



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE PERNAMBUCO
NÚCLEO DE TECNOLOGIA
CURSO DE ENGENHARIA CIVIL**

THOMAS FERNANDES DA SILVA

**TRABALHO DE CONCLUSÃO DO CURSO
ANÁLISE ESTATÍSTICA E TENDÊNCIA DAS
PRECIPITAÇÕES NO MUNICÍPIO DE CARUARU - PE**

Caruaru, Agosto / 2014

THOMAS FERNANDES DA SILVA

**ANÁLISE ESTATÍSTICA E TENDÊNCIA DAS
PRECIPITAÇÕES NO MUNICÍPIO DE CARUARU - PE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Centro
Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade
Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para
a disciplina **Trabalho de Conclusão de Curso 2**.

Área de concentração: Recursos Hídricos
Orientador: Prof. Dr. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva

Caruaru, Agosto / 2014

Catálogo na fonte:
Bibliotecária – Paula Silva CRB/4-1223

S586a Silva, Thomas Fernandes da.
Análise estatística e tendência das precipitações no município de Caruaru. / Thomas Fernandes da Silva. – Caruaru, 2014.
49f., il.; 30 cm.

Orientador: Anderson Luiz Ribeiro de Paiva.
Monografia (Trabalho de Conclusão de Curso) – Universidade Federal de Pernambuco, CAA, Engenharia Civil, 2014.
Inclui referências.

1. Análise estatística. 2. Chuvas – frequência da intensidade – Caruaru (PE). 3. Projetos de engenharia – Caruaru (PE). 4. Drenagem urbana. 5. Hidráulica (Engenharia Civil). I. Paiva, Anderson Luiz Ribeiro de (Orientador). II. Título.

620 CDD (23. ed.)

UFPE (CAA 2014-98)

THOMAS FERNANDES DA SILVA

**ANÁLISE ESTATÍSTICA E TENDÊNCIA DAS
PRECIPITAÇÕES NO MUNICÍPIO DE CARUARU - PE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do Centro
Acadêmico do Agreste - CAA, da Universidade
Federal de Pernambuco - UFPE, como requisito para
a disciplina **Trabalho de Conclusão de Curso 2**.

Área de concentração: Recursos Hídricos

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera o candidato
ALUNO APROVADO COM NOTA_____.

Caruaru, 07 de agosto de 2014.

Banca examinadora:

Prof. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientador)

Prof. Saulo de Tarso M. Bezerra _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Profa. Sylvana Melo dos Santos _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliadora)

Profa. Sylvana Melo dos Santos _____
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenadora da disciplina)

THOMAS FERNANDES DA SILVA

**ANÁLISE ESTATÍSTICA E TENDÊNCIA DAS
PRECIPITAÇÕES NO MUNICÍPIO DE CARUARU - PE**

Trabalho de conclusão de curso apresentado à
Coordenação do Curso de Engenharia Civil do
Centro Acadêmico do Agreste - CAA, da
Universidade Federal de Pernambuco - UFPE,
como requisito para a disciplina **Trabalho de
Conclusão de Curso 2.**

Área de concentração: Recursos Hídricos

A banca examinadora composta pelos professores abaixo, considera o candidato
ALUNO APROVADO COM NOTA 10,0.

Caruaru, 07 de agosto de 2014.

Banca examinadora:

Prof. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Orientador)

Prof. Saulo de Tarso M. Bezerra
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliador)

Profa. Sylvana Melo dos Santos
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Avaliadora)

Profa. Sylvana Melo dos Santos
Universidade Federal de Pernambuco – UFPE (Coordenadora da disciplina)

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus pais, Marilene Fernandes da Silva e Benildo Antônio da Silva, bem como aos meus irmãos Thyago e Thaysy Fernandes, e a minha noiva Jessyca Nunes, pelo carinho, incentivo e apoio nas minhas decisões.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente à Deus, pelo privilégio deste momento tão significativo.

Aos meus pais Marilene e Benildo, que nunca deixaram de acreditar em meus sonhos, com vocês aprendi o melhor desta vida. Obrigada pela educação, paciência, incentivo e contribuição, sem vocês eu não chegaria até aqui.

Aos meus irmãos Thaisy Fernandes e Thyago Fernandes, por toda colaboração, força e ombro amigo nas horas necessárias.

A minha noiva Jessyca Nunes, pela força, incentivo e amor desprendidos, que foram de grande contribuição para a conclusão deste curso.

A todos os professores que durante a graduação foram eixos fundamentais para minha Formação.

Ao professor D.Sc. Anderson Luiz Ribeiro de Paiva, pela exigência, confiança depositada, incentivo, dedicação e por todos os ensinamentos, que levarei por toda vida.

À professora D.Sc. Sylvana Melo dos Santos, por todas as orientações, correções e ensinamentos que foram de fundamental importância para conseguir chegar até aqui e que levarei por toda vida.

Ao Engenheiro Civil Manoel Figueiredo, pelo suporte na elaboração deste trabalho.

Agradeço a todos os professores por me proporcionar o conhecimento não apenas racional, mas a manifestação do caráter e afetividade da educação no processo de formação profissional, por tanto que se dedicaram a mim, não somente por terem me ensinado, mas por terem me feito aprender.

Aos técnicos de laboratório e colegas, Gilles, Everton, Glenda, Mariah, Tiago Florêncio, Valquíria, pelo apoio e troca de informações no desenvolvimento da pesquisa.

A Universidade Federal de Pernambuco Campos Agreste, pela oportunidade de fazer o curso.

Ao CNPq, por ter possibilitado e financiado esta pesquisa.

A todos que direta ou indiretamente fizeram parte da minha formação, o meu muito obrigado.

RESUMO

A crescente urbanização de forma desordenada das cidades brasileiras tem provocado impactos significativos na qualidade de vida da população. No processo de urbanização ocorre a substituição da cobertura vegetal, natural, por pavimentos impermeáveis e isso provoca alterações significativas em alguns componentes do ciclo hidrológico. Entre as alterações destaca-se: redução na taxa de infiltração e aumento no escoamento superficial, consequentemente essas alterações no ciclo hidrológico acarretam um aumento na frequência e proporção das inundações e alagamentos. Além de situações agravadas pela alteração do meio pelo homem, há as próprias alterações naturais, bastante discutida na questão das mudanças climáticas. Para qualquer trabalho hidrológico a premissa é o conhecimento do regime de chuvas daquela localidade. As equações de chuvas intensas são essenciais para os projetos hidráulicos e hidrológicos que necessitam definir a chuva de projeto para poder obter a vazão de projeto. Neste sentido, este trabalho teve como objetivo analisar o comportamento do regime pluviométrico do município de Caruaru, e suas chuvas intensas. Obteve-se os dados da estação estação Caruaru (24), localizada no IPA. Realizou-se estatística médias e totais, mensais e anuais, do histórico de 1969 até 2013, como também as chuvas intensas. Na análise de frequência das séries anuais, foi aplicado o modelo de distribuição de Gumbel. Análise de tendência foi realizada com o TREND. O regime pluviométrico caracterizou-se com valor médio total anual de 694,7 mm, com certa tendência de acréscimo dos totais anuais nos últimos anos. Em função da pouca quantidade de informações no estado de Pernambuco quanto às equações de chuvas intensas foi determinado às relações intensidade-duração-frequência. Para a análise de tendência não houve significância estatística com 10% dados de precipitação anual. No entanto, mostrou-se uma tendência crescente no período chuvoso e decrescente no período seco.

Palavras-chave: Precipitação, chuvas intensas, drenagem urbana.

ABSTRACT

Increasing urbanization in a disorderly manner in Brazilian cities has caused significant impacts on quality of life for population. On urbanization occurs replacement of vegetation cover, natural, by impermeable pavements occurs and this causes significant changes in some components of the hydrological cycle, they are: reduction in the infiltration rate and increased runoff, hence these changes in the hydrological cycle leads to increased frequency and proportion of floods, therefore, negatively affecting the quality of life of the population. These problems are due to a lack of development with sustainable planning, lack of control of land use, as well as occupation of risk areas and inadequate drainage systems or in poor condition. In addition to situations exacerbated by changing the way by man, there is his own natural changes, discussed enough on climate changing. For any work the premise is hydrological knowledge of rainfall that locale. The equations of intense rains are essential for the hydraulic and hydrological projects that require setting the rain project to be able to obtain the project flow. In this sense, this work had as objective to analyze the behavior of the rainfall regime in Caruaru city, and its intense rainfall. The data was obtained from Caruaru station (24), in IPA. Held the average and total statistics, monthly and annual, 1969 history until 2013, as well as the intense rainfall. In frequency analysis of annual series, was applied the Gumbel distribution model. Trend analysis was performed with the TREND software. The pluviometric regime was characterised with total average annual value of 694.7 mm, with a certain tendency of increase of the annual totals in recent years. Due to the small amount of information in the State of Pernambuco as equations of intense rainfall was determined to intensity-duration-frequency relationships. For the trend analysis there was no statistical significance with 10% annual rainfall data. However, proved to be a growing trend in rainy season and descending in the dry period.

Keywords: Precipitation, intense rainfall, urban drainage.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1	Variação da vazão com o tempo devido antes e depois da urbanização (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2005)	13
Figura 2	Localização do município de Caruaru	30
Figura 3	Série temporal da precipitação total anual na estação Caruaru-PE (24) (1969-2013)	36
Figura 4	Desvio de precipitação média mensal de todo o período (1969-2013) na estação Caruaru-PE	37
Figura 5	Gráfico Box-plot da precipitação média mensal, do posto Caruaru-PE (24), 1969-2013	38
Figura 6	Gráfico da média móvel da precipitação total anual a cada 2 anos, posto Caruaru 24	39
Figura 7	Gráfico da média móvel da precipitação total anual a cada 5 anos, posto Caruaru 24	39
Figura 8	Gráfico da média móvel da precipitação total anual a cada 10 anos, posto Caruaru 24	40
Figura 9	Gráfico da média móvel da precipitação total anual a cada 15 anos, posto Caruaru 24	40
Figura 10	Desvio de precipitação em torno da média mensal do período de 1969 a 1979, na estação Caruaru-PE (24)	41
Figura 11	Desvio de precipitação em torno da média mensal do período de 1970 a 1989, na estação Caruaru-PE (24)	42
Figura 12	Desvio de precipitação em torno da média mensal do período de 1990 a 1999, na estação Caruaru-PE (24)	42
Figura 13	Desvio de precipitação em torno da média mensal do período de 2000 a 2009 na estação Caruaru-PE (24)	43
Figura 14	Desvio de precipitação em torno da média mensal do período de 2010 a 2013 na estação Caruaru-PE (24)	43
Figura 15	Curva IDF para o período de 1969 a 2013 na estação Caruaru-PE (24)	44

LISTA DE QUADROS E TABELAS

Quadro 1	Dispositivo de infiltração e percolação	20
Tabela 1	Parâmetros estatísticos da precipitação média mensal (mm), na estação Caruaru-PE (24), no período de 1969 a 2013	37
Tabela 2	Resultados dos testes para precipitação total anual da estação Caruaru_PE (24), no período de 1969 a 2013.	45

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

%	Percentual
ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
APAC	Agência Pernambucana de Águas e Clima
CAA	Centro Acadêmico do Agreste
cm	Centímetro
IBGE	Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
IDF	Curva intensidade duração e frequência
LAMEPE	Laboratório de Meteorologia de Pernambucana
P	Precipitação
PCD	Plataforma de Coleta de Dados
PE	Pernambuco
UFPE	Universidade Federal de Pernambuco

SUMÁRIO

1.	INTRODUÇÃO	12
1.1	Objetivos	13
1.1.1	Objetivo geral	13
1.1.2	Objetivos específicos.....	14
2.	REFERENCIAL TEÓRICO.....	15
2.1.	Ciclo hidrológico.....	15
2.2.	Drenagem urbana.....	16
2.3.	Chuvas intensas	22
2.4.	Aquisição de dados hidrológicos	22
2.5.	Conceitos estatísticos fundamentais	23
2.5.1	Séries históricas	23
2.5.2	Análise de consistência e preenchimento de falhas.....	23
2.5.3	Frequência.....	24
2.5.4	Estatística descritiva.....	27
2.5.5	Análise de tendência	29
3.	MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
3.1.	Área de estudo	30
3.2.	Levantamento dos dados pluviométricos	30
3.3.	Análise estatística	30
3.4.	Análise de frequência das chuvas	31
3.5.	Análise de tendência das precipitações.....	32
4.	RESULTADOS E DISCUSSÕES	36
4.1.	Análise dos dados de pluviometria	36
4.2.	Análise de chuvas intensas.....	44
4.3.	Análise de tendência da precipitação anual.....	44
5.	CONSIDERAÇÕES FINAIS	46
6.	REFERÊNCIAS	47

1. INTRODUÇÃO

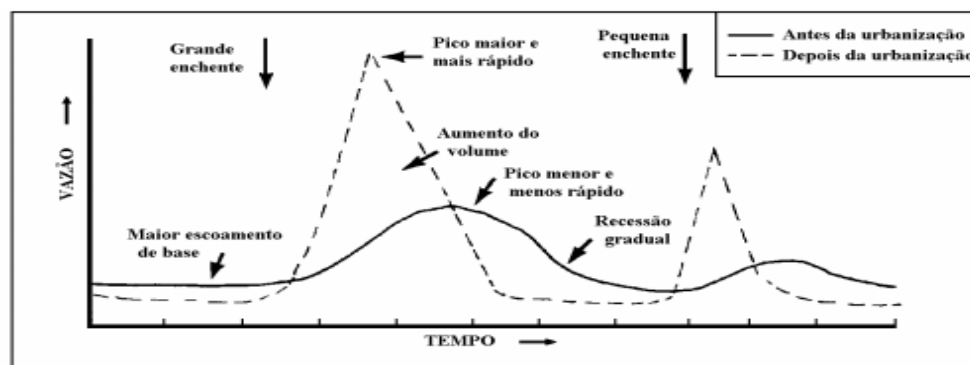
As cheias urbanas são eventos naturais que podem causar vítimas, prejuízos sociais e prejuízos econômicos diversos. Frequentemente, é noticiado que uma chuva causou uma enchente em algum município brasileiro, provocando graves consequências. Em alguns eventos extremos existem perdas provocadas por cheias que são majoradas pela má concepção ou pela falta de manutenção dos dispositivos de drenagem urbana. Outras se devem à ocupação inadequada de planícies de inundação e de pontos naturalmente alagáveis das bacias hidrográficas. Além disso, com alguma frequência, ocorrem precipitações que geram escoamentos superficiais superiores à capacidade do sistema de drenagem.

O desenvolvimento das cidades traz um agravamento das condições de escoamento superficial, principalmente quando não há planejamento urbano adequado. Em diversos países do mundo o manejo sustentável das águas pluviais urbanas tem exigido novas abordagens para enfrentar os problemas da urbanização crescente, em especial o aumento dos picos de vazão e a poluição das águas pluviais.

Quando a urbanização de uma área é iniciada, inúmeras alterações físicas ocorrem na região. São alterados, por exemplo, as camadas mais superficiais do solo, a cobertura vegetal e a topografia do terreno. Com isso, os escoamentos distribuídos que ali ocorriam são direcionados a ruas e valas, a infiltração no terreno e a retenção por vegetais são reduzidas e a água disponível na superfície aumenta, podendo ocorrer grandes concentrações de água indesejáveis em pontos diversos da cidade.

De acordo com o gráfico apresentado na Figura 1, observa-se que antes da urbanização a vazão se apresenta bem distribuída ao longo do tempo, porém, após a urbanização ocorre um pico de vazão bem maior e mais rápido, que poderão resultar em problemas de alagamento e inundações nas áreas a montante do ponto onde ocorre esse pico de vazão.

Figura 1 - Variação da vazão antes e depois da urbanização (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2005).



Outro ponto a considerar é que as chuvas não se distribuem uniformemente. O evento de precipitação pluviométrica possui em geral uma parte central com maior intensidade e vai suavizando a intensidade quando se afasta do núcleo. Além disso, a orografia também influencia na variabilidade espacial da chuva.

Os problemas de alagamentos e inundações se agravam com intensidades de precipitação altas. A equação de chuvas intensas aplicável aos municípios do Estado de Pernambuco foi determinada, em 1997, após a apresentação da proposta do Plano Diretor da Macrodrenagem da Região Metropolitana da cidade do Recife em 1985 pela Acquaplan Estudos e Projetos (SILVA *et al.*, 2012). No entanto, uma equação intensidade-duração-frequência (IDF) não deveria ser aplicada para regiões tão distintas de variabilidade de chuvas como ocorre no estado, mesmo sabendo que para o litoral as chuvas são mais intensas, os demais municípios podem estar superestimando as medidas de vazões de projeto. Dessa forma, é importante um melhor conhecimento do regime pluviométrico local com análise de suas chuvas intensas.

1.1 Objetivos

1.1.1 Objetivo geral

O objetivo geral deste trabalho de conclusão de curso é analisar o regime e a tendência das precipitações e suas chuvas intensas no município de Caruaru utilizando análise estatística.

1.1.2 Objetivos específicos

- Analisar o regime de precipitações totais mensais, totais anuais e chuvas intensas;
- Analisar a tendência das precipitações: total anual, semestral, mês mais chuvoso, mês mais seco, e chuvas intensas;

2. REFERENCIAL TEÓRICO

2.1. Ciclo hidrológico

De acordo com Azevedo (2010), o ciclo hidrológico pode ser dividido nas seguintes etapas: precipitação, interceptação, infiltração, escoamento superficial, escoamento subterrâneo, transpiração e evaporação. A precipitação ocorre quando o vapor d'água presente na atmosfera se aglutina formando micro gotículas, que se agrupam até adquirirem tamanho suficiente para precipitar sob a forma de chuva, neve ou granizo. Parte desta precipitação não chega a tocar o solo, ficando retida na vegetação até ser evaporada ou alcançar o solo, quando a precipitação exceder a capacidade de retenção da vegetação, ou pela ação dos ventos. A infiltração ocorre até a intensidade de precipitação não exceder a capacidade de infiltração do solo enquanto a superfície do solo não tiver saturada.

Ainda segundo o mesmo autor o escoamento superficial inicia-se quando a capacidade de retenção da vegetação for excedida e o solo superficial já tiver taxa de infiltração superada pela intensidade da precipitação. Em seguida a água é impulsionada pela gravidade para as partes mais baixas do solo, aonde vão se acumulando e formando cursos d'água, que continuam fluindo até encontrar riachos que formarão rios, de porte cada vez maior, até atingir um oceano ou lago. O escoamento subterrâneo ocorre quando a porção de precipitação infiltrada se desloca até os aquíferos subterrâneos, escoando de forma bastante lenta.

O ciclo hidrológico em nível global é um sistema fechado de circulação de água, onde os volumes evaporados em um determinado local do planeta não precipitam necessariamente no mesmo local, devido aos movimentos contínuos, com dinâmicas diferentes, na atmosfera, e também na superfície terrestre. O ciclo hidrológico, a nível local, pode ser afetado diretamente pelo processo de urbanização, uma vez que o aumento das áreas impermeáveis e a redução das áreas verdes favorecem o escoamento superficial e reduzem o volume de água pluvial que deveria infiltrar no solo natural. Além do mais, com a redução das áreas verdes, a água tende cada vez mais a retornar à atmosfera por meio de evaporação apenas, visto que a diminuição da quantidade de vegetação em uma região é acompanhada pela redução do índice de transpiração, tornando-se assim um dos fatores que contribui para a redução da taxa de evapotranspiração local.

2.2. Drenagem urbana

De acordo com Tucci (2005), o comportamento do escoamento superficial depende essencialmente da cobertura da bacia, de sua declividade e do sistema de drenagem. O fluxo superficial é resultado da água precipitada que não foi interceptada pela cobertura vegetal, ou retida pelos valos e não infiltrou, que escoar através dos caminhos de maior declividade e menor obstrução, até encontrar um dreno definido, como a sarjeta de uma área urbana.

De acordo com Braga (1994 *apud* CANHOLI, 2005), a maioria dos países em desenvolvimento, incluindo o Brasil, apresentou nas últimas décadas uma urbanização com precária infraestrutura de drenagem, ocasionando problemas de inundação decorrentes da rápida expansão da população urbana, do baixo nível de conscientização do problema, da inexistência de planos de longo prazo, da utilização precária de medidas não estruturais e da manutenção inadequada dos sistemas de controle de cheias.

Segundo Canholi (2005), o aumento da velocidade do escoamento transfere para a jusante o problema de redução de espaços naturais. Quanto menor for o tempo de concentração maior será o pico da vazão a jusante. Isso frequentemente tem trazido inundações em áreas que antes não sofriam com esses problemas, visto que a ocupação urbana nos vales geralmente se desenvolve no sentido de jusante para montante.

Segundo Sheaffer & Wright (1982 *apud* CANHOLI, 2005), os planos diretores de drenagem normalmente recomendam a construção de mais obras de galerias e canalizações, consequentemente sobrecarregam rios e córregos, afetando as populações mais rarefeitas.

De acordo com Canholi (2005), as medidas de controle que visam minimizar os danos das inundações são classificadas, de acordo com sua natureza, em medidas estruturais e medidas não estruturais. As medidas estruturais são obras que podem ser implantadas com a finalidade de correção e/ou prevenção dos problemas decorrente das inundações. Medidas não estruturais são aquelas que têm por objetivo reduzir os danos ou as consequências das inundações através da introdução de normas, regulamentos e programas que visem, por exemplo, à implementação de sistemas de alerta e à conscientização da população para a manutenção dos dispositivos de drenagem.

Segundo Tucci & David (1997 *apud* GERMANO, 2000), os dados hidrológicos de bacias urbanas, principalmente no Brasil, são escassos devido às altas velocidades dos escoamentos e às rápidas variações nos níveis de água. Essa combinação dificulta o monitoramento destas bacias, pois se devem ter linígrafos e pluviômetros que permitam discretização de qualquer tempo. Devido à rapidez dos eventos chuvosos, nem sempre os

tempos verdadeiros são conhecidos. Além disso, o estabelecimento da curva de descarga depende dos seguintes fatores: da rapidez na medição da descarga, das obstruções do escamento, estabilidade da seção e efeitos de jusante.

No projeto da urbanização de uma área, a preservação da infiltração da precipitação permite manter condições mais próximas das condições naturais. A seguir, no Quadro 1, serão apresentados alguns dispositivos que permitem maior infiltração e percolação e as suas características principais (PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE, 2005).

Quadro1 - Informações sobre dispositivo de infiltração e percolação.

Dispositivo	Características	Vantagens	Desvantagens	Condicionantes físicos para a utilização da estrutura
Planos e valos de infiltração com drenagem	Gramados, áreas com seixos ou outro material que permita a infiltração natural.	Permite infiltração de parte da água para o subsolo. O decreto permite reduzir a área impermeável do escoamento que drena para o plano em 40%.	Para planos com declividade > 0,1% a quantidade de água infiltrada é pequena e não pode ser utilizado para reduzir a área impermeável; o transporte de material sólido para a área de infiltração pode reduzir sua capacidade de infiltração.	Profundidade do lençol freático no período chuvoso maior que 1,20 m. A camada impermeável deve estar a mais de 1,20 m de profundidade. A taxa de infiltração do solo quando saturado não deve ser menor que 7,60 mm/h.
Planos e valos de infiltração sem drenagem	Gramados, áreas com seixos ou outro material que permita a infiltração natural.	Permite infiltração da água para o sub-solo. O decreto permite reduzir a área impermeável do escoamento que drena para o plano em 80%.	O acúmulo de água no plano durante o período chuvoso não permite trânsito sobre a área. Planos com declividade que permita escoamento para fora do mesmo.	Profundidade do lençol freático no período chuvoso maior que 1,20 m. A camada impermeável deve estar a mais de 1,20 m de profundidade. A taxa de infiltração do solo quando saturado não deve ser menor que 7,60 mm/h.

Quadro1 - Informações sobre dispositivo de infiltração e percolação. (Continuação)

Dispositivo	Características	Vantagens	Desvantagens	Condicionantes físicos para a utilização da estrutura
Pavimentos permeáveis	Superfícies construídas de concreto, asfalto ou concreto vazado com alta capacidade de infiltração.	Permite infiltração da água. O decreto permite reduzir a área impermeável do escoamento que drena para o plano em 80%.	Não deve ser utilizado para ruas com tráfego intenso e/ou de carga pesada, pois a sua eficiência pode diminuir.	Profundidade do lençol freático no período chuvoso maior que 1,20 m. A camada impermeável deve estar a mais de 1,20 m de profundidade. A taxa de infiltração do solo quando saturado não deve ser menor que 7,60 mm/h.
Poços de infiltração, trincheiras de infiltração e bacias de percolação	Volume gerado no interior do solo que permite armazenar a água e infiltrar.	Redução do escoamento superficial e amortecimento em função do armazenamento.	Pode reduzir a eficiência ao longo do tempo dependendo da quantidade de material sólido que drena para a área.	Profundidade do lençol freático no período chuvoso maior que 1,20 m. A camada impermeável deve estar a mais de 1,20 m de profundidade. A taxa de infiltração do solo quando saturado não deve ser menor que 7,60 mm/h. Para o caso de bacias de Percolação a condutividade hidráulica saturada não deve ser menor que 2.10^{-5} m/s.

Fonte: Prefeitura Municipal de Porto Alegre (2005).

2.3. Chuvas intensas

De acordo com Back, Oliveira & Henn (2012), no Brasil devido à escassez de equipamentos registradores de intervalo horário (pluviógrafos), os dados de menor duração dificilmente são disponíveis. E, quando existe, são séries relativamente curtas que apresentam muitas falhas nos registros de dados. No entanto, existe relativa facilidade de se obter dados de duração diária.

Segundo Silva *et al.* (2002), devido à grande dificuldade de obtenção de dados de pluviógrafos, a maioria dos estudos de chuvas intensas possui séries de extensão menores que as recomendadas pela Organização Mundial de Meteorologia (OMM), que é de 30 anos.

De acordo com Bruno *et al.* (2012), Pernambuco, como a maioria dos estados brasileiros, apresenta limitações referentes à disponibilidade de dados para construção de equações de chuvas intensas, tanto em termos de densidade como também em relação ao pequeno período de observação disponível. Sendo assim, os projetos de obras hidráulicas acabam por utilizar as informações dos postos pluviográficos mais próximos das localidades onde se deseja executar a obra, contudo isso pode gerar estimativas pouco confiáveis devido à grande variabilidade espacial dos dados de precipitação pluviométrica.

Oliveira *et al.* (2005), desenvolveram relações de curvas IDF para algumas localidades dos estados de Goiás e Distrito Federal empregando a metodologia de desagregação de chuvas diárias. As relações geradas utilizando esta metodologia apresentou desvios relativos médio que variaram de -1,6 a 43,9%, para algumas localidades, limitando sua utilização nos locais onde não se ajustaram as equações de regressão.

2.4. Aquisição de dados hidrológicos

A precipitação pode ser quantificada através de dois instrumentos meteorológicos: o pluviômetro e o pluviógrafo. A diferença entre eles é que o pluviógrafo registra os dados automaticamente e o pluviômetro registra os dados através de leituras manuais em intervalos de tempo fixo.

Além destes dois aparelhos citados acima, os radares meteorológicos também são capazes de estimar as precipitações, porém são pouco utilizados. O radar meteorológico é um sistema que opera em um comprimento de onda, refletido pelas precipitações, em que a intensidade da onda refletida relaciona-se com a intensidade da chuva.

As plataformas de coleta de dados, ou PCD, são equipamentos automáticos, que utilizam sensores capazes de medir não só a precipitação, mas outras variáveis climatológicas como a velocidade do vento, umidade do ar, temperatura, radiação solar, pressão atmosférica, entre outras. Para medição da precipitação as PCDs utilizam pluviógrafos, normalmente com sistema de balança que contabilizar os pulsos no tempo.

2.5. Conceitos estatísticos fundamentais

Segundo Tucci (2001), a precipitação é um processo aleatório, onde para poder prever sua ocorrência é necessário utilizar técnicas estatísticas de eventos passados. Sendo assim, os estudos estatísticos permitem verificar com que frequência as precipitações ocorreram com uma dada magnitude, estimando as probabilidades teóricas de recorrência das mesmas. Portanto, o conhecimento estatístico das características das precipitações apresenta grande interesse de ordem técnica na engenharia, por sua frequente aplicação nos projetos associados ao aproveitamento de recursos hídricos.

2.5.1 Séries históricas

O armazenamento de dados hidrológicos ao longo dos períodos é compreendido como séries históricas. Nos estudos hidrológicos é comum o emprego das seguintes séries: série anual, série total e série parcial. A série anual analisa as maiores precipitações observadas em cada ano, esta série em geral ajusta-se bem às distribuições de valores. A série total observa todas as ocorrências de precipitações, sendo assim, esta série agrupa um grande volume de dados. A série parcial é uma simplificação da série total, pois analisa apenas as precipitações acima de um certo valor-base de referência, tido como intenso e como não se ajusta, às distribuições de valores extremos, não podem ser utilizadas para grandes períodos de retorno, limitando-se a um período de retorno maior que a metade do tempo observado.

2.5.2 Análise de consistência e preenchimento de falhas

As séries, mesmo com o tratamento preliminar dos dados, geralmente apresentam falhas ou lacunas, no entanto, necessita-se trabalhar com séries contínuas. Sendo assim, estas falhas devem ser preenchidas, utilizando algum método de preenchimento de falhas. Após o preenchimento da série, é necessário analisar a consistência desses dados preenchidos.

O método geralmente utilizado no Brasil para análise de consistência é o método de dupla massa. Segundo Tucci (2001), este método compara os valores acumulados anuais (ou mensais) de uma estação com os valores acumulados de outra, de referência. A estação de

referência, geralmente, é obtida através de uma função, que pode ser linear ou não, de diversos postos vizinhos de comportamento similar, sendo assim, se os dados do posto analisado forem proporcionais aos dados do posto de referência os pontos se alinharão em uma única reta, de forma que a declividade da reta irá determinar o fator de proporcionalidade entre ambas as séries.

Segundo Alexandre (2009), uma eventual mudança no regime de precipitação do posto analisado, indica que alguma inconsistência sistemática pode ter afetado as observações pluviométricas da estação, que deve ser corrigida com o emprego da Equação 1:

$$P_c = P_{a*} + \frac{M_a}{M_o} \cdot (P_0 - P_{a*}) \quad (1)$$

Onde:

P_c = precipitação acumulada ajustada à tendência desejada;

P_{a*} = valor da ordenada correspondente à intersecção das duas tendências;

M_a = coeficiente angular da tendência desejada;

M_o = coeficiente angular da tendência a corrigir;

P_0 = valor acumulado a ser corrigido;

Quando o gráfico apresentar alguma modificação de tendência, o preenchimento deverá ser revisado.

2.5.3 Frequência

A frequência é o número de ocorrências igualadas ou superadas de uma determinada precipitação ao longo de período observado, em anos.

Segundo Catalunha *et al.* (2002), cada distribuição de frequência apresenta uma determinada forma, onde a mesma pode ser aproximada utilizando as equações de densidade de probabilidade com alguns parâmetros extraídos da amostra analisada. Ainda segundo os autores, foi testado diferentes funções de densidade de probabilidade aos dados pluviométricos do estado de Minas Gerais, os mesmos observaram que para as precipitações diárias, a distribuição que melhor se ajustou foi a distribuição *Weibull*, com exceção dos decênios do período seco, onde a distribuição exponencial apresentou melhor ajuste. Observaram também que para os valores totais de precipitação no período seco, a distribuição

exponencial foi a que melhor se ajustou; no entanto no período chuvoso, prevaleceram as distribuição de *Weibull*, exponencial, gama e normal.

De acordo com Catalunha *et al.* (2002), a distribuição exponencial é geralmente aplicada a dados com forte assimetria e sua função de densidade de probabilidade é dado pela Equação 2:

$$f(x) = \begin{cases} \frac{\exp(-\frac{x}{\bar{x}})}{\bar{x}}; & \text{para } x > 0 \\ 0; & \text{para } x < 0 \end{cases} \quad (2)$$

Sua função de distribuição acumulada é dada pela Equação 3:

$$F(x) = \int_0^x f(x) = 1 - \exp\left(-\frac{x}{\bar{x}}\right) \quad (3)$$

Onde: $\bar{x}$: média dos parâmetros.

A função de probabilidade de ocorrência de um evento menor ou igual a x, é dado pela Equação 4, função de distribuição acumulada de probabilidade:

$$F(x) = \left\{ \frac{1}{\beta^{\alpha} \Gamma(\alpha)} x^{\alpha-1} e^{-\frac{x}{\beta}} du, 0 < x < \infty \right. \quad (4)$$

Onde:

$F(x)$ = probabilidade de ocorrer um valor menor ou igual a x;

x = variável aleatória contínua;

$\Gamma(\alpha)$ = função gama do parâmetro alfa;

α = parâmetro de forma da variável aleatória x;

β = parâmetro de escala da variável aleatória x;

e = base do logaritmo neperiano (2,718281828...);

A função de distribuição log-normal, assume que os logaritmos das variáveis aleatórias são normalmente distribuídos e dado pela Equação 5.

$$F(x) = \frac{1}{(x-a)\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{[\ln(x-a)-\mu]^2}{2\sigma^2}\right) \quad (5)$$

A função de densidade da distribuição log-normal é representada pela Equação 6.

$$F(a \leq x \leq b) = \int_a^b \frac{1}{x\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{[\ln(x-a)-\mu]^2}{2\sigma^2}\right) dx \quad (6)$$

Onde:

$F(x)$ = probabilidade da variável ser menor ou igual a x ;

μ = média dos logaritmos da variável x ;

σ = desvio-padrão dos logaritmos da variável x ;

a = limite inferior da mostra;

b = limite superior da amostra;

A importância em análise matemática da distribuição normal resulta do fato de que muitas técnicas estatísticas, como análise de variância, regressão e alguns testes de hipótese, assumem ou exigem normalidade dos dados. Sua função de densidade de probabilidade é apresentada pela Equação 7.

$$f(x) = \begin{cases} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) & \text{para } x \geq 0 \\ 0 & \text{para } x < 0 \end{cases} \quad (7)$$

A função de densidade da distribuição normal é representada pela expressão abaixo.

$$f(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} \int_{-\infty}^x \exp\left(-\frac{(x-\mu)^2}{2\sigma^2}\right) dx \quad (8)$$

A distribuição de probabilidade Weibull é apresentada de diversas formas sendo a mais comum em alguns trabalhos que está apresentada na Equação 9:

$$f(x) = \frac{\gamma}{\beta} \left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^{\gamma-1} \exp\left[-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^{\gamma}\right] \text{ para } x \geq \alpha \quad (9)$$

A sua função de distribuição acumulada é dada pela Equação 10:

$$F(x) = \int_0^{\infty} f(x) dx = 1 - \exp\left[-\left(\frac{x-\alpha}{\beta}\right)^{\gamma}\right] \quad (10)$$

De acordo com Naghettini & Pinto (2007), a distribuição de valores extremos mais utilizada na análise de frequência de variáveis hidrológicas, com inúmeras aplicações na determinação de relações de intensidade-duração-frequência de precipitações intensas é a distribuição de Gumbel.

A distribuição de Gumbel apresenta a seguinte função de probabilidade dada pela Equação 11:

$$PT = X + (Y - Y_n) * \frac{S}{S_n} \quad (11)$$

Onde:

PT - precipitação máxima com período de retorno T anos;

X - média da série de máximas anuais;

S - desvio padrão da série de máximas anuais;

Y_n - média da variável reduzida;

S_n - desvio padrão da variável reduzida;

Y - variável reduzida calculada pela equação (12);

$$Y = -\ln\{-\ln(1 - \frac{1}{T})\} \quad (12)$$

Onde:

T- período de retorno;

2.5.4 Estatística descritiva

A estatística descritiva é de fundamental importância para a análise de informações relevantes que está no interior de um volume maior de dados através de um número bem menor de valores ou medidas características ou mesmo através de gráficos. Para analisar o comportamento de uma série de dados a estatística descritiva utiliza medidas de localização, medidas de dispersão e medidas de forma de distribuição.

Segundo Vicente (2005), a análise utilizando a média deve considerar as limitações desse recurso estatístico, principalmente na análise da precipitação devido à sua grande variabilidade no tempo e espaço. Segundo Wisler & Brater (1964 *apud* VICENTE, 2005), a média é uma ferramenta indicada para séries com mais de 30 anos, pois dados referentes a

30/40 anos de duração, com toda probabilidade fornecerão a média real de precipitação a longo prazo, com erro médio de cerca de 2%.

A moda é uma ferramenta que indica o valor que possui a maior frequência no caso de dados discretos, porém se os dados forem contínuos esta fornece o intervalo de classe que possui a maior frequência.

A mediana representa o valor que divide os dados ordenados ao meio, separando os dados em dois grupos, onde metade tem valores maiores e a outra metade consequentemente têm valores menores que a mediana. Se a amostra apresenta número ímpar de elementos a mediana é o elemento médio, caso contrário ela é obtida através da média dos elementos médios.

Os quartis têm como finalidade a separação de grupos de valores. Os quartis mais comuns são os quartis inferior e superior, $Q1$ e $Q3$, que definem os valores correspondentes a 25% e 75% dos valores analisados na série de dados.

A variância, desvio padrão, coeficiente de variação, amplitude, entre outros são definidos como medidas de dispersão, pois permitem medir a variabilidade presente em um conjunto de dados.

A variância é obtida somando os quadrados dos desvios observados na amostra, relativos a sua média, e dividindo estes desvios pelo número de observações da amostra menos um, para a análise de amostra. Sendo assim, quanto menor for a variância, mais homogênea será a amostra.

O desvio padrão corresponde a raiz quadrada da variância, consequentemente se os desvios forem pequenos a amostra possui grande homogeneidade.

O formato da distribuição também pode ser avaliado através da análise da simetria e da curtose. A distribuição é simétrica quando a média amostral divide o histograma em duas metades iguais, caso contrário a distribuição é considerada assimétrica. A assimetria pode ser positiva, quando a distribuição apresenta alongamento para o lado direito, e pode ser negativa, quando o alongamento da distribuição está para o lado esquerdo.

A curtose possui relação com o grau de achatamento e afunilamento da curva que descreve a distribuição, se a curva for afunilada indica uma elevada proporção dos dados aglomerados junto do centro, no entanto se a curva for achatada, indica que os dados estão espalhados ao longo de uma grande amplitude.

Sobre os valores obtidos para esta medida de forma, o valor positivo indica que os dados estão concentrados no centro e que a distribuição apresenta uma forte elevação nesse lugar, trata-se de uma distribuição leptocúrtica; no entanto se o valor for negativo indica que

os dados estão dispersos e que a distribuição é mais achatada do que a curva normal, apresentado uma distribuição platicúrtica. A distribuição normal, tem curtose igual a zero e é chamada de mesocúrtica.

2.5.5 Análise de tendência

A análise das possíveis tendências são verificadas mediante testes estatísticos, a fim de avaliar o grau de significância dessas alterações.

Segundo Naghettine & Pinto (2007), esses testes estatísticos envolvem a formulação de uma hipótese baseada em uma declaração sobre o comportamento probabilístico da variável hidrológica em questão. A rejeição ou não da hipótese formulada a princípio dependerá do confronto entre a conjectura e a realidade, baseando-se em uma certa probabilidade ou nível de significância α definido previamente.

Segundo Back (2001), o teste de *Mann-Kendall* considera que na hipótese de estabilidade de uma série temporal, a sucessão de valores ocorre de forma independente, e a distribuição de probabilidade deve permanecer sempre a mesma (série aleatória simples).

Segundo Goossens & Berger (1986), o teste *Mann-Kendall* é o método mais adequado para analisar as mudanças climáticas em séries climatológicas e permite também a detecção e localização aproximada do ponto inicial de determinada tendência.

De acordo com Back (2001), o teste *Run* é um teste não paramétrico que geralmente é utilizado para avaliar se uma série ocorre aleatoriamente, ou seja, o teste consiste em realizar a contagem do número de oscilações dos valores acima e abaixo da mediana, em uma determinada série de dados ordenada. Este número de oscilações é chamado de *Run*, e deve-se testar se o valor observado está dentro da faixa de distribuição considerada normal. Um valor alto indica muitas oscilações e os valores baixos indicam um desvio em relação a mediana durante o período de registros.

O *software* TREND é um programa projetado para facilitar a utilização de testes estatísticos para detecção de tendências, mudanças e independência de uma série de dados. O TREND é um produto da *Cooperative Research Center for Catchment Hydrology* (CRCCH) e o seu desenvolvimento científico, incluindo os testes, são de responsabilidade de Francis Chiew e Lionel Siriwardenar. O TREND mostra como saída de dados o valor da estatística teste, os valores críticos da estatística teste para os níveis de significância $\alpha=0,1$, $\alpha=0,05$, e $\alpha=0,01$ e uma declaração do resultado do teste para todos os testes estatísticos selecionado pelo usuário.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de estudo

O município de Caruaru está localizado na região do semiárido pernambucano (Figura 2) e é integrante do polo de desenvolvimento têxtil do Agreste. Sendo assim, possui grande desenvolvimento urbanístico, de acordo com o IBGE (2010), com uma população de 314.912 habitantes e área de 921 Km².

Figura 2 - Localização do município de Caruaru.



Fonte: Adaptado de Santos *et al.* (2011).

3.2. Levantamento dos dados pluviométricos

Foram coletados dados pluviométricos para a região de Caruaru, disponibilizados através da Agência Pernambucana de Águas e Clima - APAC (2014) e dados horários disponibilizados pelo Laboratório de Meteorologia de Pernambuco - LAMEPE (2014). Todos os dados foram obtidos da estação Caruaru (24), localizada no IPA. Os mesmos foram armazenados em um banco de dados com o propósito de consolidar uma série histórica com os dados pluviométricos do município de Caruaru. A série histórica consta de dados a partir de 1969.

3.3. Análise estatística

Na análise estatística será realizada a análise descritiva dos dados de precipitação mensal e anual, sendo obtidos: a média, a mediana, o desvio padrão, o valor mínimo e máximo, o limite inferior e superior do intervalo de confiança de 95% para média, coeficiente

de curtose, coeficiente de variância e o coeficiente de assimetria. Serão determinados também os valores discrepantes (*outliers*), através do gráfico tipo Box-plot, como também o gráfico com precipitação total anual e médias móveis 2, 5, 10 e 15 anos. Com o objetivo de determinar o período seco e o período chuvoso do município, trabalhou-se com o valor médio mensal obtido da precipitação média anual acumulada no período de 1969 a 2013, obtendo-se essa média como valor de referência. Considerando esse valor como o limite entre o período seco e o período chuvoso, fez-se a diferença do valor médio de cada mês por ele e construiu-se o gráfico de todo o histórico (1969 a 2013), e os gráficos a cada 10 anos.

Esta análise terá como objetivo, verificar a variabilidade temporal da precipitação no município analisado.

3.4. Análise de frequência das chuvas

Para a estimativa da frequência de chuva, será utilizada a distribuição de Gumbel-Chow, obtida a partir das Equações 11 e 12.

Para avaliar a qualidade dos ajustes das distribuições estatísticas foi utilizado o coeficiente de determinação (R^2), calculado a partir da Equação 13. O coeficiente de determinação R^2 determina a proporção da variância nos valores experimentados que podem ser atribuídos aos observados, varia entre o valor nulo e a unidade, e quanto mais próximo da unidade estiver esse coeficiente, mais bem correlacionados estarão os dados empíricos e teóricos.

$$R^2 = \left[\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})(y_i - \bar{y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \cdot \sum_{i=1}^n (y_i - \bar{y})^2}} \right]^2 \quad (13)$$

Onde:

x_i e y_i = valores medidos de ambas variáveis;

$\bar{x}$ e $\bar{y}$ = média dos valores das variáveis medidas;

Neste estudo serão estimados os valores de chuva para os períodos de retorno de 2, 5, 10, 20, 25, 50 e 100 anos.

Para a obtenção das alturas pluviométricas máximas anuais para pequenas durações, foi obtido as durações máximas de 24 horas a partir do histórico de 1969 a 2013 do posto Caruaru_PE (24). Em seguida foi utilizado a metodologia de desagregação de chuvas diárias para tempos menores, proposta pela CETESB (1986). Sendo assim, foram determinadas as

alturas máximas correspondente as durações de 5, 10, 20, 30, 60, 360, 480, 600, 720, e 1440. Portanto, foram geradas as séries de máximas precipitações anuais para cada duração e em seguida foi obtida a curva IDF.

A equação utilizada neste estudo para relacionar a intensidade, duração e frequência da precipitação pluviométrica é apresentada na figura 14. Segundo Tucci (2001), as curvas IDF também podem ser ajustadas a equações genéricas, que fornecem relações matemáticas entre a intensidade, duração e frequência das precipitações. Essas equações são denominadas de equações de chuvas intensas, e são geralmente expressas pela equação 14:

$$i = \frac{k T^a}{(t+b)^c} \quad (14)$$

Onde:

i = intensidade da chuva;

T = período de retorno;

t = duração da chuva;

a, b, c, d = parâmetros adimensionais relativos à localidade;

Para obtenção dos parâmetros empíricos foi utilizado a metodologia de regressão linear por meio dos mínimos quadrados. Para utilizar a regressão linear, foi realizado uma linearização na equação 14 através da aplicação dos logaritmos.

O parâmetro “b” da Equação 14 foi escolhido a partir da aplicação do método dos mínimos quadrados, que transforma as curvas obtidas, para cada tempo de retorno, em uma reta, com o intuito de obter uma estimativa inicial do valor do parâmetro “b”. O valor de “b” foi ajustado conforme o que apresentar o maior coeficiente de determinação R^2 da correlação linear entre $\log(i)$ e $\log(t+b)$ para todos os períodos de retorno. Sendo assim, utilizando os gráficos das curvas, escolhe-se o valor de “b” que apresente o melhor coeficiente de determinação R^2 para as retas obtidas.

O valor médio do parâmetro “c” da Equação 14 é calculado através da média entre os valores encontrados em cada reta de cada período de retorno estudado, enquanto os valores de $\log(A)$ servem para determinação dos parâmetros “a” e “K”. De modo semelhante, os valores de $\log(A)$, anteriormente obtidos, e $\log(Tr)$ são correlacionados para determinação dos valores de “a” e “K” da reta de regressão.

3.5. Análise de tendência das precipitações

Para analisar a tendência das precipitações, foi utilizado o software TREND, que é um programa elaborado para facilitar a utilização de testes estatísticos de detecção de tendências,

mudanças e independências de séries temporais. No TREND são avaliados os seguintes testes de tendência: *Mann-Kendall*, *Spearman's Rho*, Regressão Linear, *CUSUM*, *Cumulative Deviation*, *Worsleu likelihood*, *Rank Sum*, *Student's t*, *Median Crossing*, *Turning Point*, *Rank Difference* e *Autocorrelação*.

Dos testes citados anteriormente, os testes *Mann-Kendall*, *Spearman's Rho* e Regressão Linear analisam tendências; os testes *CUSUM*, *Cumulative Deviation*, *Worsleu likelihood*, *Rank Sum* e *Student's t* analisam mudanças abruptas; e os testes *Median Crossing*, *Turning Point* e *Rank Difference* e *Autocorrelação* analisam independência de séries temporais (ALEXANDRE, 2009).

No teste *Mann-Kendall*, os n valores da série temporal ($x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$) são reorganizados de acordo com a sua ordem de classificação ($R_1, R_2, R_3, \dots, R_n$) (ordem crescente dos valores), sendo que a estatística de teste S é calculado conforme a Equação 15:

$$S = \sum_{i=1}^{n-1} \left[\sum_{j=i+1}^n \text{sgn}(R_j - R_i) \right] \quad (15)$$

Onde:

$\text{sgn} = 1$ para $x > 0$;

$\text{sgn} = 0$ para $x = 0$;

$\text{sgn} = -1$ para $x < 0$;

Se a hipótese nula (H_0) é verdadeira, então S é aproximadamente normalmente distribuída com $\mu = 0$ e:

$$\sigma = \frac{n(n-1)(2n+5)}{18} \quad (16)$$

A estatística de teste é obtida pela Equação 17.

$$Z = \frac{|S|}{\sigma^{0,5}} \quad (17)$$

Os valores críticos da estatística de teste para vários níveis de significância podem ser obtidos a partir de tabelas de probabilidade normal.

Portanto, um valor positivo de S indica tendência positiva nos dados e um valor negativo de S indica tendência negativa dos dados.

O teste *Spearman's Rho* é baseado em ranks que determina se a correlação entre duas variáveis é significativa, assim como no teste de *Mann-Kendall*, os N valores da série temporal são colocados de acordo com a sua ordem de classificação (ALEXANDRE, 2009). A estatística de teste ρ_s é o coeficiente de correlação que é obtido da mesma forma que um coeficiente de correlação de uma amostra usual é obtido, com a diferença que são usados os ranks da amostra (ordem de classificação):

$$\rho_s = \frac{S_{xy}}{(S_x S_y)^{0,5}} \quad (18)$$

Onde:

$$S_x = \sum_{i=1}^N (x_i - x_m)^2 \quad (19)$$

$$S_y = \sum_{i=1}^N (y_i - y_m)^2 \quad (21)$$

$$S_{xy} = \sum_{i=1}^N (x_i - x_m)(y_i - y_m) \quad (22)$$

Onde:

x_i = rank original;

y_i = rank da ordem crescente dos dados;

x_m e y_m = médias dos ranks x_i e y_i ;

Para grandes amostras, o valor de $\rho_s \sqrt{n-1}$ é, aproximadamente, normalmente distribuído com média de 0 e variância de 1.

Os valores críticos da estatística de teste para vários níveis de significância podem ser obtidos a partir de tabelas de probabilidade normal.

O teste da Regressão Linear assume que os dados são normalmente distribuídos e os erros (desvio de tendência) são independentes, seguindo a mesma distribuição normal com média zero. Ele testa a possível existência de uma tendência linear, examinando a relação entre o tempo (x) e a variável de interesse (y).

O gradiente de regressão é estimado pela Equação 23.

$$b = \frac{\sum_{i=1}^n (xi - xm)(yi - ym)}{\sum_{i=1}^n (xi - xm)} \quad (23)$$

Onde:

xi = rank original;

yi = rank da variável de interesse;

xm e ym = médias dos ranks xi e yi ;

O intercepto é estimado conforme a equação 24.

$$a = ym - b.xm \quad (24)$$

A estatística de teste S é obtida pela Equação 25:

$$S = \frac{b}{\sigma} \quad (25)$$

Onde:

$$\sigma = \sqrt{\frac{12 \sum_{i=1}^n (yi - a - b.xi)^2}{n(n-2)(n^2-1)}} \quad (26)$$

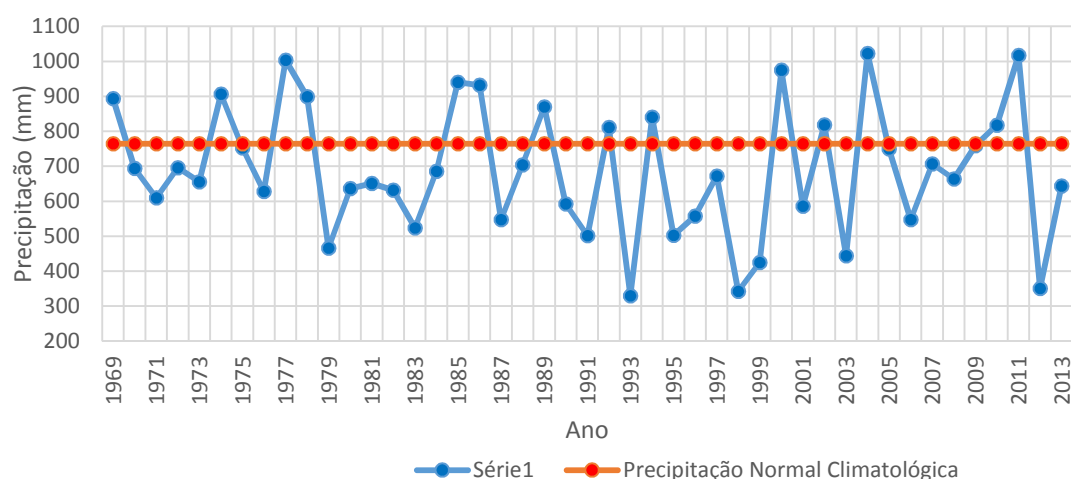
A estatística de teste S segue uma distribuição de student's t com n-2 graus de liberdade, sendo n o tamanho da amostra, sob a hipótese nula (Ho). Os valores críticos da estatística de teste para vários níveis de significância podem ser obtidos a partir de tabelas de probabilidade normal (ALEXANDRE, 2009).

4. RESULTADOS E DISCUSSÕES

4.1. Análise dos dados de pluviometria

Na Figura 3 é apresentado o gráfico da distribuição do total anual das precipitações ocorridas no município de Caruaru, no período de 1969 a 2013. A precipitação anual média desse período é de 694,7 mm. De acordo com o gráfico observa-se que o ano de 1993 apresentou a menor ocorrência de chuva, 329,2 mm, e o ano que mais choveu foi 2004, 1047,0 mm. Pode-se observar também, que nos últimos 20 anos do histórico analisado os totais anuais das precipitações apresentam grandes amplitudes, sendo assim, obtendo-se nesse período os valores extremos da precipitação total anual.

Figura 3 - Série temporal da precipitação total anual na estação Caruaru-PE (24) (1969-2013).



Os resultados da estatística descritiva da precipitação mensal e anual acumulada estão apresentados na Tabela 1. Como pode-se observar, o mês de julho apresentou a maior precipitação média, 101,83 mm e o mês de Outubro apresentou a menor precipitação média, 14,94 mm. Observa-se que todos os meses apresentam distribuição assimétrica positiva, ou seja, os valores médios são maiores que a mediana, sendo assim, mais da metade dos dados estão abaixo da média. Todos os meses apresentaram coeficiente de variação maior que 50%, com isso, verifica-se que a média não é representativa para os meses, isso é decorrente de uma alta variação na precipitação mensal na estação estudada. Pode-se observar também que os coeficientes de curtose são positivos, indicando uma distribuição de frequência platicúrtica.

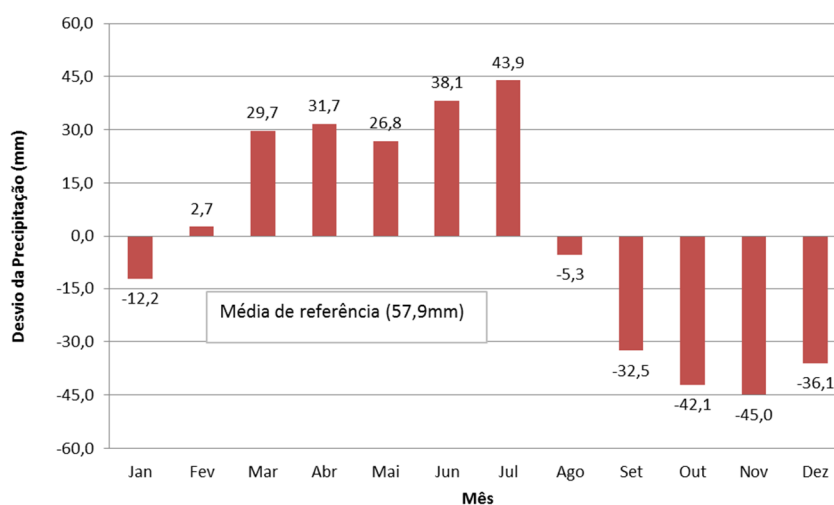
Tabela 1 - Parâmetros estatísticos da precipitação média mensal (mm), na estação Caruaru-PE (24), no período de 1969 a 2013.

Mês	n	Média	LI	LS	Mediana	Mínimo	Máximo	Desvi o	Coeficientes		
									Cv	Cs	Ck
Jan	45	44,10	30,68	57,53	34,80	0,20	238,50	44,68	101,31	2,39	7,76
Fev	45	61,83	45,78	77,88	54,00	0,80	202,00	53,41	86,38	1,04	0,52
Mar	45	84,67	66,31	103,03	81,00	5,20	303,60	61,11	72,18	1,36	2,72
Abr	45	89,64	73,39	105,88	85,60	9,40	230,70	54,07	60,32	0,64	0,16
Mai	45	83,92	68,29	99,55	71,60	8,40	224,90	52,02	61,99	1,00	0,56
Jun	45	96,04	80,48	111,60	85,70	25,50	314,10	51,80	53,94	1,95	6,08
Jul	45	101,83	86,46	117,20	92,80	29,40	255,00	51,16	50,24	1,02	1,24
Ago	45	52,42	44,52	60,32	51,20	6,20	132,50	26,29	50,16	0,73	0,59
Set	45	25,37	19,53	31,21	18,80	1,80	98,00	19,44	76,61	1,57	3,36
Out	45	14,94	10,45	19,43	9,80	0,50	77,10	14,94	99,96	1,84	5,32
Nov	45	15,04	8,96	21,12	8,00	0,00	101,00	20,24	134,59	2,75	8,76
Dez	45	21,30	13,53	29,07	13,60	0,00	136,50	25,86	121,38	2,46	8,05

Legenda: n = número de amostras; LI = limite inferior; LS = limite superior, S = variância, Cs = coeficiente de simetria, Ck = coeficiente de curtose; Cv = coeficiente de variação.

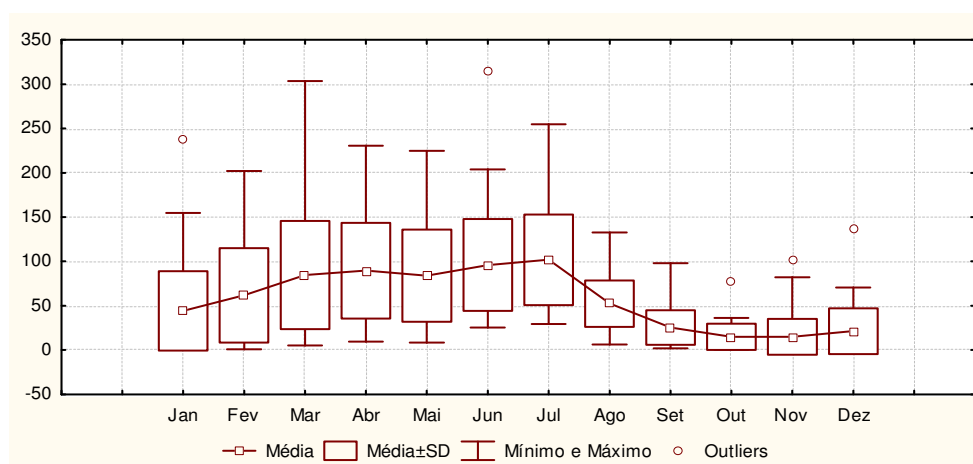
Com o objetivo de determinar o período seco e o período chuvoso, trabalhou-se com o valor médio mensal obtido da precipitação média anual acumulada no período de 1969 a 2013, obtendo-se média de 57,9 mm como valor de referência média mensal. Considerando esse valor como o limite entre os dois períodos, seco e chuvoso, fez-se a diferença do valor médio de cada mês por este e construiu-se o gráfico da Figura 4. De acordo com a Figura a seguir, observa-se que o período chuvoso do município está compreendido entre os meses de fevereiro e julho, sendo o mês de julho o mês mais chuvoso do ano.

Figura 4 - Desvio de precipitação média mensal de todo o período (1969-2013) na estação Caruaru-PE



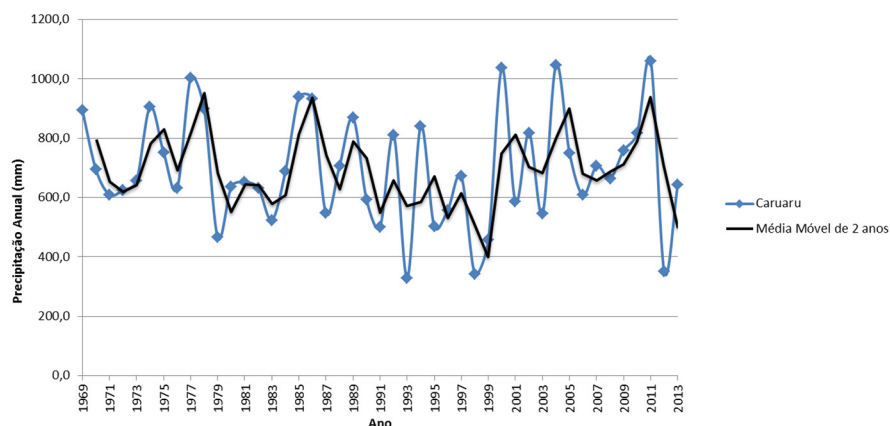
Utilizando-se o *software Statistic Versão 7.0* foi possível construir o gráfico *box-plot* apresentado na Figura 5, com o objetivo de analisar o período seco e chuvoso e o comportamento global do regime pluviométrico do município, utilizando a série de dados do período de 1969 a 2013. De acordo com o gráfico, observa-se que o período chuvoso do município está compreendido entre os meses de fevereiro e julho, meses que possuem as maiores médias, superiores a 57,9 mm. Os seis meses chuvosos correspondem aos meses com maiores variabilidades temporais das precipitações, pois possuem maior amplitude nos valores observados. Salienta-se que os meses de maiores precipitações são exatamente os que possuem maior variabilidade no histórico.

Figura 5 - Gráfico *Box-plot* da precipitação média mensal, do posto Caruaru-PE (24), 1969-2013.



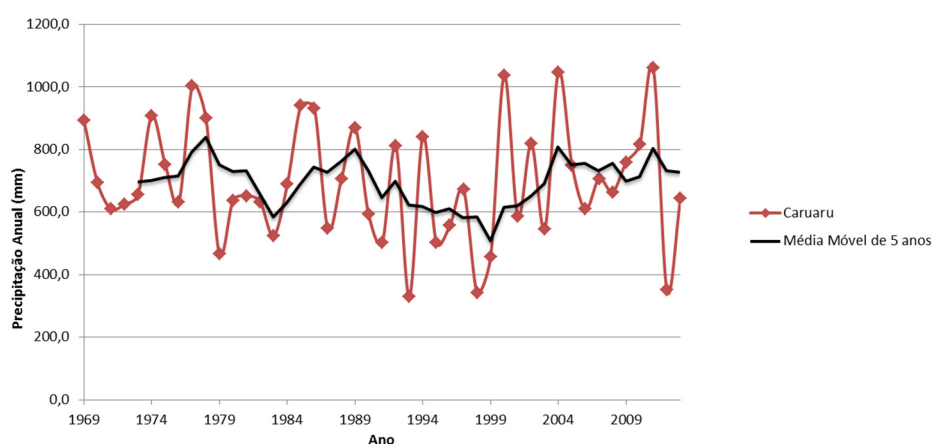
Para analisar a variabilidade temporal das precipitações anuais, foram construídos gráficos com a média móvel a cada 2, 5, 10 e 15 anos. Conforme o gráfico da média móvel a cada 2 anos (Figura 6), as precipitações totais anuais apresentam tendência variável, crescente e decrescente, em todo o histórico. Pode-se observar também, que a precipitação anual é superior à média em grande parte do histórico, o que indica a ocorrência de muitos anos chuvosos. A partir do ano 2000, tem-se um aumento na amplitude da precipitação anual, o que evidencia alguns anos muito chuvosos e outros muito secos. As precipitações totais anuais tiveram uma tendência de decréscimo até 1999, e em seguida uma tendência de crescimento.

Figura 6 - Gráfico da média móvel da precipitação total anual a cada 2 anos, posto Caruaru 24.



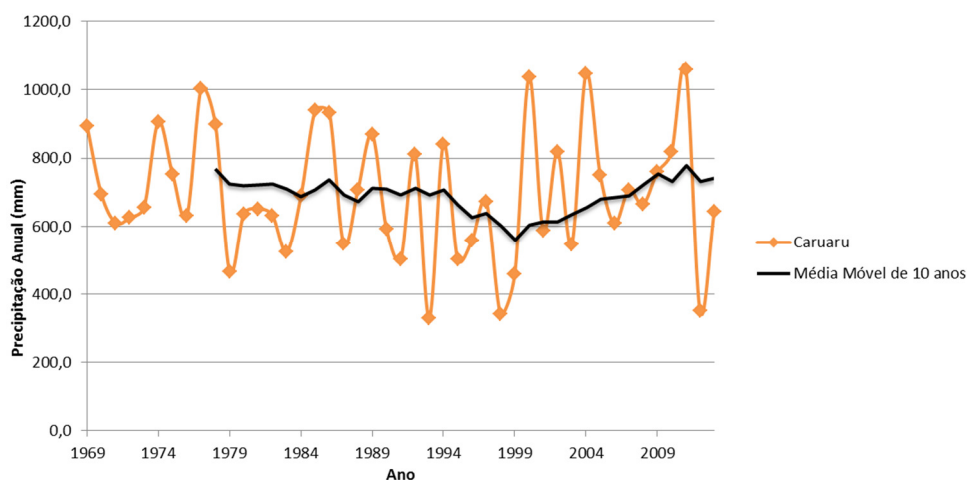
O gráfico da média móvel a cada 5 anos (Figura 7) também evidencia uma tendência variável da média, além disso, comparando-se com a média móvel a cada dois anos, a precipitação anual possui uma amplitude maior em todo o histórico, o que evidencia a grande variabilidade da precipitação anual. Pode-se observar também que a maioria das precipitações anuais estão abaixo da média, sendo assim, para a média móvel a cada cinco anos (Figura 7), o histórico possui mais anos secos que anos chuvosos, em relação a média do histórico.

Figura 7 - Gráfico da média móvel da precipitação total anual a cada 5 anos, posto Caruaru 24.



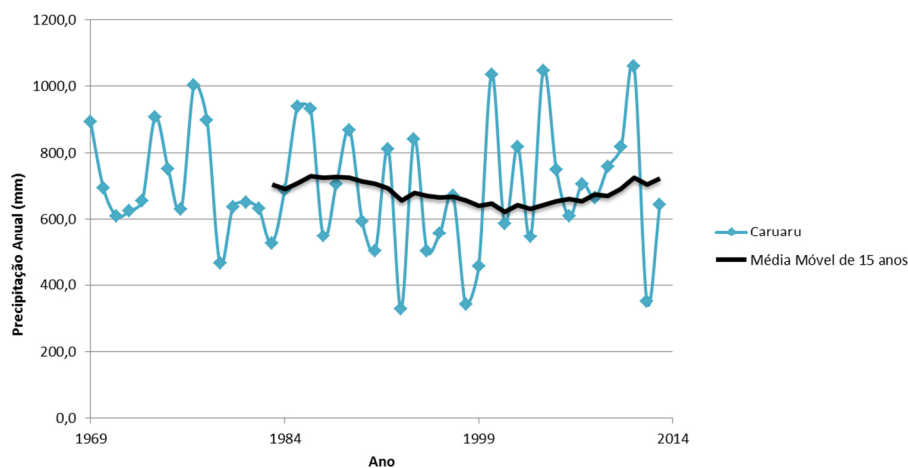
Comparando-se o gráfico da média móvel a cada 10 anos, apresentado na figura 8, com os gráficos da média móvel a cada 2 e 5 anos, observou-se que a medida que aumenta o período da média, ocorre uma diminuição na variabilidade da tendência, onde a mesma permanece praticamente decrescente até o ano de 1999 e crescente a partir do ano 2000.

Figura 8 - Gráfico da média móvel da precipitação total anual a cada 10 anos, posto Caruaru 24.



Através do gráfico com a média móvel a cada 15 anos (Figura 9), pode-se observar que ocorre um aumento significativo na amplitude da precipitação anual em relação aos demais gráficos com média de 2, 5 e 10 anos, evidenciando a grande variabilidade dos dados de precipitação anual. A média permanece praticamente decrescente até o ano de 1999 e crescente a partir do ano de 2000.

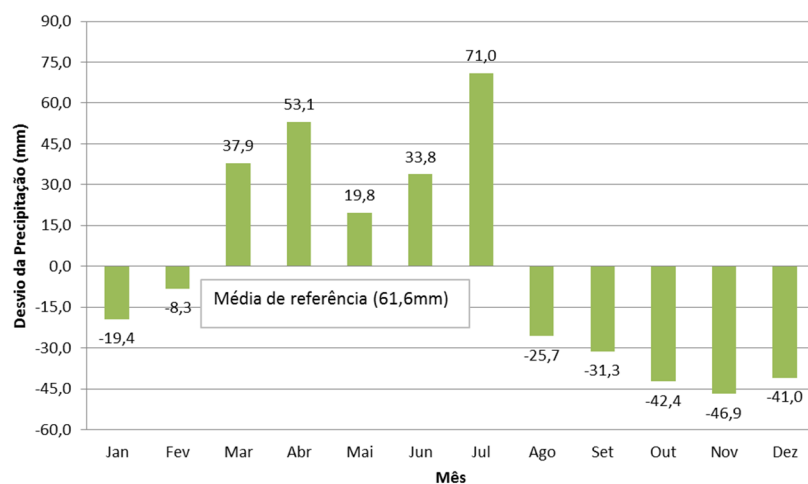
Figura 9 - Gráfico da média móvel da precipitação total anual a cada 15 anos, posto Caruaru 24.



Com o objetivo de analisar a variabilidade temporal do período seco e chuvoso do município de Caruaru, a série de dados de 1969 a 2013 foi dividida em períodos menores, a cada 10 anos, e em cada período foi calculado a média mensal da precipitação média anual acumulada, média de referência. Como citado anteriormente essa média de referência foi tomada como limite entre o período seco e chuvoso. Para o período de 1969 a 1979 a média

de referência foi de 61,6 mm (Figura 10). Portanto, para o período analisado apenas os meses de março, abril, maio, junho e julho estão acima da média de referência, sendo assim os demais meses compreendem o período seco.

Figura 10 - Desvio de precipitação em torno da média mensal do período de 1969 a 1979, na estação Caruaru-PE (24).



No período de 1980 a 1989 a média de referência obtida foi de 59,4 mm (Figura 11), valor próximo a média de todo o histórico (57,9 mm), sendo assim, o período chuvoso está compreendido entre os meses de fevereiro a junho, no entanto março foi o mês mais chuvoso com 56,1 mm.

A análise do período de 1990 a 1999 apresentou média de referência de 46,7mm (Figura 12), valor inferior à média de referência de todo o histórico, 57,9mm. De acordo com o gráfico pode-se observar que o período chuvoso está compreendido entre os meses de março e agosto, sendo julho o mês mais chuvoso com 58,6mm.

Figura 11 - Desvio de precipitação em torno da média mensal do período de 1980 a 1989, na estação Caruaru-PE (24).

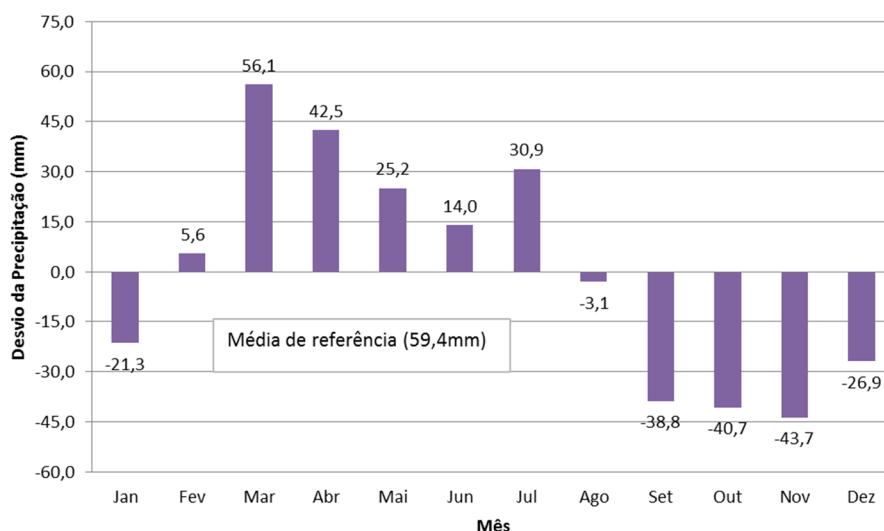
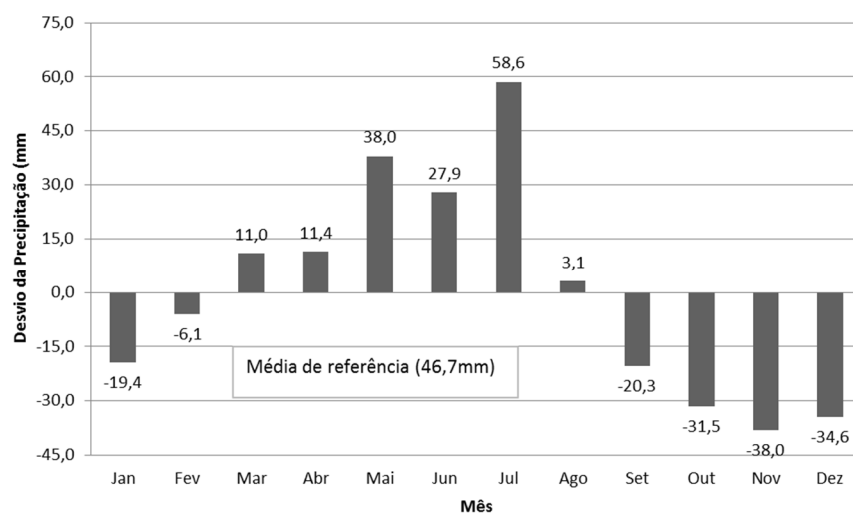
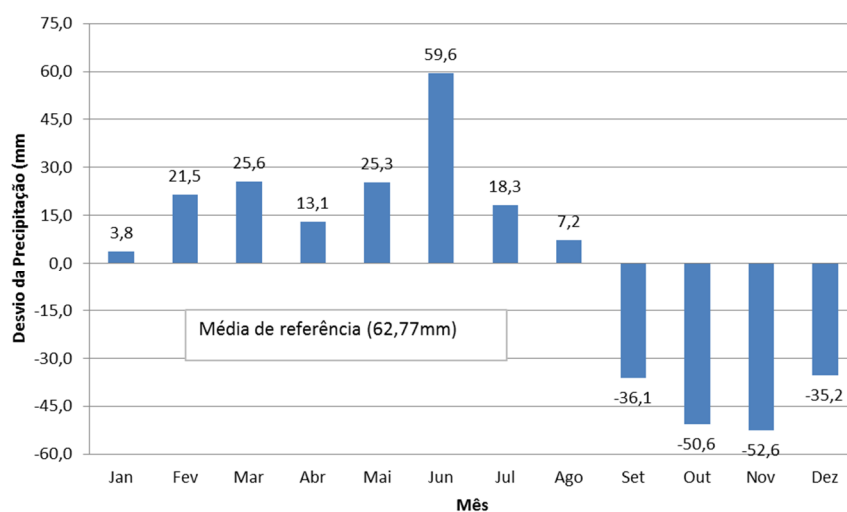


Figura 12 - Desvio de precipitação em torno da média mensal do período de 1990 a 1999, na estação Caruaru-PE (24).



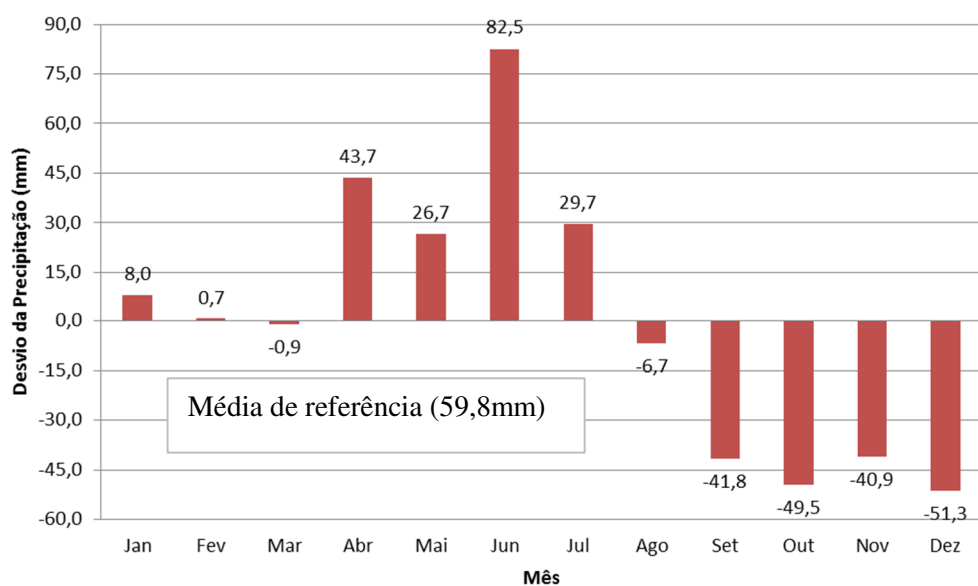
O valor da média de referência obtida para o período de 2000 a 2009 foi de 62,7 mm (Figura 16), o que evidencia um acréscimo na precipitação média mensal nesse período. Conforme Figura 13, mesmo a média sendo maior que os demais períodos analisados, apenas os meses entre setembro e dezembro ficaram abaixo da média. Portanto, a maioria dos meses do ano foram chuvosos, com destaque para o mês de julho que apresentou precipitação média mensal de 59,6 mm.

Figura 13 - Desvio de precipitação em torno da média mensal do período de 2000 a 2009 na estação Caruaru-PE (24).



A análise do período de 2010 a 2013 apresentou uma média de referência de 59,8 mm (Figura 17). De acordo com a Figura 14, os meses de janeiro, fevereiro, abril, maio, junho e julho compreendem o período chuvoso do município, com o mês de julho sendo o mais chuvoso com 82,5 mm.

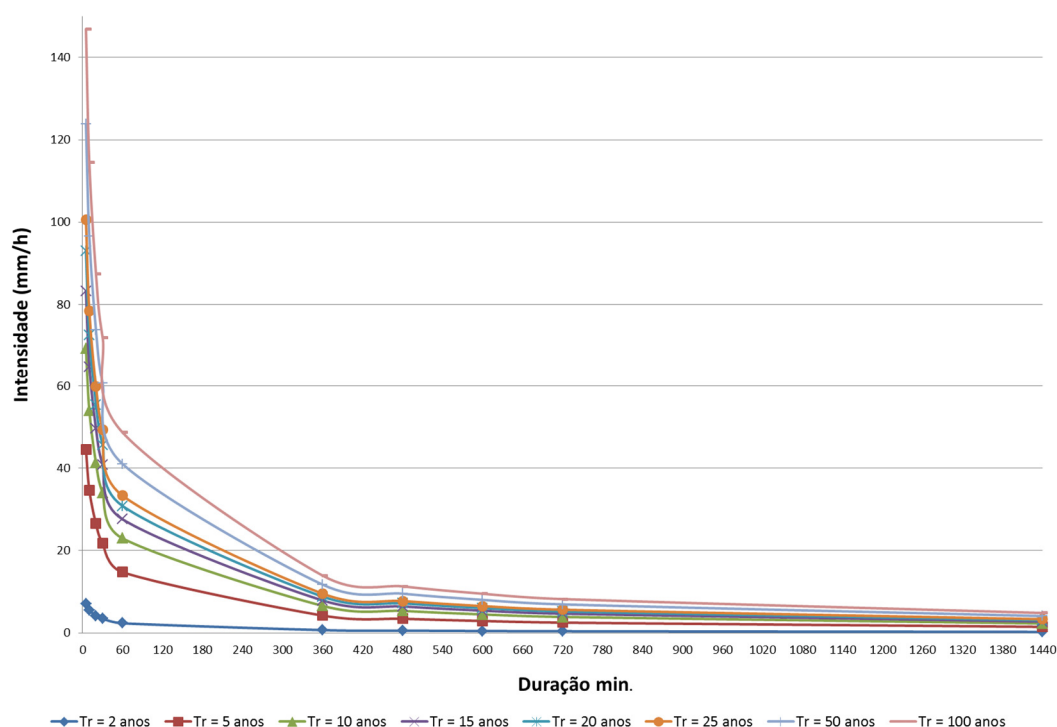
Figura 14 - Desvio de precipitação em torno da média mensal do período de 2010 a 2013 na estação Caruaru-PE (24).



4.2. Análise de chuvas intensas

A Figura 15 apresenta as curvas IDF, para o período de retorno de 2, 5, 10, 15, 20, 25, 50 e 100 anos, duração de chuva até 1.440 minutos (24 horas), sendo que a intensidade de chuva é dada em mm/hora.

Figura 15 - Curva IDF para o período de 1969 a 2013 na estação Caruaru-PE (24).



A seguir na Equação 27 será apresentada as variáveis dependentes da Equação de chuvas intensas através dos dados pluviométricos para o município de Caruaru. Como as variáveis foram obtidas através de aproximação, a curva IDF, não representa bem a realidade para o período de retorno de 2 anos.

$$i = \frac{472,607 Tr^{0,124}}{(t+12,209)^{0,761}} \quad (27)$$

4.3. Análise de tendência da precipitação anual

Através da utilização do *software* TREND foram realizadas as análises de tendência a partir de métodos estatísticos. Para tanto, foi adotada a abordagem estatística considerando os

níveis de significância 10%, 5% e 1%, sendo $\alpha = 0.05$ (5%) a abordagem estatística mais tradicional. No tocante à avaliação das tendências realizadas pelo *TREND*, para a precipitação total anual da estação Caruaru (24) no período de 1969 a 2013, foi verificado que não houve significância estatística para 10%, conseqüentemente para os demais também não, com os seguintes testes avaliados pelo sistema: *Mann-Kendall*, *Spearman's Rho*, Regressão Linear, *CUSUM*, *Cumulative Deviation*, *Worsley likelihood*, *Rank Sum*, *Student's t*, *Median Crossing*, *Turning Point*, *Rank Difference* e Autocorrelação. Portanto, verificou-se que não há tendência de crescimento ou decréscimo da precipitação anual, comportando-se dentro da regularidade do regime histórico.

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos dos testes das séries de totais anuais no período de 1969 a 2013 na estação Caruaru-PE (24). Pode-se observar que todos os testes apresentaram não significância, não demonstrando nenhuma tendência histórica de maior variabilidade.

Tabela 2 - Resultados dos testes para precipitação total anual da estação Caruaru-PE (24), no período de 1969 a 2013.

Testes estatísticos	Test statistic	Critical values (Statistical table)			Result
		$\alpha = 0,1$	$\alpha = 0,05$	$\alpha = 0,01$	
Mann Kendall	-0,616	1,645	1,96	2,576	NS
Spearman's Rho	-0,665	1,645	1,96	2,576	NS
Linear regression	-0,858	1,683	2,018	2,697	NS
Cusum	4	8,184	9,123	10,934	NS
Cumulative deviatios	0,718	1,135	1,265	1,51	NS
Worsley like lihood	1,529	2,86	3,18	3,79	NS
Rank Sum	-0,32	1,645	1,96	2,576	NS
Student's t	0,535	1,682	2,017	2,694	NS
Median crossing	0,302	1,645	1,96	2,576	NS
Turning point	-0,601	1,645	1,96	2,576	NS
Rank difference	0,865	1,645	1,96	2,576	NS
Auto correlation	-1,322	1,645	1,96	2,576	NS

Legenda: NS = nenhuma significância estatística em $\alpha=0.1$

5. CONSIDERAÇÕES FINAIS

De acordo com a análise estatística da precipitação do município de Caruaru, foi verificado que conforme os gráficos da média móvel a cada 2, 5, 10 e 15, apresentam uma tendência decrescente entre 1969 e 1999, e tendência crescente entre 2000 e 2013, sendo o período entre 2000 e 2013 o que deve ser considerado para projetos hidráulicos e hidrológicos, visto que, a precipitação anual apresenta variação elevada nesse período e distinta do período anterior. De acordo com o gráfico dos totais anuais, observou-se que nos últimos anos da série, 1969 a 2013, a precipitação anual apresentou um aumento na amplitude em torno da média, apresentando o ano mais seco 1993 e o ano mais chuvoso 2004, evidenciando assim, uma tendência de períodos muito secos e períodos muito chuvosos. Foi verificado que o período chuvoso do município ocorre entre os meses de fevereiro e julho, sendo o mês de julho o mais chuvoso. Observou-se que os desvios de precipitação em torno da média mensal a cada 10 anos, durante o histórico (1969-2013), variaram nos meses secos e chuvosos.

A obtenção da curva IDF utilizando a metodologia de desagregação de chuvas diárias para tempos menores proposta pela CETESB (1986) é bastante utilizada em projetos hidráulicos e hidrológicos, no entanto, devido à variabilidade da precipitação, esta não apresenta bons resultados para algumas regiões.

Portanto, de acordo com a análise de tendência realizada pelo TREND para os dados de precipitação anual, foi observado que não houve significância estatística para 10%, o que pode ser justificado através da ocorrência de tendência crescente no período chuvoso e ocorrência de tendência decrescente no período seco, sendo assim, na análise da precipitação anual a tendência do período seco anula a tendência do período chuvoso.

6. REFERÊNCIAS

- ALEXANDRE, G. R. **Estudo para Identificação de Tendências do Regime Pluvial na Região Metropolitana de Belo Horizonte a partir de Métodos Estatísticos e Modelos Climáticos**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Saneamento, Meio Ambiente e Recursos Hídricos da Universidade Federal de Minas Gerais, 193p., 2009.
- APAC. 2014. Agência Pernambucana de Águas e Climas. <http://www.apac.pe.gov.br>. Acessado em junho/2010, janeiro/2011, e julho/2014.
- AZEVEDO, J.R.G. (Org.). **Hidrometria aplicada à gestão dos recursos hídricos**. Ed. Universitária da UFPE. 2010.
- BACK, Á.J. Aplicação de análise estatística para identificação de tendências climáticas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.36, n.5, p. 717-726, 2001. Campina Grande, PB
- BACK, Á.J.; OLIVEIRA, J.L.R.; HENN, A. Relações entre precipitações intensas de diferentes durações para desagregação da chuva diária em Santa Catarina. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**. v.16 no.4, p.391-398, 2012. Campina Grande, PB.
- BERTONI, C.E.M (Org). **Hidrologia ciência e aplicação**. Porto Alegre: Associação Brasileira de Recursos Hídricos, Coleção ABRH de Recursos Hídricos, v.4. 1997.
- BRUNO, M.S.; SUZANA, M.G.L.M.; FERNANDHA, B.S.; PAULO, F.A.F. Chuvas intensas em localidade do estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.17, n.3, p. 135-147. 2012. Campina Grande, PB
- CANHOLI, A.P. **Drenagem urbana e controle de enchentes**. São Paulo: Oficina de textos. 2005.
- CATALUNHA, M.J.; SEDIYAMA, G.C.; LEAL, B.G.; SOARES, C.P.B.; RIBEIRO, A. Avaliação de cinco funções densidade de probabilidade a séries de precipitação pluvial do Estado de Minas Gerais. **Revista Brasileira de Agrometeorologia**. Santa Maria, v.10, n.1, p.153-162, 2002.
- CETESB. **Drenagem Urbana: manual de projeto**. São Paulo: Companhia de Tecnologia de Saneamento Ambiental, 1986. 464 p.

- GOOSSENS, C.; BERGER, A. Annual and seasonal climatic variations over the northern hemisphere and Europe during the last century. **Annales Geophysicae**, Berlin, v.4, n. B4, p. 385-400, 1986.
- IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 2004. **Censo Demográfico de 2010**. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/censo/default.php>>. Acesso em 15/02/2014.
- LAMEPE. 2014. Laboratório de Meteorologia de Pernambuco. <http://www.itop.br/LAMEPE.asp>. Acessado em junho/2010, janeiro/2011, e julho/2014.
- NAGHETTINI, M. C.; PINTO, E. J. A. **Hidrologia estatística**. Belo Horizonte: CPRM – Superintendência Regional de Belo Horizonte, 2007. 561 p.
- OLIVEIRA, L. F. C.; CORTÊS, F. C.; WEHR, T.R.; BORGES, L. B.; SARMENTO, P. H. L.; GRIBELER, N. P. Intensidade-duração-frequência e chuvas intensas para localidade no estado de Goiás e Distrito Federal. **Revista de Pesquisa Agropecuária Tropical**, v.35, n.1, p. 13-18, 2005.
- PREFEITURA MUNICIPAL DE PORTO ALEGRE. 2005. **Plano Diretor de Drenagem Urbana**. Instituto de Pesquisas Hidráulicas Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Setembro/2005.
- SANTOS, S. M.; MARINHO, E. P.; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, C. M. M.; ARAÚJO, T. F.; BARROS, E. S. **Estudo da qualidade da água de um telhado verde no agreste pernambucano**. In: Anais XIV World Water Congress. Porto de Galinhas, PE: 13 p. 2011.
- SILVA, B.M. **Chuvas Intensas em Localidades do Estado de Pernambuco**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Pernambuco, 116p. 2009.
- SILVA, D.D.; GOMES FIHO, R.R.; PRUSKI, F.F.; PEREIRA, S.B.; NOVAES, L.F. Chuvas intensas no estado da Bahia. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v. 6, n. 2, p. 362-367, 2002.
- SILVA. B. M. ; MONTENEGRO, S. M. G. L.; SILVA, F. B.; ARAÚJO FILHO, P. F. 2012. Chuvas Intensas em localidades do Estado de Pernambuco. **Revista Brasileira de Recursos Hídricos**. v. 17, n. 3, p. 135-147, julho/setembro.
- TUCCI, C.E.M. **Hidrologia Ciência e Aplicação**, 2a ed. Porto Alegre: Editora Universidade/UFRGS: ABRH, 2001. 943 p.

- TUCCI, C.S.E.M. **Modelos hidrológicos**. Colaboração da Associação Brasileira de Recursos Hídricos / ABRH- 2.ed.- Porto Alegre: Editora da UFRGS. 2005.
- TUCCI, C.S.E.M.; MARQUES, D.M. **Avaliação e Controle da Drenagem Urbana**. Volumes 1 e 2 - Porto Alegre: Ed. Universidade/ UFRGS. 2000.
- VICENTE, A.K. **Eventos Extremos de Precipitação na Região Metropolitana de Campinas**. Dissertação de Mestrado do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual de Campinas, 142p. 2005.