geral (2) para uma variável “Z” qualquer.

$$Z(x_j, y_j) = \frac{\sum_{i=1}^n Z(x_i, y_i) d_{ij}^{-p}}{\sum_{i=1}^n d_{ij}^{-p}} \quad (2)$$

onde (x_j, y_j) é um ponto no espaço a ser interpolado; (x_i, y_i) , $i = 1...n$, são os pontos na vizinhança, com “n” igual ao número desses pontos; d_{ij} é a distância entre os pontos e p é o expoente da distância.

Com este método é possível fazer previsões de valores em locais onde não foram amostrados utilizando os pontos de valores conhecidos através da expressão (3). Para a obtenção dos pesos atribuídos aos valores medidos se utilizada a expressão (4):

$$Z(x_j, y_j) = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i, y_i) \text{ com } \sum_{i=1}^n \lambda_i = 1 \quad (3)$$

Onde $Z(x_j, y_j)$ são os valores a serem previstos; $Z(x_i, y_i)$ são os valores observados; n é o número de pontos amostrados e λ_i são os pesos atribuídos a cada ponto, com:

$$\lambda_i = \frac{1}{(d(x_B, x_i))^2} \quad (4)$$

onde: x_B é a posição do centro de massa da área e x_i são as posições dos pontos medidos.

A utilização do expoente 2 caracteriza modelo mais comum para interpolar valores entre uma amostra de pontos distribuídos no espaço, o qual se denomina “inverso do quadrado da distância”. Este princípio se encontra associado a uma semelhança com os critérios adotados por Newton e Coulomb, em tempos remotos, para explicar a Lei da Gravitação Universal e da Força Elétrica.

REVISÃO DA LITERATURA

Anjos (1998) estudou as quantidades extremas de precipitação na cidade de Recife-PE. Afirmou que é raro o ano em que não se verifica desastres de inundações em alguma parte do Brasil, e que as inundações podem ser apenas locais, quando associadas a uma tempestade de verão. As inundações mais sérias ocorrem quando chuvas mais fortes e intensas estão associadas a sistemas atmosféricos em escala de tempo maior. Por ocasião de intensas e duradouras precipitações as grandes cidades têm enfrentado vários transtornos, em alguns casos até com perda de vidas humanas. Se por um lado fortes chuvas causam alagamento de ruas, transtornos no trânsito, etc., por outro, a continuidade da chuva alimenta as reservas de água de uma cidade. O estudo revelou que a contribuição dos dias com chuvas superiores ou iguais a 20 mm tem crescimento significativo nos meses de outono e inverno.

Johnston *et al.* (2001) afirmaram que o programa *ArcGis*, desenvolvido nos Estados Unidos, destaca-se pela sua qualidade na apresentação de mapas de superfícies criados sob técnica de interpolação, utilizando métodos determinísticos ou probabilísticos, através de uma extensão denominada *ArcMap*. Esta extensão contém excelentes ferramentas para análises estruturais de dados espaciais estatisticamente validados, podendo ser integrado ao Geography Information System – *GIS*.

Salgueiro (2005), antes de analisar a variabilidade espacial da precipitação média na bacia do Rio Ipojuca em Pernambuco utilizando diversas metodologias, inclusive o inverso do quadrado da distância, elaborou um diagnóstico pluviométrico, composto por um resumo histórico sobre as redes pluviométricas que atuaram no estado de Pernambuco.

Obregón & Marengo (2007), para caracterizar o clima no Brasil durante o Século XX, analisaram entre outras variáveis, as precipitações extremas máximas, com interpolação das séries pluviométricas correspondentes, além dos estudos das tendências das precipitações para cenários futuros.

Silva (2009) estudou as chuvas intensas do estado de Pernambuco observando que, para determinação da dimensão da estrutura dos sistemas de micro e macrodrenagem, deve-se saber qual a quantidade de água que costuma precipitar na área a ser drenada, e que as equações de chuvas intensas são essenciais para os projetos hidráulicos, nas drenagens urbanas e rurais. O autor

destacou as curvas IDF como recurso importante a reduzir os erros, minimizando-se o risco de enchentes causadas por chuvas de alta intensidade.

Salgueiro *et al.* (2011) analisaram a distribuição espacial das precipitações máximas diárias anuais na bacia do rio Una em Pernambuco, devido as frequentes inundações ocorridas nas últimas décadas. Os autores destacaram a cheia de 2010, onde significativos desastres naturais foram constatados. Foram considerados na ocasião os projetos definidos pelos Governos para contenção das cheias na bacia. Entre outras conclusões importantes, os autores perceberam que as vazões fluviais, que proporcionam as ondas de cheia, são influenciadas pelas chuvas intensas precipitadas ciclicamente na região da nascente. A metodologia utilizou séries pluviométricas da SUDENE associada ao programa computacional *ArcGis 9.0*. O Inverso do Quadrado da Distância foi o modelo de interpolação adotado.

ÁREA DE ESTUDO

Localização

A bacia hidrográfica do rio Una corresponde a Unidade de Planejamento Hídrico - UP 5 da divisão hidrográfica do estado de Pernambuco. Segundo SECTMA (2006), está localizada no sul do litoral do Estado, entre: 8°17'14" e 8°55'28" de latitude sul e 35°07'48" e 36°42'10" de longitude oeste. Limita-se ao norte com as bacias do rio Ipojuca - UP 3, do rio Sirinhaém - UP 4, grupo de bacias de pequenos rio litorâneos UP - 17; ao sul com a bacia do rio Mundaú - UP 6, o estado de Alagoas, grupo de bacias de pequenos rios litorâneos - UP 18 e grupos de bacias de pequenos rios interiores - UP 20; a leste, com o oceano Atlântico, a bacia do rio Sirinhaém - UP 17 e UP 18; e a oeste, com as bacias dos rio Ipojuca - UP 3 e Ipanema - UP 7. A Figura 1 apresenta a localização da bacia do rio Una.

Divisão Político-Administrativa

Conforme a Figura 2, a bacia hidrográfica do rio Una abrange um total de 42 municípios, dos quais 11 estão totalmente inseridos no interior da bacia. Dos 31 municípios restantes, 15 possuem sede na bacia e 16 tem suas sedes nas bacias vizinhas. Estão totalmente inseridos no interior da bacia os municípios de: Belém de Maria, Catende, Cupira, Ibirajuba, Jaqueira, Lagoa dos Gatos, Maraial, Palmares, Panelas, São Benedito do Sul e Xexéu. Possuem sede na bacia: Água Preta, Agrestina, Altinho, Barreiros, Bonito, Cachoeirinha, Calçados, Capoeiras, Jucati, Jupí, Jurema, Lajedo, Quipapá, São Bento do Una e São Joaquim do Monte. Tem suas sedes nas bacias vizinhas: Barra de Guabiraba, Bezerros, Caetés, Camocim de São Felix, Canhotinho, Caruaru, Gameleira, Joaquim Nabuco, Pesqueira, Rio Formoso, Sanharó, São Caetano, São José da Coroa Grande, Tacaimbó, Tamandaré e Venturosa.

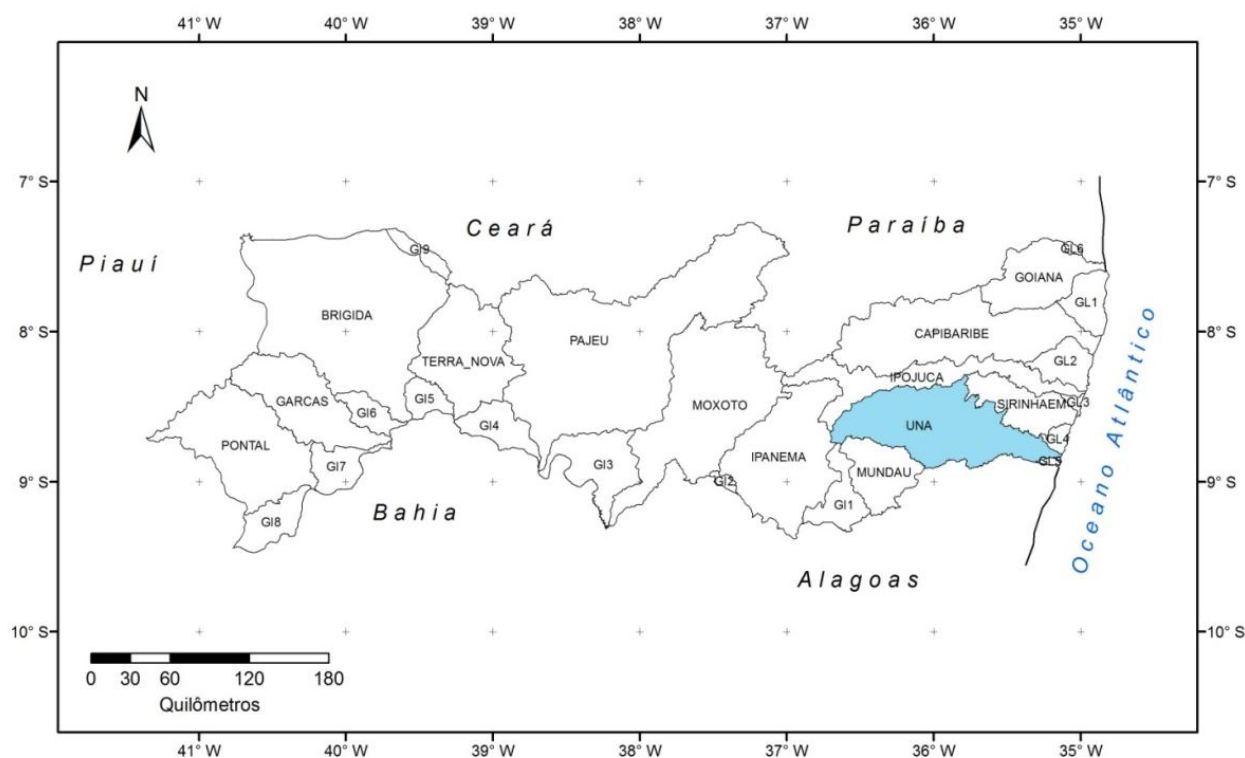


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Una (Salgueiro *et. al*, 2011)



Figura 2 - Divisão municipal da bacia hidrográfica do rio Una

Características fisiográficas da bacia hidrográfica

A bacia hidrográfica do rio Una apresenta uma área de 6.740,31 km² dos quais 6.262,78 km² estão inseridos no estado de Pernambuco, o qual corresponde a 6,37 % do total do Estado. Esta diferença compreende a parte da área de drenagem que pertence ao estado de Alagoas. Este detalhe

O rio Una nasce em Capoeiras e desemboca em águas do oceano Atlântico, no município litorâneo de São José da Coroa Grande, percorrendo uma extensão de cerca de 290 km. Durante o percurso apresenta-se intermitente até o município de Altinho, passando a ganhar perenidade a partir daí. Os principais afluentes da margem direita são: riacho Quatis, rio da Chata, Pirangi, Jacuípe e Caraçu. Pela margem esquerda: Riachão, Mentirosas, Sapo, Camevô e Preto. A Figura 3 mostra a rede de drenagem superficial e seus principais tributários, além dos pontos de monitoramento da qualidade da água, desenvolvido pela Agência Estadual de Meio Ambiente de Pernambuco – CPRH.

Do ponto de vista climatológico a bacia hidrográfica do rio Una é caracterizada por uma heterogeneidade climática, cujos regimes hidrológicos extremos são bastante definidos em cada sub-região da bacia, salvo em anos atípicos, algumas vezes influenciados pelos efeitos de El Niño e La Niña. A parte Agreste da bacia é caracterizada pelo clima *Seco subúmido* e *Semiárido*, e a Zona da Mata e Litoral pelo clima *Úmido* e *Úmido subúmido*, segundo a classificação de Köppen. Segundo Salgueiro (2011), a região da nascente do rio Una encontra-se inserida na microrregião de

Garanhuns. O relevo apresenta-se em forma de chapadas (Planalto da Borborema), com micro clima do tipo brejo de altitude e ilhas de florestas atlânticas. Esse tipo de ecossistema influencia bastante as precipitações, principalmente as chuvas orográficas. As precipitações máximas diárias anuais comprovaram que a região central da bacia é mais seca (semiárida) em relação aos extremos (Nascente e Litoral), podendo ser considerada climatologicamente heterogênea.

Os sistemas meteorológicos que atuam na bacia do Una são os mesmos que atuam em todo o estado de Pernambuco. Os eventos extremos que caracterizam as tormentas e as secas na bacia são, na maioria das vezes, historicamente influenciados pela *Zona de convergência intertropical - ZCIT* e as *Ondas de leste*. No caso da ZCIT, movimento associado aos ventos alísios, é o maior produtor de chuvas do Sertão e Agreste de Pernambuco. No agreste, os sistemas atuam no período de fevereiro a julho com máximos durante abril e maio. Em anos muito chuvosos o ZCIT pode atingir a Zona da Mata e Litoral. A ausência ou atraso desse sistema nos meses de máximos geralmente repercute em severas secas. Já as Ondas de leste, também observadas nos ventos alísios no litoral de Pernambuco, ocorrem principalmente no período de maio a agosto. Seu deslocamento se dá de leste para oeste, podendo avançar no continente até 300 km e produzir chuvas intensas com inundações.

MATERIAL E MÉTODOS

A fonte de informações hidrológicas adotada

Um momento importante da história da produção de dados pluviométricos no estado de Pernambuco ocorreu quando a SUDENE reestruturou a sua Rede Hidroclimática, favorecendo a cobertura de toda a região Nordeste do Brasil. O fato teve início na década de 1960 e prosperou plenamente até 1985, quando sinalizou suas primeiras fragilidades operacionais. Com isso, algumas estações pluviométricas não resistiram às carências orçamentárias e a Rede deflagrou sua falência com poucas estações funcionando até 1993. As estações que continuaram foram incorporadas às redes estaduais, apresentando registros de subtração nas suas totalidades. Esta rede, apesar de extinta por falta de continuidade operacional, por não ter sido inclusa nos programas dos Governos que advieram (Salgueiro, 2005), constituiu a fonte principal de informações hidrológicas da época, suprimindo todos os estudos e projetos regionais que foram desenvolvidos contemporaneamente, por se considerar o mais seguro e completo acervo até então disponível.

A seleção das séries históricas

Considerando os motivos acima historiados, a seleção das séries pluviométricas produzidas pela SUDENE constituiu o passo inicial desta pesquisa, segundo consulta à publicação direcionada a todos os Estados Nordestinos (SUDENE, 1990). Nesse acervo foram selecionadas 27 estações localizadas no interior e nas proximidades da bacia do rio Una. O nível da qualidade dos dados

associado ao aproveitamento máximo dos tamanhos dos seus períodos fizeram parte da seleção. As localizações foram testadas utilizando o programa *ArcGis* 9.3, por ocasião do georreferenciamento das suas coordenadas geográficas, conforme mostra a Figura 4.

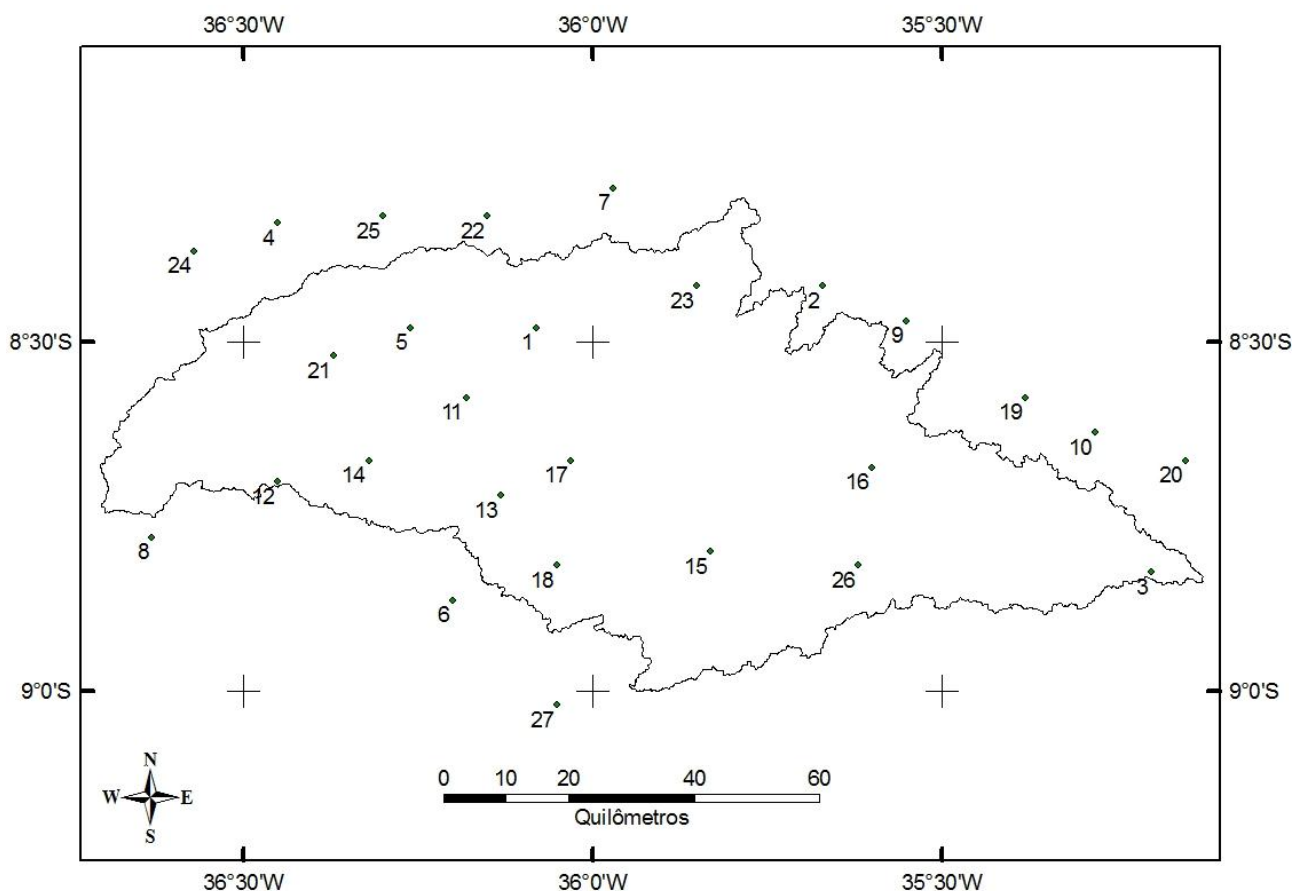


Figura 4 - Distribuição espacial das estações pluviométricas selecionadas na bacia do rio Una

As séries históricas das estações selecionadas estão todas inseridas em um intervalo de 30 anos, compreendidos entre 1956 a 1985. Entretanto, somente três estações perfizeram o período completo, pelo fato de já operarem antes da reestruturação da Rede da SUDENE. Considerando o limite imposto pela insuficiência de dados disponíveis na literatura, foram extraídas as máximas e mínimas precipitações das séries dos totais anuais de cada estação selecionada. Com isto, foi facultado o cumprimento ao requisito, pelo qual exigiria as séries normais climatológicas, como única forma exequível de aplicação da metodologia adotada. A Figura 5 mostra graficamente as precipitações máximas e mínimas nos municípios da bacia do rio Una.

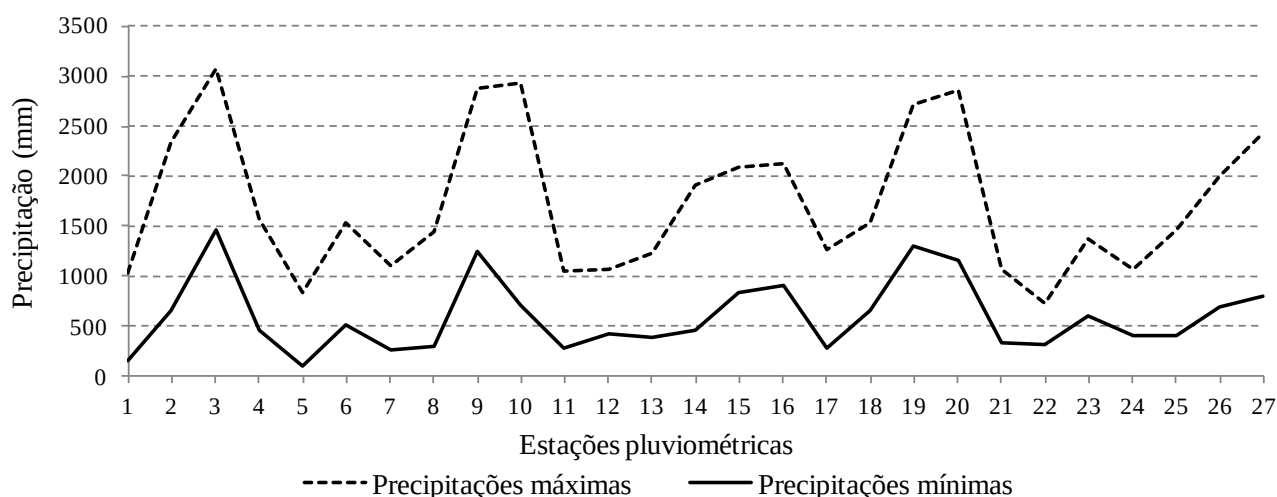


Figura 5 – Precipitações totais anuais máximas e mínimas na bacia do rio Una

Os coeficientes de irregularidade meteorológica foram obtidos para cada estação pluviométrica a partir da razão aritmética entre os totais máximos anuais e totais mínimos anuais precipitados nas estações, conforme descreve o Critério das Características Meteorológica Dominantes em uma Região (Lhamas, 1993). Foi então criada uma série espacial contendo os valores representativos de cada estação pluviométrica. Para melhor apreciação na comparação dos seus valores foi elaborado um diagrama de blocos autoexplicativo. Com a série da variável constituída foi possível concluir o banco de dados final para acesso ao processo de interpolação.

Análises estatísticas descritivas e dispersivas

Antes de se criar a superfície interpolada foi elaborado um histograma de frequência para a análise da distribuição das ocorrências, constando de dez intervalos de classes. Segundo Andriotti (2005), os histogramas são ferramentas muito poderosas na visualização e interpretação dos dados disponíveis e devem ser construídos sempre que estiver trabalhando com dados numéricos e sobre eles deseja-se fazer inferência. Em seguida foram determinadas as medidas de tendência central e alguns parâmetros de dispersão importantes a esta análise.

Elaboração da superfície interpolada

Para elaboração do mapa da variabilidade espacial da irregularidade meteorológica das precipitações extremas, foi criada uma superfície cujos coeficientes delinearam várias faixas de ocorrências, segundo interpolação dos pontos medidos. Em seguida, o contorno da bacia estudada foi recortado da superfície gerada. Durante a interpolação, nos locais onde os pontos não foram amostrados, os valores foram estimados segundo cálculos realizados com o programa *ArcGis 9.0*, associado ao método determinístico denominado Inverso do quadrado da distância (IQD). As faixas produzidas tiveram seus valores identificados através de legenda em escala de cores.

Após a interpolação, a relação entre os valores medidos e estimados foram exibidos graficamente, como também, algebricamente, em forma de regressão linear. Os Erros médios e Erros médios quadráticos também foram apresentados.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Com a definição da série espacial dos Coeficientes de irregularidade meteorológica foi concluído o banco de dados para elaboração da superfície interpolada, conforme a Tabela 1. Para efeito comparativo desses coeficientes a Figura 6 apresentou graficamente seus valores quantificados.

Tabela 1 – Banco de dados

Item	Código	Estação	UF	Long.	Lat.	Alt. (m)	Período (anos)	Máxima total anual (mm)	Mínima total anual (mm)	Coeficiente de irregularidade (Adimensional)
1	836003	Altinho	PE	-36,08	-8,48	470	1963 - 1985	1026,4	159,4	6,4
2	835002	B. de Guabiraba	PE	-35,67	-8,42	440	1963 - 1985	2339,9	652,2	3,6
3	835005	Barreiros	PE	-35,2	-8,83	23	1963 - 1985	3065,4	1461,9	2,1
4	836004	Belo Jardim	PE	-36,45	-8,33	616	1963 - 1985	1563,8	456,4	3,4
5	836007	Cachoeirinha	PE	-36,26	-8,48	780	1964 - 1985	836,0	111,0	7,5
6	836026	Canhotinho	PE	-36,2	-8,87	660	1963 - 1985	1536,3	509,2	3,0
7	355009	Caruaru	PE	-35,97	-8,28	545	1956 - 1973	1892,9	505,5	4,2
8	836008	Caetés	PE	-36,63	-8,78	854	1963 - 1985	1437,0	299,3	4,8
9	835014	Cortês	PE	-35,55	-8,47	340	1963 - 1985	2867,5	1255,2	2,3
10	835058	Cucaú	PE	-35,28	-8,63	62	1963 - 1985	2930,4	705,5	4,2
11	836018	Ibirajuba	PE	-36,18	-8,58	640	1962 - 1985	1053,1	276,2	3,8
12	836020	Jucati	PE	-36,45	-8,7	821	1962 - 1985	1068,2	434,3	2,5
13	836021	Jurema	PE	-36,13	-8,72	640	1963 - 1985	1229,9	397,4	3,1
14	836022	Lajedo	PE	-36,32	-8,67	663	1963 - 1985	1910,9	468,0	4,1
15	835035	Maraial	PE	-35,83	-8,8	360	1962 - 1985	2094,7	838,3	2,5
16	835037	Palmares	PE	-35,6	-8,68	109	1956 - 1985	2125,5	917,5	2,3
17	836024	Panelas	PE	-36,03	-8,67	620	1956 - 1985	1266,6	274,7	4,6
18	836036	Quipapá	PE	-36,05	-8,82	480	1963 - 1985	1532,6	666,7	2,3
19	835026	Gameleira	PE	-35,38	-8,58	101	1963 - 1985	2717,6	1293,5	2,1
20	835044	Rio Formoso	PE	-35,15	-8,67	39	1956 - 1974	2867,2	1155,9	2,5
21	836037	São. Bento Una	PE	-36,37	-8,52	645	1956 - 1984	1077,9	338,7	3,2
22	836039	São Caetano	PE	-36,15	-8,32	552	1965 - 1985	733,0	320,6	2,3
23	835049	São J. do Monte	PE	-35,85	-8,42	501	1963 - 1985	1374,9	605,2	2,3
24	836043	Sanharó	PE	-36,57	-8,37	653	1963 - 1979	1064,4	414,3	2,6
25	836052	Tacaimbó	PE	-36,3	-8,32	570	1962 - 1985	1471,4	399,3	3,7
26	835071	Xexéu	PE	-35,62	-8,82	200	1968 - 1985	1999,9	701,2	2,9
27	936047	S. Jose da Laje	AL	-36,05	-9,02	250	1968 - 1985	2432,6	794,6	3,1

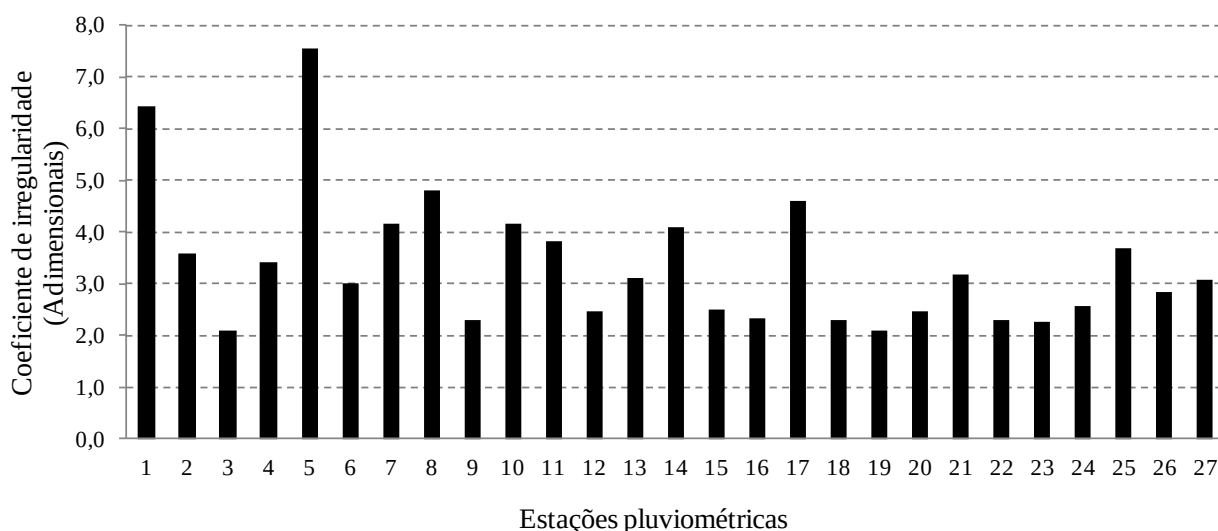


Figura 6 – Coeficientes de irregularidade meteorológica nas estações pluviométricas da bacia do rio Una

Durante as análises estatísticas foi inicialmente observada uma distribuição de frequência sem normalidade e notória descontinuidade (Figura 7). A descontinuidade aponta para a separação de maiores ocorrências extremas na parte mais seca da bacia, justamente nos municípios de Altinho e Cachoeirinha, posição 1 e 5 (Figura 4) onde os coeficientes de irregularidade obtiveram os maiores valores e tornaram-se os mais dispersos da série (Figura 6).

Quanto às medidas das tendências centrais e dispersivas da série espacial, afirma Andriotti (2005) que uma curva de distribuição normal terá assimetria igual a zero e curtose igual a três, e que os Coeficientes de Variação elevados, ou acima de um, representam amostra com grande heterogeneidade, aconselhando a transformação logarítima dos dados, enquanto os valores abaixo de 0,4 refletem homogeneidade da amostra.

Diante das afirmativas e os parâmetros apresentados na Tabela 2, é prudente concluir que se trata de uma série espacial pouco homogênea, com relação ao coeficiente de variação, e heterogênea, segundo os coeficientes de assimetria e curtose. Além disso, a média e a mediana não se aproximam. A heterogeneidade referente à variável em estudo era esperada uma vez que a mesma advém de eventos extremos (máximos e mínimos), caracterizados pela sua peculiar aleatoriedade. Durante o processo que resultou no mapa de interpolação, a regressão linear entre os valores medidos e estimados mostrou acentuado desvio conforme mostra a Figura 8.

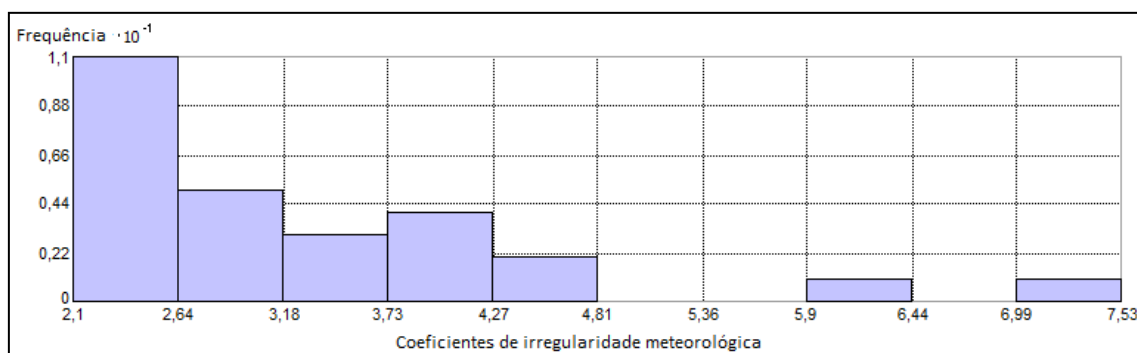


Figura 7 – Distribuição de frequência dos Coeficientes de irregularidade meteorológica

Tabela 2 – Parâmetros estatísticos dos Coeficientes de irregularidade meteorológica

Parâmetros estatísticos	Coeficientes de Irregularidade Meteorológica
N. de pontos	27
Mínima	2,10
Máxima	7,53
Média	3,38
Mediana	3,06
Desvios padrão	1,32
1º Quartil	2,35
2º Quartil	4,01
Coeficiente de assimetria	1,60
Coeficiente de Curtose	5,43
Coeficiente de Variação	0,39

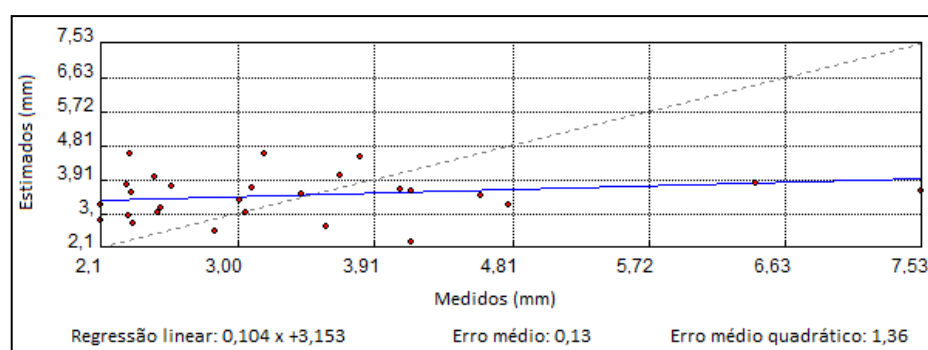


Figura 8 – Valores medidos e estimados dos Coeficientes de irregularidade meteorológica

O mapa da superfície interpolada foi elaborado a partir da série espacial que envolveu todos os coeficientes de irregularidade meteorológica obtidos para os municípios. A variabilidade espacial mostrou delineadamente as áreas de influencia de cada coeficiente, permitindo uma avaliação para todos os municípios da bacia. A Figura 9 apresenta o mapa da distribuição espacial da variável.

A distribuição espacial das irregularidades meteorológicas praticamente apontou para duas situações de comportamento na bacia hidrográfica. Em uma, indicou uma predominância de coeficientes maiores que 3 na região Agreste (3,24 a 7,53), e outra abaixo de 3, para as regiões da Zona da Mata e Litoral (2,10 a 3,24). Segundo Llamas (1993) quanto maior for este coeficiente, mais irregular será o regime de chuvas. Esse coeficiente pode ser considerado alto se obtido acima de 3. Observou-se que os sistemas de circulação meteorológica atuantes na bacia hidrográfica proporcionam uma predominância de chuvas frontais nas regiões mais úmidas, localizadas no Litoral e Zona da Mata, enquanto na parte mais seca, as ocorrências convectivas são mais costumeiras. Diaz (1995) afirmou que as chuvas do tipo convectivas se formavam com a ascensão de ar que foi fortemente esquentado *in situ*, próprios de áreas com grandes insolações e umidades. O autor afirma que o ar quente, úmido e instável ascende formando nuvens do tipo cúmulos, de grande desenvolvimento vertical, para produzir chuvas intensas de pouca duração, e que a alta intensidade das chuvas convectivas origina calamidades em zonas urbanas e rurais.

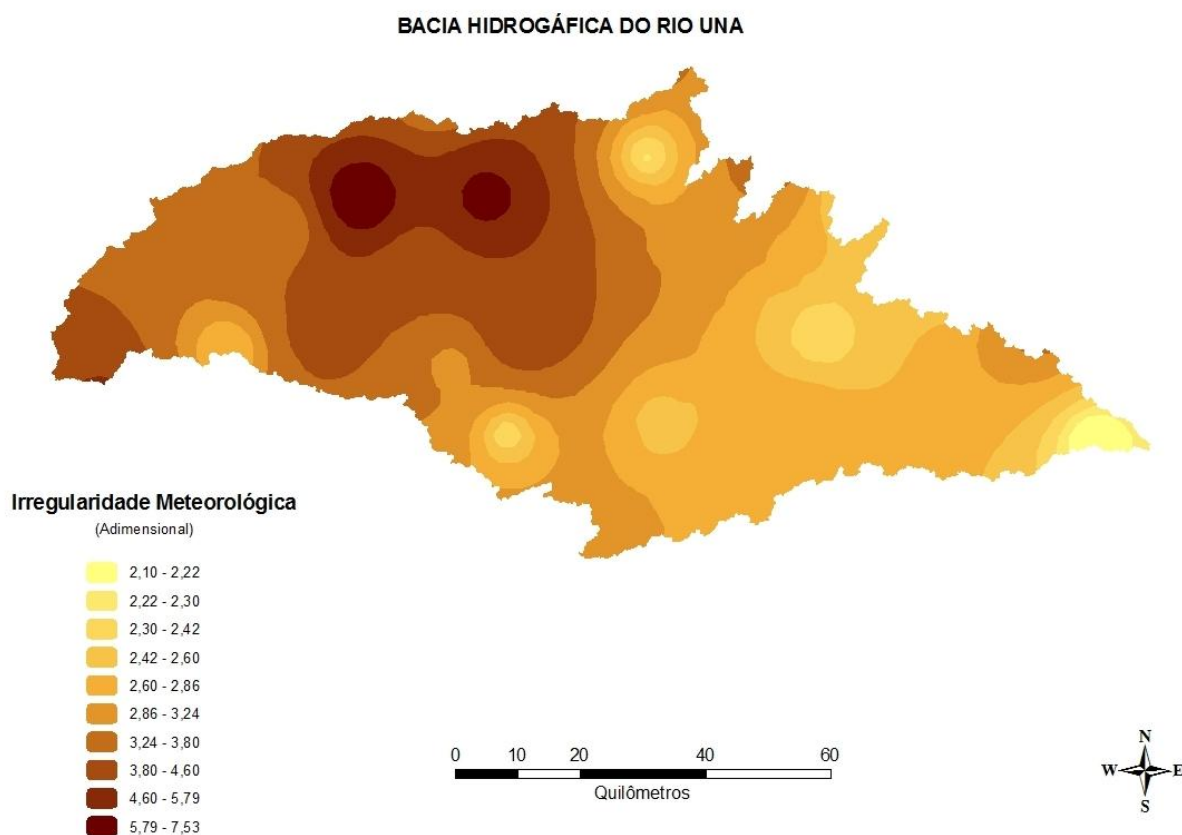


Figura 9 – Distribuição espacial da irregularidade meteorológica na bacia do rio Una

CONCLUSÕES E RECOMENDAÇÕES

- O Critério das Características Meteorológicas dominantes em uma região, associado ao Método determinístico do Inverso do quadrado da distância, produz isolinhas com suficiente definição para análise da distribuição espacial dos Coeficientes de Irregularidade meteorológica;

- A variabilidade temporal dos coeficientes de irregularidade meteorológica em cada ponto de medição em uma região ou bacia hidrográfica está condicionada à ocorrência de eventos extremos maiores que os máximos e/ou menores que os mínimos já registrados. Se porventura esses eventos forem superados, novas distribuições espaciais dos valores cronologicamente modificados serão redesenhadas, quando comparada com uma distribuição anteriormente analisada. Este processo representará a ferramenta principal para detecção de modificação dos climas;

- Futuras pesquisas deverão analisar o período de 1985 a 2014 utilizando dados produzidos pela Rede Pluviométrica de Pernambuco, operada pela Agência Pernambucana de Águas e Climas – APAC; pela Rede Hidrometeorológica Básica Nacional, operada pela Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais - CPRM (Serviço Geológico do Brasil) do Ministério de Minas e Energia – MME, em parceria com Agência Nacional de Águas – ANA, do Ministério do Meio Ambiente; e por qualquer outra instituição produtora de dados pluviométricos, como as Usinas de Açúcar e Destilarias de álcool, Companhia Pernambucana de Saneamento de Pernambuco – COMPESA, Prefeituras, entre outras;

- A análise dos coeficientes de irregularidade meteorológica e sua variabilidade espacial, monitorado periodicamente para detecção de modificações climáticas, poderá ser utilizada por outros pesquisadores em outras regiões ou bacias hidrográficas.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio da CPRM (Serviço Geológico do Brasil), UFPE (Universidade Federal de Pernambuco) e CNPq (Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico).

BIBLIOGRAFIA

ANDRIOTTI, J. L. S (2005). *Fundamentos de Estatística e Geoestatística*, UNISINOS, São Leopoldo – RS, 35 p.

ANJOS, R. J (1998). *Aguaceiro em Recife: uma climatologia de 36 anos*, in Anais do X Congresso Brasileiro de Meteorologia e VIII Congresso da Flismet, Brasília - DF.

CPRH (2011). Agência Estadual do Meio Ambiente. Disponível website em: http://www.cprh.pe.gov.br/downloads/Z4_Representacao_grafica_Una.pdf, em 09/09/2011, Mapas das Bacias Hidrográficas do Estado de Pernambuco – CONDEPE, 1996.

DIAZ, J. M. G. (1995). *Meteorologia*. Universidade Central de Venezuela, in Consejo de desarrollo Científico y Humanista. Caracas, cap. X, 247p.

JOHNSTON, K.; VER HOEF, J. M.; KRIVORUCHKO, K. & LUCAS, N. (2001). *Using ArcGis Geoestatistical Analyst*. Esri New York – USA, 300p.

LLAMAS, J. (1993). *Curso-Seminário sobre el Manejo de Datos Hidrológicos para Redes y Diseños*. Université de Laval, Québec – Canadá, pp. 1-4.

OBREGÓN, G. & MARENGO, J. A. (2007). *Caracterização do Clima no Século XX no Brasil: Tendências de Chuvas e Temperaturas Médias e Extremas*. Relatório N. 2 do MMA.

SALGUEIRO, J. H. P. B. (2005). *Avaliação de Rede Pluviométrica e Análise de Variabilidade Espacial de Precipitação: Estudo de Caso na bacia do rio Ipojuca em Pernambuco*. Dissertação de Mestrado, UFPE, Recife – PE, 124p.

SALGUEIRO, J. H. P. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L. & MOURA, G. B. A. (2006). *As Precipitações Máximas e seus Tipos de Ocorrências Sobre as Diversas Altitudes de Pernambuco: uma abordagem Geoestatística do atual conhecimento em Pernambuco*, in Anais do VIII Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, ABRH, Gravata – PE, CD-ROM.

SALGUEIRO, J. H. P. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L. SILVA, F. B.; FRANÇA, M. S. (2008). *Estudo da Distribuição Espacial da Precipitação e seus Tipos de Ocorrências na Bacia do Rio Capibaribe em Pernambuco*, in Anais do IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, ABRH, Salvador.

SALGUEIRO, J. H. P. B.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; MOURA, G. B. A. & COSTA, F. A. (2010). *Análise Espacial das Precipitações Extremas Máximas ocorridas no mês de maior pluviosidade na Região Metropolitana do Recife: uma abordagem sobre as chuvas intensas e os desastres naturais*, in Anais do IX Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, ABRH, Fortaleza – CE, CD-ROM.

SALGUEIRO, J. H. P. B. & MONTENEGRO, S. M. G. L. (2010). *Distribuição Espacial das Precipitações Máximas Diárias Anuais como Suporte às Medidas Estruturais de Contenção de Enchentes: estudo de caso na bacia do rio Una em Pernambuco*, in Anais do XIX Simpósio Brasileiro de Recursos Hídricos, ABRH, Maceió – AL, CD-ROM.

SECTMA (1998). Secretaria de Ciências, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco, *Plano Estadual de Recursos Hídricos do Estado de Pernambuco*. Recife – PE, V1, Parte II, Item 3, Caracterização das Unidades de Planejamento Hídrico.

SECTMA (2006). Secretaria de Ciências, Tecnologia e Meio Ambiente de Pernambuco. *Bacias Hidrográficas de Pernambuco*. Recife – PE, P18, pp. 46, 68 e pp.82.

SILVA, B. M. (2009). *Chuvas Intensas em Localidades do Estado de Pernambuco*. Dissertação de Mestrado, UFPE, Recife – PE, 124p.

SRHE (2011). Secretaria de Recursos Hídricos e Renováveis de Pernambuco. Disponível website em: <http://www.srhe.pe.gov.br>, em 02/06/2011.

SUDENE (1990). Superintendência de Desenvolvimento do Nordeste, *Dados Pluviométricos Mensais do Nordeste - Estado de Pernambuco – Séries Pluviométricas Nº 6*. Recife – PE, 363p.