



**UNIVERSIDADE FEDERAL DA PARAÍBA
CENTRO DE TECNOLOGIA
PROGRAMA DE PÓS-GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA
URBANA E AMBIENTAL
MESTRADO**

**EXPANSÃO URBANA E VARIAÇÕES MESOCLIMÁTICAS
EM JOÃO PESSOA – PB**

Liése Carneiro Sobreira

João Pessoa

2010

Liése Carneiro Sobreira

**EXPANSÃO URBANA E VARIAÇÕES MESOCLIMÁTICAS
EM JOÃO PESSOA – PB**

Dissertação apresentada à Coordenação do Mestrado em Engenharia Urbana e Ambiental da Universidade Federal da Paraíba, para fins de obtenção do título de Mestre, sob a orientação da Prof^ª. Dra. Solange Maria Leder.

João Pessoa

2010

S677e Sobreira, Liése Carneiro.
Expansão urbana e variações mesoclimáticas em João Pessoa-PB/ Liése Carneiro
Sobreira. - - João Pessoa: [s.n.], 2010.
69 f. : il.
Orientadora: Solange Maria Leder.
Dissertação (Mestrado) – UFPB/CT.

1.Urbanismo. 2.Clima Urbano. 3.Adensamento urbano. 4.Variação climática.

UFPB/BC

CDU: 711(043)

Liése Carneiro Sobreira

**EXPANSÃO URBANA E VARIAÇÕES MESOCLIMÁTICAS
EM JOÃO PESSOA – PB**

**Dissertação defendida em 31 de março de 2010 e aprovada pela banca
examinadora constituída pelos professores:**

**Profª Dra. Solange Maria Leder
Orientadora
PPGEUA/UFPB**

**Prof. Dr. Tarciso Cabral da Silva
Examinador Interno
PPGEUA/UFPB**

**Prof. Dr. Eduardo Pazera Júnior
Examinador Externo
UNAVIDA**

Aos meus pais.

Agradecimentos

Em primeiro lugar, gostaria de agradecer aqueles não participaram da construção direta deste trabalho, mas que contribuíram imensamente para a minha formação cidadã, que são meus pais Elita e José. Agradeço também as minhas irmãs Lígia e Letícia, em especial a Lígia, que sempre partilha comigo felicidades. Agradeço a Conrad, o qual posso dizer que é um verdadeiro amigo e que me motivou a seguir em frente.

Agradeço especialmente ao Professor Paulo Rosa, com o qual trabalho desde 2002, responsável pela minha formação acadêmica e, principalmente, por ter despertado em mim o interesse pela busca pelo conhecimento.

À Professora Solange, por ter aceitado gentilmente assumir a orientação desta pesquisa no final do mestrado, o que é uma tarefa bastante difícil, além do mais fazendo contribuições importantes para o resultado final da pesquisa.

Ao Professor Francisco, inicialmente meu orientador, pelas contribuições e esclarecimentos.

Ao Professor Pazera por aceitar compor a banca desta dissertação e pela elaboração do abstract.

Ao professor Tarciso por aceitar compor a banca deste trabalho.

Agradeço a toda equipe do Grupo de Metodologia e Aplicação - GEMA coordenada pelo professor Paulo Rosa, formada pelos pesquisadores e colaboradores Conrad, Pablo, Maria, Odete e Raquel, e pelos estudantes Ivo, Rabá, Ana, Cleitiane, Cristiane, Fransuelda e Gutemberg, e pelo colaborador Jorge. Desta equipe, destaco a imensa colaboração de Pablo Rosa na questão do geoprocessamento desenvolvido neste trabalho, como também a Maria, que em muitas vezes auxiliou a pesquisa com esta ferramenta.

Ao professor Ronei do Departamento de Estatística pelos conhecimentos adquiridos no período que estive trabalhando com sua equipe de estudantes no Laboratório de Estatística Aplicada ao Processamento de Imagens e Geoprocessamento – LEAPIG, dos quais menciono especialmente Renata, que esteve trabalhando com paciência comigo.

À Professora Nilza pela leitura e correção ortográfica da dissertação

À Débora Paz do Laboratório de Energia Solar pela disponibilização das cadernetas e de dados meteorológicos.

Ao Professor do CEFET-PB, Homero Jorge, por ter gentilmente disponibilizado seus equipamentos de medição da temperatura e umidade que seriam necessários para uma etapa que constituiria este trabalho, mas posteriormente retirada da pesquisa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Nível Superior – CAPES pela bolsa de estudos que me foi concedida.

Assim, agradeço a todos que contribuíram direta ou indiretamente na construção deste trabalho tais como amigos, familiares, colegas de universidade e de trabalho que estão presentes no meu dia a dia.

“Animal social, o homem passa parte de sua existência no seio de um grupo, numa aldeia ou numa cidade, onde todas as condições climáticas locais são modificadas.”

(Max. Sorre, 1984)

RESUMO

O estudo sobre a relação do crescimento urbano com o clima local tem resultado em constatações de fenômenos, invariavelmente negativos, como a “ilha de calor” e outras variações climáticas. Essas constatações têm servido de alerta para a necessidade de mudanças na forma atual de crescimento e ocupação do espaço urbano. A cidade de João Pessoa, 7° 5' de latitude Sul e 34°50' de longitude Oeste, tem apresentado nos últimos anos um forte crescimento urbano, tanto na forma horizontal como vertical. A cidade possui algumas características ambientalmente positivas, como a proximidade com o mar e a existência de áreas verdes na área central, que podem contribuir para a redução do impacto do crescimento urbano sobre o clima local. Contudo, ainda assim, existe o questionamento sobre o impacto que o crescimento urbano, dos últimos anos, possa ter provocado sobre o clima local. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho é verificar se na cidade de João Pessoa, nas décadas de 1980 a 2000, ocorreram variações climáticas significativas que possam ser correlacionadas com o crescimento urbano. As variáveis observadas para a caracterização do crescimento urbano são: área da mancha urbana e dados quantitativos da população residente. As variáveis climáticas observadas são: precipitação pluviométrica e temperatura do ar. Os dados climáticos são provenientes de três estações climatológicas: Estação do Aeroporto Castro Pinto – local com menor intensidade de ocupação urbana -, Estação do Laboratório de Energia Solar da UFPB – Universidade Federal da Paraíba, localizada no campus I da referida universidade, e Estação do Instituto Nacional de Meteorologia localizada em uma área conurbada entre os municípios de João Pessoa e Cabedelo, ambas localizadas em locais de maior ocupação urbana. Os resultados do tratamento e análise dos dados indicam que a temperatura do ar da cidade aumentou nos últimos 26 anos, fato que pode ser correlacionado com a expansão da mancha urbana. Também observa-se que os dados de temperatura do ar sofreram elevação mais expressiva nos meses do trimestre mais quente. Os resultados desse trabalho indicam que, apesar da cidade de João Pessoa apresentar características ambientais favoráveis, mesmo assim o processo de urbanização e adensamento tem ocasionado variações no sistema clima da cidade. Não foram constatadas consideráveis variações no regime de precipitação. No entanto, foi constatado que os meses que registraram acumulados mais intensos de precipitação foram antecidos por um ano ou período de temperatura elevada, o que pode indicar que exista uma correlação entre os fenômenos.

Palavras-chave: clima urbano. Adensamento urbano. Variação climática.

ABSTRACT

The study on the relationship of urban growth with the local climate has resulted in the establishment of invariably negative phenomena, as the "heat island" and other climate variations. These findings have served as a warning to the need for changes in the current use and growth of the urban space. The city of João Pessoa, 7 ° 5' S latitude and 34 ° 50 ' W longitude, has presented in recent years a strong horizontal and vertical urban growth. The city has some environmentally positive features such as proximity to the sea and the existence of green areas in the central area, which can help to reduce the impact of urban growth on local climate. But still, there is the question about the impact of the urban growth on the local climate in recent years. In this context, the objective of this work is to verify if there were significant climate changes that may be correlated with urban growth in the city of João Pessoa, in the decades from 1980 to 2000. The observed variables for the characterization of urban growth are: the area of urban sprawl and quantitative data of the resident population. The observed climatic variables are rainfall and air temperature. Climatic data are from three weather stations: Station Castro Pinto Airport - location with less intense urban occupation - Station Solar Energy Laboratory UFPB - Federal University of Paraíba, located on the campus I of the university, and station National Institute of Meteorology located in the conurbation between the municipalities of João Pessoa and Cabedelo, both located at locations of major urban occupation. The results of the processing and analysis of data indicates that the air temperature of the city increased over the past 26 years, which can be correlated with the expansion of urban sprawl. It also notes that the air temperature increased more significant in the months of the warmest quarter. The findings indicate that although the environment of João Pessoa has favorable characteristic, yet the process of urbanization and densification has caused changes in the climate system of the city. There were not found considerable variations in rainfall. However, it was featured that the months that recorded more intense accumulated precipitation were preceded by a year or period of high temperature, which may indicate that there is a correlation between these phenomena.

Keywords: Urban climate. Urban densification. Climatic variation.

Sumário

RESUMO	ix
ABSTRACT	x
Introdução	2
PARTE I.....	4
1 Revisão da Literatura	5
PARTE II	13
2 Metodologia	14
2.1 Aquisição e tratamento dos dados da expansão urbana.....	15
2.2 Aquisição e tratamento dos dados climáticos	16
PARTE III.....	19
3 Localização e caracterização da área de estudo	20
PARTE IV	27
4 Resultados e discussão	28
4.1 Expansão urbana em João Pessoa	28
4.2 - Temperatura a partir das estações do Aeroporto Castro Pinto, LES e INMET	34
4.3 Precipitação pluvial das estações do Aeroporto Castro Pinto, LES e INMET	43
4.4 Correlação entre os dados de Temperatura e precipitação com e a expansão urbana da cidade de João Pessoa	54
Conclusão	64
Referências	66

Lista de Figuras

Figura 1 - Esquema de escalas climáticas e camadas verticais encontradas nas áreas urbanas.....	10
Figura 2 - Cartograma de localização da cidade de João Pessoa.....	20
Figura 3 - Climograma da Cidade de João Pessoa (1976-2006).....	22
Figura 4 - Cartograma da localização da cidade de João Pessoa e das estações meteorológicas.....	23
Figura 5 - Imagem aérea da Estação do INMET.	24
Figura 6 - Núcleos de reserva de Mata Atlântica da UFPB e da Mata do Buraquinho com a localização da Estação do LES.....	25
Figura 7 - Imagem aérea da Estação do Aeroporto Castro Pinto	26
Figura 8 -Reconstituição da mancha urbana de João Pessoa de 1923 e 1930 sobre a base cartográfica de 1998.....	29
Figura 9 - Número de habitantes do município de João Pessoa de 1872 a 2009.	30
Figura 10 – Reconstituição da mancha urbana de João Pessoa de 1972 sobre a base cartográfica de 1998.	31
Figura 11 – Reconstituição da mancha urbana de João Pessoa de 1983 sobre a base cartográfica de 1998.	31
Figura 12 - Gráfico da área da mancha urbana de João Pessoa de 1920 a 2009.	32
Figura 13 - vista de trecho da orla da cidade em 1985.	33
Figura 14 - vista de trecho da orla da cidade em 2008.....	33
Figura 15 -Gráfico da temperatura média dos meses do trimestre mais quente da estação do Aeroporto de 1984 a 2008	34
Figura 16 -Gráfico da tendência de temperatura dos meses do trimestre mais quente da estação do Aeroporto de 1984 a 2008	35
Figura 17 -Gráfico da temperatura média dos meses do trimestre mais frio da estação do Aeroporto de 1984 a 2008	36
Figura 18 -Gráfico da tendência de temperatura dos meses do trimestre mais frio da estação do Aeroporto de 1984 a 2008	36
Figura 19 - Gráfico da temperatura média dos meses do trimestre mais quente da estação do LES de 1984 a 2008.....	37
Figura 20 - Gráfico da tendência de temperatura média dos meses do trimestre mais quente da estação do LES de 1984 a 2008	38

Figura 21 - Gráfico da temperatura média dos meses do trimestre mais frio da estação do LES de 1984 a 2008	39
Figura 22 – Gráfico da tendência de temperatura média dos meses do trimestre mais frio da estação do LES de 1984 a 2008	39
Figura 23 - Gráfico da temperatura média dos meses do trimestre mais quente da estação do INMET de 1984 a 2008	40
Figura 24 - Gráfico da tendência de temperatura média dos meses do trimestre mais quente da estação do INMET de 1984 a 2008	41
Figura 25 - Gráfico da temperatura média dos meses do trimestre mais frio da estação do INMET de 1984 a 2008	41
Figura 26 - – Gráfico da tendência de temperatura média dos meses do trimestre mais frio da estação do INMET de 1984 a 2008	42
Figura 27 - Gráfico da Precipitação dos meses do trimestre mais quente da estação do Aeroporto de 1984 a 2008	43
Figura 28 - Gráfico da tendência de precipitação do trimestre mais quente da estação do Aeroporto de 1984 a 2008	44
Figura 29 - Gráfico da precipitação dos meses do trimestre mais frio da estação do Aeroporto de 1984 a 2008	45
Figura 30 - – Gráfico da tendência de precipitação do trimestre mais frio da estação do Aeroporto de 1984 a 2008	45
Figura 31 - Gráfico da precipitação dos meses do trimestre mais quente da estação do LES de 1984 a 2008	46
Figura 32 - Gráfico da tendência de precipitação do trimestre mais quente da estação do LES de 1984 a 2008.....	47
Figura 33 - Gráfico da precipitação dos meses do trimestre mais frio da estação do LES de 1984 a 2008	48
Figura 34 – Gráfico da tendência de precipitação do trimestre mais frio da estação do LES de 1984 a 2008	49
Figura 35 - Gráfico da precipitação dos meses do trimestre mais quente da estação do INMET de 1984 a 2008	50
Figura 36 - Gráfico da precipitação dos meses do trimestre mais quente da estação do INMET de 1984 a 2008	51
Figura 37 - Gráfico da precipitação dos meses do trimestre mais frio da estação do INMET de 1984 a 2008	51

Figura 38 - Gráfico da precipitação dos meses do trimestre mais quente da estação do INMET de 1984 a 2008	52
Figura 39 - Comparação da temperatura média anual das três estações meteorológica	54
Figura 40 - Área edificada da cidade em dois momentos: 1977 e 2009	56
Figura 41 - Cartograma do Aeroporto Castro Pinto de 2004 antes de sua Reforma	57
Figura 42 - Imagem aérea do Aeroporto Castro Pinto de 2007 depois da Reforma	58
Figura 43 - Gráfico ombrotérmico do trimestre mais quente da estação do Aeroporto de 1984 a 2008	59
Figura 44 - Gráfico ombrotérmico do trimestre mais frio da estação do Aeroporto de 1984 a 2008...	60
Figura 45 - Gráfico ombrotérmico do trimestre mais quente da estação do LES de 1984 a 2008.....	61
Figura 46 - Gráfico ombrotérmico do trimestre mais frio da estação do LES de 1984 a 2008.....	61
Figura 47 - Gráfico ombrotérmico do trimestre mais quente da estação do INMET de 1984 a 2008...	62
Figura 48 - Gráfico ombrotérmico do trimestre mais frio da estação do INMET de 1984 a 2008	63

Introdução

As relações entre a expansão urbana e as variações climáticas decorrente são o foco principal deste trabalho. Esta investigação de observação direta e sistematizada, utilizando dados de três estações climatológicas e de geotecnologias, como imagens de satélite, permitiu processar superposições e daí retirar informações sobre a relação entre o crescimento urbano e as variações climatológicas nos elementos temperatura e precipitação.

João Pessoa, capital do Estado da Paraíba, como todas demais capitais do país tiveram um crescimento acentuado por se constituir em um pólo atrativo para migrantes em busca de melhor qualidade de vida. Nesse sentido, a cidade está aberta para receber e acolher os cidadãos que aqui querem vir se estabelecer, visto que a política recepcionista é uma referência constitucional no que diz respeito ao direito de ir e vir do cidadão brasileiro em todo o território nacional. Contudo, o crescimento desordenado gera, entre outros, conflitos ambientais.

A população da cidade cresceu e, conseqüentemente, a área urbana de João Pessoa se expandiu tanto horizontal como verticalmente. O crescimento horizontal significou a impermeabilização do solo o que acaba por impedir a troca de matéria e energia entre o solo e subsolo com a atmosfera. Com o aumento da impermeabilização a carga de energia que se precipita sobre o solo é interceptada pela camada impermeabilizante e refletida de volta à atmosfera, formando assim um ciclo térmico em toda a sua extensão.

Como já é sabido, a temperatura mais elevada acaba por diminuir a pressão atmosférica, o que permite maior circulação de ventos e conseqüentemente aumentando assim a possibilidade de um núcleo que atrai os fluxos mais úmidos e, como a cidade de João Pessoa tem a Leste seus limites com o Oceano, logo, este passa a ser um grande agente de umidade. Não resta dúvida que já está consagrada a questão da predominância da direção dos ventos de SE para NO, logo o continente como um grande atrativo das nuvens com maior umidade, em que estas condensam e se precipitam sobre o continente (ALVES FILHO et al, 2006; SANTOS et al, 2006).

Essas premissas temáticas foram suficientes para que pudéssemos refletir sobre o fenômeno e investigá-lo de forma mais metódica, então para isso foi necessário se estabelecer a metodologia de pesquisa, sobre a qual se estabeleceu o questionamento: **quais variações climáticas são observadas sobre os registros da temperatura do ar e precipitação na cidade de João Pessoa, nas décadas de 1980 a 2000?**

Neste contexto, pode-se afirmar que o objeto geral da pesquisa é identificar as possíveis variações climáticas, sobre os registros da temperatura do ar e precipitação, na cidade de João Pessoa decorrentes da expansão urbana entre as décadas de 1980 a 2000.

A partir desse questionamento foram elaboradas duas hipóteses de variações climáticas que nortearam este trabalho:

- a) Elevação da temperatura do ar.
- b) Variação no regime das chuvas.

Para responder a essas sentenças declarativas foi necessário estabelecer-se um conjunto de objetivos, assim propostos:

- a) Definir a configuração geográfica da cidade de João Pessoa destacando os locais de grande impermeabilização e adensamento a partir da expansão urbana;
- b) Quantificar as temperaturas entre áreas com menor densidade, como no Aeroporto Castro Pinto em Bayeux, e adensadas como no LES na UFPB e na estação do INMET em Cabedelo;
- c) Quantificar a precipitação pluvial das estações do Aeroporto Castro Pinto, do LES e INMET;
- d) Identificar a correlação entre os dados de temperatura e precipitação com a expansão urbana da cidade de João Pessoa.

1 Revisão da Literatura

O processo de formação das primeiras cidades, diferentemente do que ocorre nos dias atuais, não se deu a partir do crescimento de uma aldeia. “As cidades fazem seu aparecimento na esteira da chamada Revolução Agrícola, ou também, “Revolução Neolítica”, [...]. É, com efeito, na Idade da Pedra Polida que se inicia a prática da agricultura, e graças a isso vão surgindo, aos poucos, assentamentos secundários, e depois as primeiras cidades” (SOUZA, 2003, p. 4).

As primeiras cidades se formaram quando os serviços já não eram executados pelas pessoas que cultivavam a terra, mas por outras que não tinham esta obrigação, e que eram mantidas pelas primeiras com o excedente do produto total (BENEVOLO, 1999 p. 23). Em outras palavras, pode-se ver em Souza (2003), que as primeiras cidades surgiram como resultado de transformações sociais, econômicas, tecnológicas, políticas e culturais, quando, para além dos povoamentos de agricultores (ou aldeias) que se tornaram sedentários, surgiram assentamentos permanentes maiores e muito mais complexos. A partir disso iniciou-se o fenômeno denominado de revolução urbana, como pode ser visto em Benevolo (1999, p. 26):

A cidade, centro motor desta evolução, não é só maior do que a aldeia, mas se transforma em uma velocidade muito superior. Ela assinala o tempo da nova história civil; as lentas transformações da cidade (onde é distribuído o excedente) documentam as mudanças mais raras da estrutura econômica; as rápidas transformações da cidade (onde é distribuído o excedente) mostram, ao contrário, as mudanças muito mais profundas da composição e das atividades da classe dominante, que influem sobre toda a sociedade. Tem início a aventura da “civilização”, que corrige continuamente as formas provisórias.

Deve-se salientar que o fenômeno da “Revolução Urbana” não ocorreu em um só lugar e daí foi-se espalhando pelos outros lugares do globo. Ao contrário disso, pode-se dizer que ocorreram várias Revoluções Urbanas que se desenvolveram em locais diferentes e em momentos diferentes (SOUZA, 2003, p. 44). No entanto, o primeiro local a surgir os primeiros assentamentos urbanos segundo Benevolo (1999, p. 26), foi entre os desertos da África e da Arábia e os montes que os encerram ao Norte, do Mediterrâneo ao Golfo Pérsico. O aparecimento dos primeiros assentamentos coincidiu com o final da última glaciação, uma vez que a sedentarização humana foi em grande parte determinada por ela. Assim, como descreve Silva (2007, p. 21), esse fenômeno climático, caracterizado pela intensa diminuição de temperatura, ocorrida ente 100.000 a.C. a 10.000 a. C., obrigou a migração de animais e de

seres humanos para lugares onde havia abundância vegetal, levando-os a ocupar diversas regiões do globo, e essas regiões foram às margens dos rios Nilo, Tigre e Eufrates.

Desde então as cidades continuaram transformando-se continuamente ao longo dos milênios seguintes, passando por momentos que marcaram esta transformação, a exemplo da revolução industrial, o que fez a definição de cidade, rural e urbano se tornasse uma tarefa ainda mais complexa.

De acordo com Capel (1975), as características que vêm sendo frequentemente consideradas para caracterizar o fato urbano, têm sido fundamentalmente o tamanho e a densidade - o aspecto do núcleo - a atividade não agrícola e o modo de vida. No entanto, no que diz respeito à definição de cidade, cada país adota seus critérios para definir o que é cidade. No Brasil, adota-se o critério funcional conforme Souza (2003), em que os núcleos urbanos são as cidades e vilas, as primeiras são sedes de municípios e as segundas de distrito.

É assim, nesse cenário urbano, que está o objeto de estudo desta investigação, ou seja, o clima. Numa abordagem meteorológica podemos definir clima como “uma generalização ou a integração das condições de tempo para certo período de tempo, em uma determinada área” (VIANELLO, 2000, p. 378). Nessa abordagem são considerados apenas os estados médios dos elementos atmosféricos, o que diverge da abordagem dinâmica do clima, em que neste caso o clima é considerado como sendo o “ritmo de sucessão habitual dos estados atmosféricos sobre os lugares” (MONTEIRO, 2003, p. 12). Assim, nessa perspectiva, a análise do ritmo climático é a essência para a compreensão do ‘regime climático, como se pode verificar em Monteiro (apud PINTO, 2000, p.1):

A primeira aproximação válida para o conceito de ritmo seria aquela das variações anuais percebidas através das variações mensais dos elementos climáticos. Uma repetição das variações mensais em vários e sucessivos anos é o fundamento da noção de ‘regime’

Corroborando com o que foi exposto acima, Gallego (1970) afirma que a climatologia dinâmica possibilita uma descrição real do clima de uma determinada região, uma vez que leva em consideração o ritmo e a duração dos eventos atmosféricos, sendo estes últimos, fatores fundamentais para a verificação da atuação do comportamento atmosférico sobre o meio biológico e humano. A autora também menciona que o método geográfico da climatologia dinâmica se inicia com a descrição concreta dos eventos, o que se seguirá a análise dos tipos de tempo de seus elementos constituintes tomados em conjunto de forma que sejam consideradas suas inter-relações.

Embora o clima represente uma síntese da sucessão dos tipos de tempo atmosférico, ele não se apresenta como um fenômeno estático. Ao contrário disso, como afirma Santanna Neto (2005), o clima, como os demais sistemas naturais estão em constante transformação, ou seja, num processo dinâmico, devendo-se diferenciar as mudanças climáticas de longo prazo que ocorrem em escalas geológicas do tempo, daquelas de curto prazo que ocorrem em período de tempo perceptível na escala humana. Assim, como afirma Ayoade (2002), não se pode negar a existência de variações e flutuações no próprio clima, e quando essas flutuações seguem uma tendência configura o que se denomina tendência climática. Quando essas flutuações climáticas se repetem por um longo período de tempo de modo a interferir no tipo de clima de uma determinada região configura-se em mudança climática.

Já para Catto (2006) uma Mudança Climática só pode ser reconhecida quando uma mudança no clima é determinada a partir de duas ou mais normais climáticas, isto é, no mínimo dois ciclos de 30 anos. Já as variações climáticas são consideradas como uma mudança reconhecível das condições meteorológicas, em que estas podem ocorrer no período de um ou vários anos, mas que não caracteriza uma mudança no clima ao longo de 30 anos ou períodos mais longos. Vale salientar que tais variações não incluem eventos climáticos pontuais tais como tempestades, ou variações diárias e sazonais.

As atividades humanas podem interferir no processo natural da oscilação do clima, podendo isto ser verificado na definição de mudanças climáticas elaboradas pelo IPCC (*Intergovernmental Panel of Climate Change*):

Climate change as referred to in the observational record of climate occurs because of internal changes within the climate system or in the interaction between its components, or because of changes in external forces either for natural reasons or because of human activities. It is generally not possible clearly to make attribution between these causes. Projections of future climate change reported by IPCC generally consider only the influence on climate of anthropogenic increases in greenhouse gases and other human-related factors.

Com isso se pode verificar que o clima da Terra está em constante flutuação, em que há períodos em que o clima esteve mais frio e outros em que esteve mais aquecido. Como aponta Marsh (1981), atualmente a Terra está mais aquecida do que há milhões de anos atrás, no entanto, mais fria do que há bilhões de anos atrás. Com isso, é possível perceber que a Terra tem um dinamismo natural de mudanças climáticas. Contudo, vem sendo observado que as ações humanas estão acelerando esse processo natural, em que podem ser observadas

mudanças desde a escala global, e até variações no clima local, sobretudo nos grandes e médios aglomerados urbanos.

Assim, as transformações da paisagem natural que se dão com a substituição desta pelos equipamentos urbanos em decorrência da ampliação e crescimento da mancha urbana, provocam notáveis mudanças no clima local. Isso faz com que o clima da cidade revele-se diferente do clima do campo circundante.

Com isso, visto que metade da população mundial reside em áreas urbanas, o estudo do clima desse espaço torna-se de grande relevância. Para Monteiro (2003), o clima urbano observado numa perspectiva geográfica, deve ser entendido como o clima dentro da cidade, diferentemente da abordagem meteorológica que entende o clima urbano como o clima acima da cidade.

Para Gonçalves (2003), o estudo do clima da cidade deve ser entendido como resultante das interações entre os componentes verticais que incidem sobre um determinado local e os componentes horizontais que condicionam a sua sucessão habitual dos tipos de tempo. Assim, como aponta Oke (1978 apud ROSSI, 2005) o clima urbano resulta das variações provocadas pelo processo de urbanização na superfície terrestre e das características da atmosfera de um determinado local.

Isto posto, pode-se dizer que todos os elementos urbanos criados pelo homem causam, de alguma forma, interferências no meio ambiente, principalmente no que diz respeito ao clima.

Como aponta Eliasson (2000), as características térmicas dos materiais na cidade, tais como solos, tijolos, vidros, asfalto, dentre outros, diferem daquelas encontrada no campo, a saber, árvores, solo descoberto, grama etc. Strahler (1989) descreve que no ambiente urbano a absorção de radiação solar comporta um aumento da temperatura por duas causas fundamentais: primeiro a inexistência de cobertura vegetal faz com que a radiação solar incida diretamente no solo desnudo; a ausência de folhagem também significa ausência de transpiração (evaporação a partir das folhas) mediante a qual se elimina calor das camadas inferiores de ar. E segundo, os telhados e áreas edificadas não absorvem a umidade, de modo que essas superfícies não podem realizar seu resfriamento por evaporação.

Com isso, pode-se perceber que os materiais utilizados nas construções urbanas têm maior capacidade de armazenar calor, o que contribui para elevar o aquecimento na cidade.

Assim, os aglomerados urbanos têm um clima local diferente do clima do ambiente rural circunvizinho. Esse fenômeno de diferenças térmicas entre a cidade e o ambiente não urbano denomina-se Ilhas de Calor (IAUC, s/d)

São diversas as variações climáticas que podem ser verificadas e sentidas dentro do espaço urbano, em que estas variações podem apresentar maior ou menor intensidade de acordo com a pressão exercida pelas atividades humana no meio, como observa Geiger (1961, p. 503):

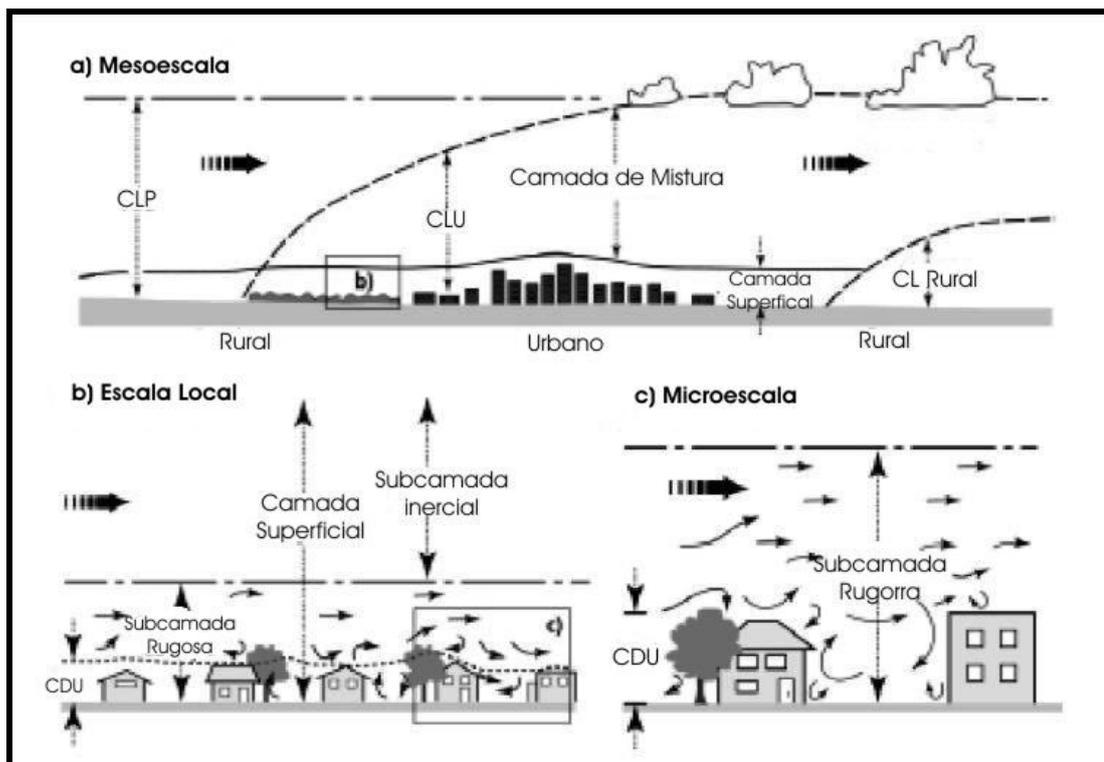
A causa das características peculiares do clima urbano está na alteração dos balanços térmico e hídrico, e é ocasionada, em primeiro lugar, pela substituição do solo natural pela pedra, sobre a qual, ainda por cima, a água da chuva escoar rapidamente; e pelos seus edifícios que em conjunto aumentam a rugosidade da superfície. Acrescenta-se a estes fatos a fonte de calor constituída pelos lumes caseiros e pela indústria, e finalmente o aumento das poeiras na atmosfera urbana e a sua poluição com os gases de escape dos motores dos veículos, dos fogos das habitações e da indústria.

Em seu artigo sobre as Ilhas de Calor, Pazera Jr. (1976) enumera os diversos fatores que contribuem de forma direta na formação das ilhas de calor nas cidades, como a impermeabilização do solo, adensamento das edificações e, até mesmo, a interferência da morfologia urbana e da variedade das formas de implantação das construções verticais. Além desses fatores que expressam maior intensidade, o autor também menciona a interferência de ações que contribuem sensivelmente para intensificação das ilhas de calor urbana, tais como a presença de aparelhos de ar condicionado para refrigeração de ambientes construídos, uma vez que estes expõem ar quente para o exterior. Outro aspecto relevante levantado pelo autor é o de que as maiores diferenças térmicas entre áreas adensadas urbanas e áreas de menor adensamento ocorrem no verão e no início do outono. Assim, todos esses elementos que provocam a formação de ilhas de calor exercem influência no índice pluviométricos desses locais, verificando-se nestas áreas precipitações mais elevadas do que a de seu entorno.

Pelo que foi exposto acima, a temperatura e a precipitação tornam-se elementos de fundamental importância no clima urbano. No entanto, para a análise do clima urbano considerando a temperatura e a precipitação, bem como a análise desse clima a partir de outros elementos climáticos (pressão atmosférica, direção e velocidade de ventos, evaporação, etc.), deve-se atentar para a escala de análise apropriada.

OKE (2004) define três escalas horizontais de análise do clima urbano, denominadas Micro-escala (*Microscale*), Escala Local (*Local Scale*) e Meso-escala (*Mesoscale*) (Figura 01). A Microescala abrange o clima de áreas de curtas distâncias, geralmente distância de um

a centenas de metros no máximo. Nesta escala é considerada a influência de objetos de pequenas dimensões no microclima, tais com de edificações individuais, árvores, ruas, jardins, etc. Na Escala Local são considerados os efeitos dos elementos da paisagem, como topografia, excluindo, entretanto, os efeitos de microescala. De modo geral esta escala caracteriza o clima de áreas de uma a vários quilômetros, em que no espaço urbano se refere ao clima de bairros com similares tipos de solo e desenvolvimento urbano, ou seja, mesma cobertura de superfície, tamanho e espaçamento entre os edifícios, tipo de atividade encontrada, etc.. A Mesoescala se refere ao clima urbano de uma cidade inteira, geralmente o clima de uma área de dezenas quilômetros de extensão, abrangendo a influência de uma cidade no clima e no tempo dessa área, não sendo uma única estação meteorológica suficiente para representar o clima nesta escala (Figura 1).



Legenda: CLP: Camada Limite Planetária; CLU: Camada Limite Urbana CDU: Camada do Dossel Urbano.
Figura 1 - Esquema de escalas climáticas e camadas verticais encontradas nas áreas urbanas. Adaptado de OKE, 2004

Visto a influência antrópica no clima, uma gama de trabalhos com a finalidade de investigar o clima da cidade foi desenvolvida por vários pesquisadores de várias partes do mundo. Os primeiros estudos abordando essa temática se desenvolveram a partir das análises comparativas entre o clima urbano e rural (CARVALHO, 2006; ALCOFORADO, 1999). No

entanto, vários trabalhos atuais ainda se baseiam nesse modelo de análise para a investigação do clima urbano (LIU et al 2008; HOLMER, et al, 1999).

Assim, a partir da comparação entre o clima urbano e rural, Coutts et al (2007) verificou que há impacto no clima local em decorrência do aumento da densidade urbana. O autor usou como referência quatro estações meteorológicas instaladas ao longo de um município, sendo três em pontos de diferentes densidades urbanas e características de uso do solo, e uma quarta estação de controle, localizada em uma área rural. A maior diferença entre as localidades foi vista no que se refere ao armazenamento do calor urbano, sendo este fator influenciado pela complexidade da cobertura urbana, albedo e admitância térmica.

Em outro estudo, Prats et al (2005) verificou a influência da urbanização no clima de Zaragoza, relacionando a temperatura do ar e diferentes fatores geográfico-urbanos, em que foi detectado uma grande influência de fatores como a topografia do terreno, a densidade das edificações, da cobertura vegetal e a reflectividade dos materiais de construção na formação das ilhas de calor da cidade.

Já Karaca (1995) observou a influencia da urbanização do clima de Istambul e Ancara, examinado as flutuações e tendências da série temporal de temperatura de 1910 a 1990, usando o método de regressão linear e teste de Mann-Kendall. O pesquisador verificou uma tendência ascendente nas temperaturas do sul de Istambul, sendo esta parte a mais populosa e industrializada da cidade, enquanto que ao norte não foi identificada nenhuma tendência de aquecimento, e sim de resfriamento. Verificou ainda que a urbanização e industrialização no sul da cidade de Istambul têm um efeito negativo no resfriamento regional. Já em Ancara, apesar de sua geometria urbana e da problemática da poluição do ar, não foi verificada tendência de aquecimento.

No que tange à influência da urbanização na precipitação, ainda que em menor quantidade do que os estudos sobre o efeito da urbanização na temperatura, também foram elaboradas pesquisas que buscaram compreender a relação entre a urbanização e precipitação. Algumas (SETO et al,2009; KAUFMANN et al, 2007) verificaram uma diminuição da precipitação em decorrência do crescimento urbano, ambos referentes a uma área densamente povoada e urbanizada no sul da China. Nestes estudos além dos dados de expansão urbana e precipitação, as pesquisas consideram as médias de temperatura contando com a possível ligação entre as ilhas de calor e o efeito da urbanização na precipitação. Os resultados apresentaram uma relação entre o uso do solo urbano e a precipitação, indicando, que a

precipitação pode reduzir-se durante o inverno, inferindo-se que este fator é causado pela mudança na superfície hidrológica.

Contrariamente à investigação supracitada, Çiçek et al (2005) observaram a precipitação em Ankara a partir de dados de duas estações meteorológicas do período de 1956 a 2001, sendo uma localizada no núcleo urbano e outra localizada em uma área de característica rural. Foi observado um aumento das precipitações em ambas as estações. No entanto, foi verificado um aumento das precipitações mais intensas na área urbana em detrimento da diminuição deste tipo de precipitação na área rural, constatando um incremento de 50% no número de dias de precipitações intensas nas áreas urbanas em relação ao meio rural durante o mesmo período.

Na mesma linha do estudo acima, Jauregui et al (1996), analisaram o efeito da urbanização na precipitação de uma cidade de clima tropical a partir de dados de duas estações meteorológicas, uma em área urbana e outra rural. Foi verificado um significativo aumento na precipitação na estação úmida, sugerindo uma consequência do crescimento urbano. Por outro lado, a estação rural que aparentemente manteve-se ausente dos efeitos da urbanização, não apresentou variações.

Já Viveiros (2004), explicou a ocorrência das precipitações de grande magnitude que ocorrem na cidade de São Paulo, precipitações estas responsáveis pelas inundações que aí ocorrem periodicamente. Segundo a autora estas precipitações são causadas pelo efeito das ilhas de calor formadas pela intensa urbanização, como descreve a seguir:

Em São Paulo, as ilhas de calor estão exatamente na rota da brisa marítima que traz a umidade fundamental para fazer chover. O ar úmido entra na região metropolitana pelo sudeste, mas não costuma ir muito longe porque encontra, na fronteira entre as regiões central e leste da capital, temperaturas que, no verão, chegam a ser 5C superiores às registradas nos mananciais das represas Billings e Guarapiranga (zona sul) e do sistema Cantareira (zona norte). As partículas do ar quente têm mais energia cinética (de movimento), portanto tendem a se deslocar mais e com maior rapidez para as camadas altas da atmosfera, carregando consigo a umidade da brisa. Lá, ao entrar em contato com temperaturas mais frias, a umidade se condensa e causa as chuvas fortes.

Assim, pelo que foi exposto acima sobre a interferência da urbanização nas variáveis climáticas, neste caso, temperatura e precipitação, e sabendo que as cidades estão cada vez mais se tornando pólos atrativos, fica evidente a necessidade de que a cidade cresça seguindo um planejamento que observe o comportamento destas variáveis.

2 Metodologia

Conforme Jolivet (1987), “análise consiste em ir do composto aos elementos componentes”. Em outras palavras, análise significa a decomposição do conjunto, sendo “também a ação de decompor a paisagem mantendo a homogeneidade do todo, para depois fazer inferências acerca das condições do sistema” (ROSA, 2003). Em uma investigação de caráter geográfico, segundo Dolfuss (1973), a análise deve seguir uma sequência de procedimentos. De início, o geógrafo localiza e situa aquilo que constitui o objeto de sua pesquisa, descreve e defini as formas, o que o leva à análise de sua disposição, de sua repetição, de sua similitude e singularidade.

Assim, a presente pesquisa está inicialmente embasada no método analítico, de forma que, seguindo a assertiva supracitada, realizou-se inicialmente a localização do objeto de estudo, seguindo-se da descrição de suas partes. A descrição constitui um tópico fundamental da análise geográfica, pois como afirma George (1986) “a geografia, ciência das relações, implica um processo de pensamento específico, que parte da descrição para chegar à explicação, em termos principais: observação analítica, detecção das correlações, busca de causalidade”.

Neste sentido, localizada a área de estudo, partiu-se para a descrição dos elementos constituintes, que são os atributos relacionados a expansão urbana da cidade e os atributos climáticos tomado como referência, que foram temperatura e precipitação.

Para isso, foi necessária a realização de uma série de procedimentos técnicos¹, que buscaram atingir os objetivos específicos propostos, e, por conseguinte, confirmar ou negar as hipóteses levantadas.

Assim, esta parte do trabalho foi subdividida em duas seções em que estas buscaram descrever os procedimentos técnicos utilizados no decorrer da pesquisa. A primeira descreve os procedimentos técnicos utilizados com a finalidade de responder o primeiro objetivo específico proposto, que foi o de definir a configuração geográfica da cidade de João Pessoa destacando os locais de grande impermeabilização e adensamento a partir da expansão urbana, ou seja, refere-se aos procedimentos de aquisição e tratamentos dos dados de expansão urbana. A segunda seção diz respeito aos procedimentos necessários para a

¹ Técnica: “é um conjunto de preceitos ou processos de que se serve uma ciência ou arte; é a habilidade para usar esses preceitos e normas, a parte prática.” (MARCONI; LAKATOS, 2002).

obtenção dos segundo, terceiro e quarto objetivos específicos, que são: quantificar as temperaturas entre áreas com menor densidade, como no Aeroporto Castro Pinto em Bayeux, e adensadas como no LES na UFPB e na estação do INMET em Cabedelo; Quantificar a precipitação pluvial das estações do Aeroporto Castro Pinto, do LES e INMET e, finalmente, Identificar a correlação entre os dados de temperatura e precipitação com a expansão urbana da cidade de João Pessoa. Em outras palavras, referiu-se aos procedimentos técnicos de aquisição e levantamento dos dados climáticos e sua correlação com os dados de expansão urbana.

2.1 Aquisição e tratamento dos dados da expansão urbana

Para a delimitação da cidade de João Pessoa e para a localização das estações meteorológicas utilizadas nessa pesquisa, foi utilizado o programa Google Earth, pois além de nos fornecer a visão panorâmica da superfície terrestre, nos permite ainda elaborar perímetros e outros detalhamentos.

A cidade de João Pessoa está assentada em dois tipos de relevo: Baixo Planalto e Planícies costeiras e flúvio marinhas. Assim, com a finalidade de observar o comportamento do modelado que constitui as formas de relevo exposto foi necessário a geração de um modelo de elevação de terreno a partir do uso de geotecnologias como ferramentas. Para isso, foi gerada a Modelagem Numérica de Terreno – MNT que permite a visualização tridimensional do modelado do relevo. A confecção da MNT foi realizada a partir de interpolação de pontos altimétricos tomados da base cartográfica do município de João Pessoa.

Para a verificação do crescimento da mancha urbana foram utilizados mapas temáticos da cidade João Pessoa dos anos de 1923, 1930, 1972 e 1983, estes estão disponíveis na dissertação de mestrado de Oliveira (2006). Já para a medição da evolução da área da mancha urbana da cidade foram utilizadas as imagens do satélite LANDSAT 2 do ano de 1977 e do satélite CBERS 2B de 2009; essas imagens estão livremente disponíveis para download no página web do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE.

Posteriormente, as imagens de satélites foram processadas em um software de SIG e tiveram sua área edificada calculada com base na mancha urbana identificada nas imagens, através do programa SPRING. Somente as imagens dos anos de 1977 e 2009 foram utilizadas porque as outras imagens de satélites disponíveis se encontravam com a área urbana de João

Pessoa coberta, ou parcialmente coberta por nuvens, o que não possibilitaria a medição da mancha urbana. Desta forma não foi possível quantificar, através desse método, a expansão da área urbana em todo o período analisado, ou seja, nas décadas de 1980 a 2000. Ainda que o último ano de dados climáticos seja 2008, foi calculada a área da mancha urbana pela imagens de 2009 pelo fato de que esta imagem tinha uma menor quantidade de nuvens, o que garantiu maior fidelidade de medição.

Para complementar os dados obtidos com as imagens de satélites e preencher a lacuna temporal resultante utilizou-se o trabalho de Rodriguez (1985) que apresenta estudo sobre a evolução da área urbana na cidade de João Pessoa para os anos de 1920, 1950, 1970 e 1978.

O crescimento demográfico é outra variável associada com o crescimento urbano e também analisada nesse trabalho. Foram utilizados dados dos censos demográficos de 1872 a 2009, disponíveis no portal cidades do sitio web do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE. De posse dos dados, foi gerado em planilha eletrônica um gráfico representando a evolução da população residente na cidade de João Pessoa dos anos de 1872, 1900, 1920, 1940, 1950, 1960, 1970, 1980, 1991, 1996, 2000, 2007 e 2009, correspondentes aos anos em que foram realizadas contagem da população no Brasil.

2.2 Aquisição e tratamento dos dados climáticos

Para a verificação da correlação entre expansão urbana e as variações climáticas na cidade de João Pessoa foram escolhidas as variáveis temperatura do ar e precipitação pluviométrica, posto que estas são variáveis que influenciam diretamente as atividades humanas.

Os dados de temperatura do ar e precipitação são oriundos de três estações meteorológicas, sendo duas localizadas na mancha urbana de João Pessoa, que são as estações do LES e a do INMET, e uma terceira estação tomada como estação de referência por estar situada fora da mancha urbana, a estação do Aeroporto Castro Pinto.

A estação do LES – Laboratório de Energia Solar, localizada na Universidade Federal da Paraíba – CAMPUS I, realiza observações acerca do clima em João Pessoa desde 1975, os dados são atualizados diariamente nos horários das 09:00h, 15:00h e 21:00h, e são obtidos através de instrumentos analógicos. Algumas falhas nas medições foram constatadas, ou seja, alguns dados de temperatura e precipitação não constavam no banco de dados fornecido pela entidade.

Outra estação de coleta de dados utilizada foi do INMET – Instituto Nacional de Meteorologia, localizada às margens da BR-230, no Ministério da Agricultura, esta estação esta coletando dados climáticos desde 1962, sendo registrados também de forma analógica três vezes ao dia, 09:00h, 15:00h e 21:00h. Os dados do INMET foram solicitados em Brasília onde há o arquivamento de todos os dados nacionais, mas é importante ressaltar que também foram encontradas falhas e dados faltosos no banco de dados desta estação.

Por fim, a estação do Aeroporto Castro Pinto, em funcionamento desde 1973, está localizada entre os municípios de Bayeux, Santa Rita e João Pessoa, que da mesma forma que as outras estações meteorológicas utilizadas nesta pesquisa, registra dados três vezes ao dia, nos horários das 09:00h, 15:00h e 21:00h. Estes dados servem para compor a análise para o município de João Pessoa pelo fato desta estação se encontrar em ambiente distante da mancha urbana e assim pode ser tomada como estação de referência. Ressalta-se que nessa estação também foram encontradas falhas e lacunas.

Foram realizadas visitas in loco nas instalações das estações meteorológicas localizadas no núcleo urbano, que são as estações do LES e INMET, com a finalidade de observar o espaço físico em que se encontram as referidas estações, verificar as condições dos aparelhos de medidas, bem como fotografar e plotar com auxílio de um GPS suas coordenadas geográficas com precisão.

Posto que foram encontradas falhas e lacunas nos bancos de dados das três estações meteorológicas utilizadas, optou-se por transformar os dados de temperatura em média mensal, e os de precipitação em acumulado mensal, a fim de suprimir as grandes lacunas encontradas. Com isso, as falhas e as lacunas encontradas não impossibilitaram nem comprometeram o desenvolvimento da pesquisa.

Em decorrência do volume de dados a serem analisados, optou-se por definir que seriam analisados apenas os meses que mais oscilam e sofrem variações durante o ano. Assim, para análise, foram escolhidos os dados dos meses do trimestre mais quente, que se referem aos meses de janeiro, fevereiro e março, e os dados dos meses do trimestre mais frio, que são os meses de junho, julho e agosto, de todas as estações em observação.

Para a visualização geral do clima da cidade, foi construído o climograma com os dados de temperatura e precipitação pluvial referentes ao intervalo de 1976 a 2006, a partir dos dados da estação que está localizada na porção mais central da cidade, que é a estação do

LES. A confecção do climograma requer um levantamento e tratamento das médias de temperatura e precipitação mensal do intervalo de tempo supracitado, em que isto foi desenvolvido utilizando-se a planilha eletrônica Excel. Após criação de banco de dados com as referidas médias, o climograma é confeccionado com uma ferramenta *CAD*. E por fim, para melhor visualização do climograma, é realizado um tratamento artístico no programa *Corel Draw* da base elaborada no *CAD*.

Para a verificação do ritmo do comportamento da Série Temporal² de temperatura e precipitação foram gerados gráficos da temperatura média e do acumulado mensal dos meses dos trimestres mais quentes e mais frios do período de 1984 a 2008. Com isso, foi possível fazer uma descrição³ detalhada do comportamento da série destes períodos. Já para a visualização da tendência⁴ dessas variáveis, foram elaborados com auxílio da planilha eletrônica Excel gráficos que representassem a tendência linear e a linha da média móvel, em que esta última também foi escolhida pelo fato de suavizar flutuações de uma série de dados.

A relação entre a temperatura do ar e a precipitação foi analisada através de gráficos ombrotérmicos, que agrupam as duas variáveis e possibilitam a visualização da correlação entre as mesmas. Os meses do trimestre mais quente e mais frio do ano foram novamente utilizados.

² **Série Temporal:** O conceito de séries temporais está relacionado a um conjunto de observações de uma determinada variável feita em períodos sucessivos de tempo e ao longo de um determinado intervalo, sendo um de seus objetivos de se analisá-la é a sua Descrição. (FARIA, et al, 2008)

³ **Descrição de uma série temporal** consiste basicamente em conhecermos o comportamento de uma determinada série, em que “o primeiro passo para análise é elaborar o gráfico da série temporal com o objetivo de observar as principais propriedades da série como: tendência, ciclo sazonal e outliers (pontos que não parecem consistentes com os demais)”. (REBOITA, 2005)

⁴ **Tendência:** “A tendência de uma série indica o seu comportamento “de longo prazo”, isto é, ela cresce, decresce ou permanece estável, e qual a velocidade destas mudanças”. (BALBIO, 2009).

3 Localização e caracterização da área de estudo

O município de João Pessoa no Estado da Paraíba está situado no litoral da Região Nordeste do Brasil, estando localizado nas coordenadas 7°5'' de latitude Sul e 34°50' de longitude Oeste. Limita-se ao Norte com o município de Cabedelo, ao Sul com Conde, e ao Oeste com Bayeux e Santa Rita. Está inserido na microrregião de João Pessoa e na mesorregião da Mata Paraibana. (Figura 2).

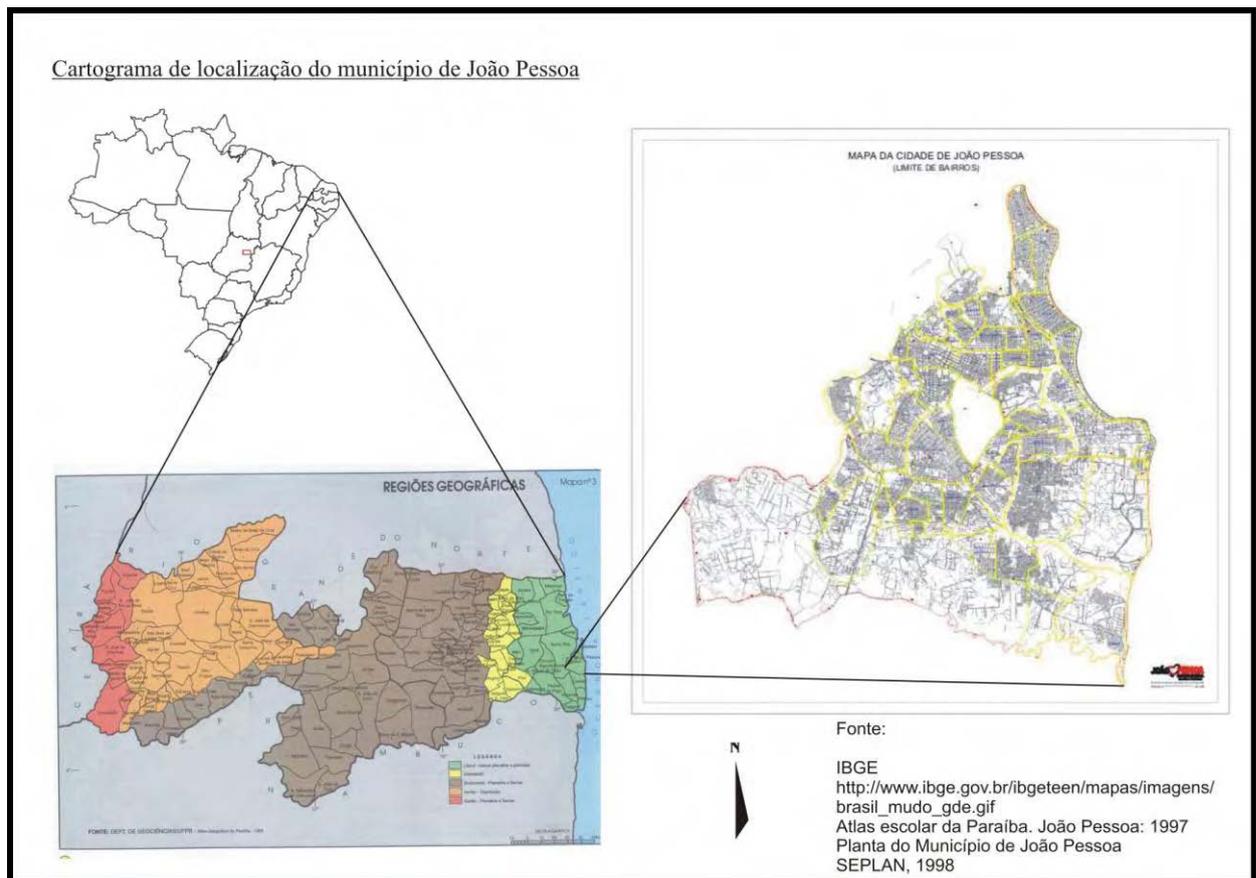


Figura 2 - Cartograma de localização da cidade de João Pessoa

De acordo com o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE, o município de João Pessoa abrange uma área de 210,55km² e em 2009 contava com uma população de 702.235 habitantes, sendo esta população eminentemente urbana.

A cidade de João Pessoa é uma mancha urbana que está assentada sobre a estrutura geográfica denominada de Baixos Planaltos Sedimentares, relevo esse suavemente ondulado banhado pelos vales dos rios Jaguaribe, Timbó, Cabelo, Laranjeiras, Mandacaru, Sanhauá e Paraíba, encravados no Planalto. No entanto o Planalto sofre uma forte ruptura quando chega à linha de costa, lugar em que a ruptura é correspondendo a uma Falésia de origem

sedimentar, originário do Grupo Barreiras. O sopé da Falésia é solapado pela energia das ondas e das marés, por isso perde material sedimentar para o relevo imediato que é a Planície Costeira.

No que se refere ao regime climático, a cidade está sob o domínio do Clima Tropical quente-úmido, As', segundo classificação de Köppen-Geiger, caracterizada por uma precipitação anual de 1.800 mm, com uma maior concentração de chuvas no final da estação do outono e início do inverno, nos meses de maio, junho e julho, sendo junho o mês de maior concentração pluviométrica. Este trimestre (maio-junho-julho) de concentração pluvial representa um percentual de 48% de M.P.C. (Máximo Porcentual de Contribuição de três meses consecutivos), sendo um valor relativamente alto, tomando como referência que o valor da M.P.C quanto mais próximo de 25% melhor esta distribuído. (NIMER, 1979; NIMER, 1979).

O climograma da página seguinte (Figura 3) representa a situação ombrotérmica de João Pessoa a partir de dados da normal climática de 1976 a 2006 da estação meteorológica do Laboratório de Energia Solar - LES, instalada no Campus I da Universidade Federal da Paraíba – UFPB. A partir da observação deste climograma, fica evidente que os meses de maio, junho e julho representam o período de maior concentração pluviométrica, uma vez que, nesse período, as chuvas apresentam acumulado médio mensal superior a 200 milímetros. No entanto, também pode ser observado que durante os meses de fevereiro a agosto há um acumulado médio mensal acima de 100 milímetros, representando no ano uma onda úmida de nove meses. Durante o ano verificam-se apenas três meses de período seco, que são os meses de outubro, novembro e dezembro, em que nestes meses a precipitação média acumulada mensal é inferior a 60 milímetros.

Já no que tange o regime térmico da cidade, verifica-se que as médias mensais durante todo ano não ultrapassam 28°C, dado que a cidade, como parte da região litorânea do Nordeste brasileiro está fortemente influenciada pela ação moderadora dos alísios de Leste e Sudeste. Assim, a cidade não apresenta consideráveis oscilações ao longo do ano, apresentando média anual de 26,7°C., em que a média mensal mais elevada é 28°C em março e a média mensal mínima é 25,2°C em julho, representando uma amplitude anual inferior a 3°C. No entanto, ainda que se não se observe flutuações consideráveis da temperatura ao longo do ano, pode-se perceber que os meses de janeiro, fevereiro e março representam o trimestre mais quente do ano, e os meses de junho, julho e agosto representam o mais trimestre com temperaturas mais baixas ao longo do ano.

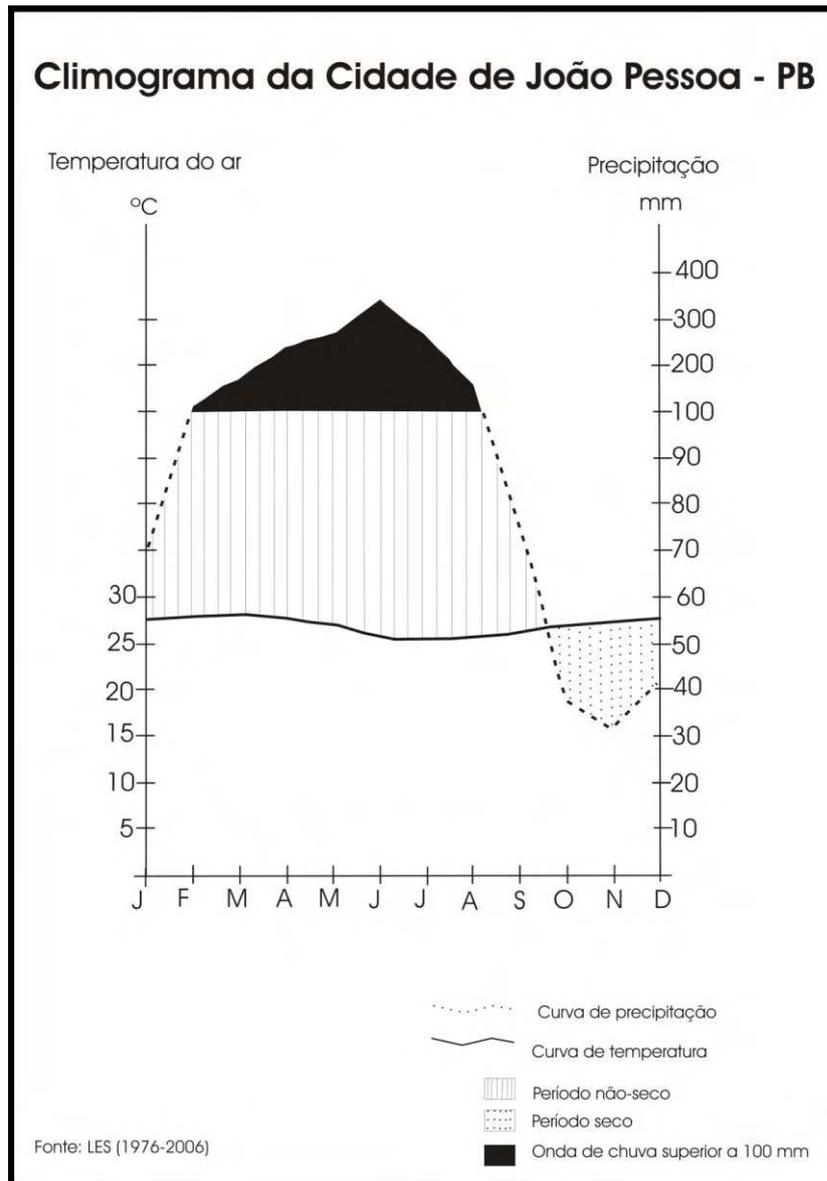


Figura 3 - Climograma da Cidade de João Pessoa (1976-2006).

Além da estação do LES, outras estações meteorológicas coletam dados de diversas variáveis climáticas na cidade de João Pessoa: a estação do Instituto Nacional de Meteorologia – INMET, localizada no em uma área conurbada entre os municípios de João Pessoa e Cabedelo, e outra que não está inserida dentro do limite do município, mas que também pode ser utilizada como referencia, que é a estação localizada no Aeroporto Castro Pinto (Figura 4).

Cartograma de Localização das Estações Meteorológicas

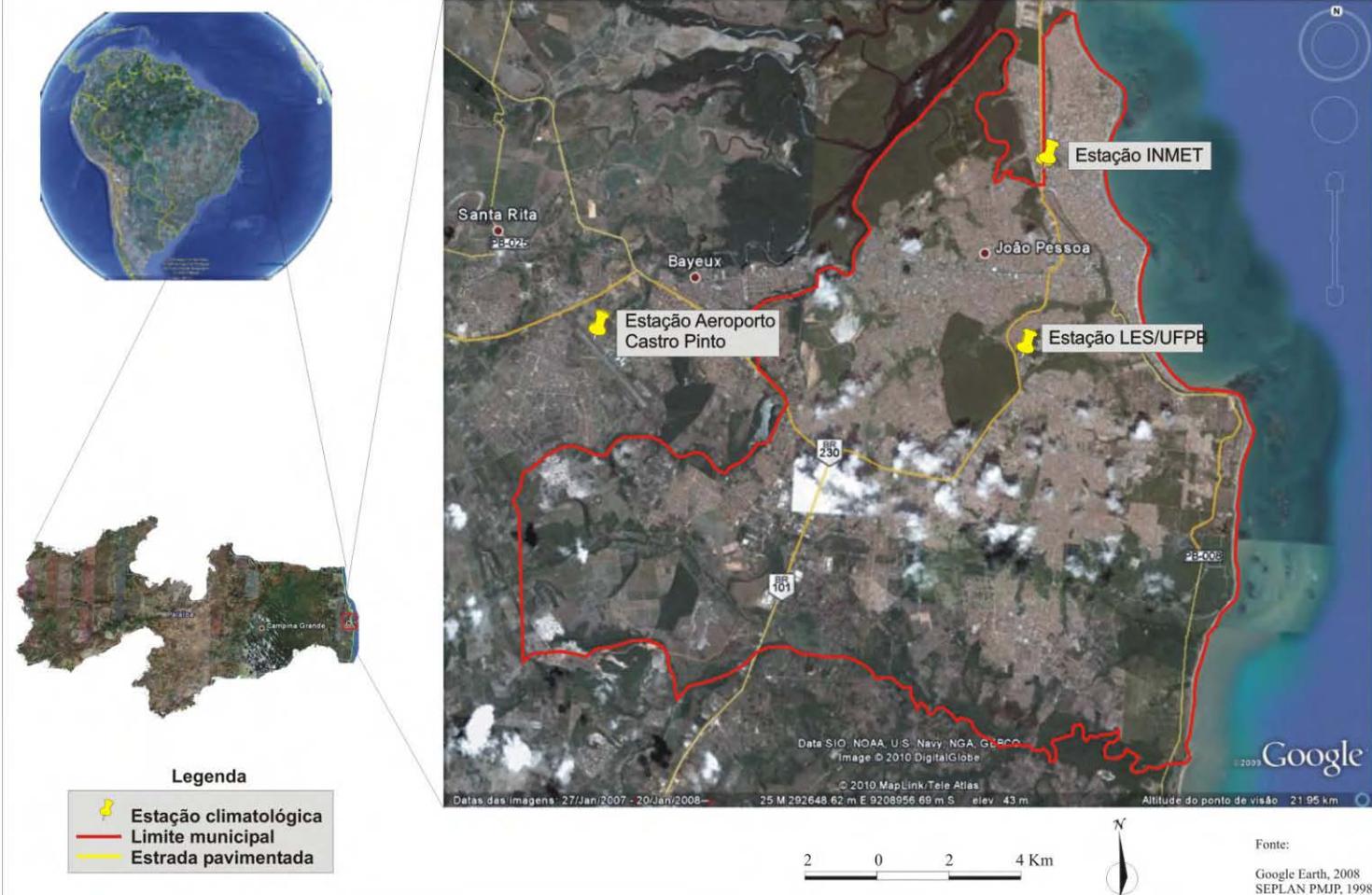


Figura 4 - Cartograma da localização da cidade de João Pessoa e das estações meteorológicas

É relevante observar que estas estações estão localizadas em áreas de diferentes características, o que pode influenciar no comportamento das variáveis observadas. Ainda que inseridas no espaço urbano de João Pessoa, as estações do LES e do INMET estão localizadas em áreas que apresentam diferentes tipos de solos. A estação do INMET está situada em área densamente edificada horizontal e verticalmente, além de estar paralela à BR 230, principal via de acesso entre a cidade de Cabedelo e João Pessoa, apresentando assim intenso fluxo de veículos ao longo do dia. (Figura 5).

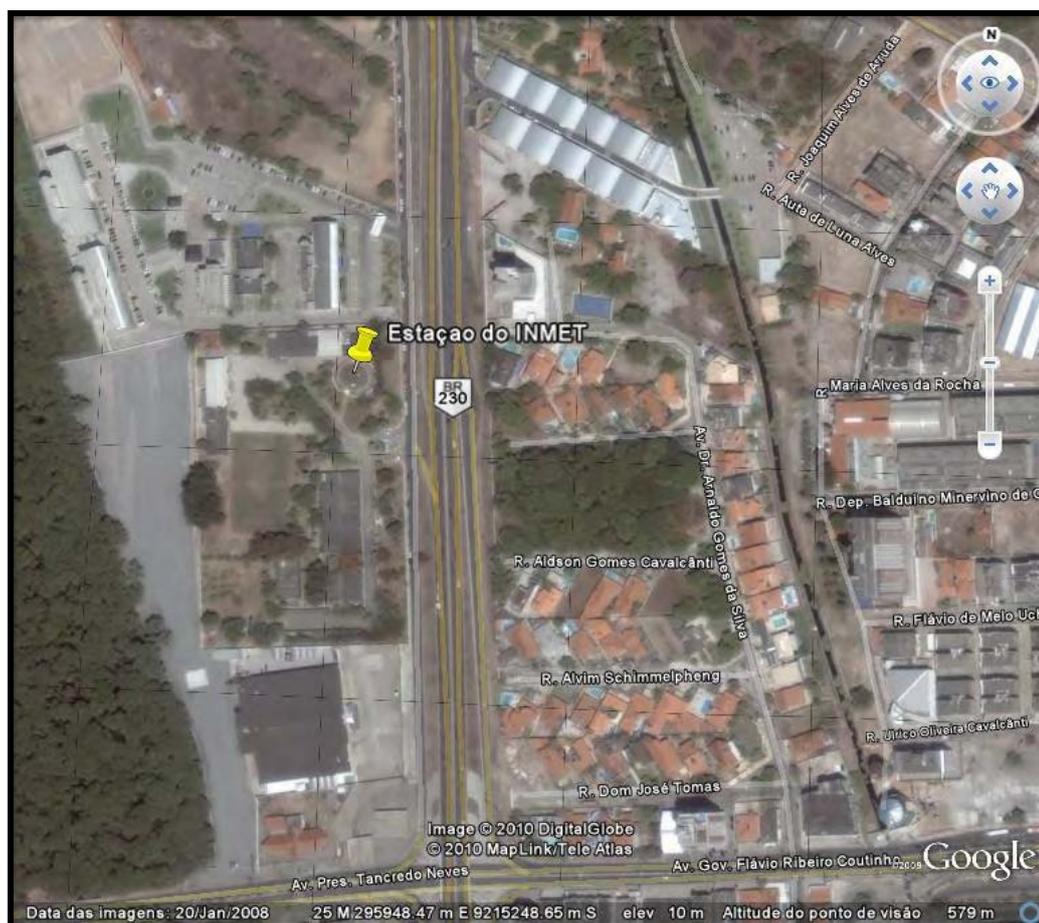


Figura 5 - Imagem aérea da Estação do INMET. Fonte: Google Earth.

Além desses fatores externos ao local da estação do INMET, faz-se necessário mencionar algumas características que influenciam diretamente na medição dos elementos climáticos desta estação. Em visita in loco foi verificado que a estação do INMET não segue as normas básicas padrão de instalação de estações meteorológica. Sabe-se que uma estação meteorológica deve seguir algumas normas relacionadas ao local onde possa ser instalada, tais como, estar em uma área sem obstruções de edificações ou árvores, bem como não estar em uma superfície de solo desnudo ou impermeabilizada, uma vez que estes fatores possibilitam

a formação de outro microclima, o que pode mascarar a mensuração dos dados. No entanto, no entorno da estação, encontram-se árvores altas e áreas de médio porte. Já no que se refere à cobertura do solo, apenas a parte leste da estação está com solo coberto por gramíneas, estando as demais partes impermeabilizadas por prédios, passarelas, ruas e estacionamentos.

A estação do LES está situada em uma área onde no entorno imediato não se encontra pouco adensado, estando, no entanto, em uma superfície de solo desnudo. Ao sudeste da estação está o bairro Bancários, que apresenta uma área com alta taxa de adensamento urbano, não sendo comum, entretanto, edificações que excedam cinco pavimentos. A oeste da estação está a avenida que liga a zona sul da cidade ao centro e aos bairros em direção às praias. É válido observar que esta estação também está próxima de vários núcleos de Mata Atlântica, que são as áreas de reserva no território do Campus I da UFPB, e a Mata do Buraquinho que possui uma área de 515 ha (Figura 6)



Figura 6 - Núcleos de reserva de Mata Atlântica da UFPB e da Mata do Buraquinho com a localização da Estação do LES. Fonte: Acervo Paulo Rosa⁵..

⁵ Professor do Departamento de Geociência da UFPB

A estação meteorológica de referência localizada fora do núcleo urbano de João Pessoa é a localizada no aeródromo do Aeroporto Castro Pinto, que está entre os municípios de João Pessoa, Bayeux e Santa Rita. Embora nos últimos anos venha sido observado um incremento da área edificada nos arredores do Aeroporto, a estação se mantém em um local mais afastado de intensos aglomerados urbanos. (Figura 7)



Figura 7 - Imagem aérea da Estação do Aeroporto Castro Pinto Fonte: Google Earth

4 Resultados e discussão

Para compreender as variações mesoclimáticas decorrentes da expansão urbana este trabalho está baseado nos dados referentes à temperatura e precipitação e no crescimento da expansão urbana de João Pessoa.

Embora as bases de dados das estações meteorológicas apresentassem grandes lacunas de dados, foram criadas alternativas tais como, a transformação da série de dados diários em medias mensais a fim de suavizar as lacunas de dados nos bancos de dados das três estações meteorológicas utilizadas.

Esta parte do trabalho inicia com a análise dos dados referentes à expansão urbana da cidade de João Pessoa, a partir de dados da evolução secular de sua população, bem como a partir de dados de sua mancha urbana das últimas décadas.

Em seguida, tem-se a descrição dos dados de temperatura do ar dos meses do trimestre mais quente e mais frio das estações meteorológicas de Aeroporto Castro Pinto, LES e INMET do período de 1984 a 2008, seguindo da observação de suas respectivas linhas de tendência linear e média móvel. O mesmo procedimento com os dados de precipitação das já mencionadas estações meteorológicas. Por fim, foi estabelecida a correlação entre os dados da expansão urbana e os dados de temperatura e precipitação.

4.1 Expansão urbana em João Pessoa

O crescimento urbano de João Pessoa se deu historicamente a partir do Porto do Capim na zona estuarina do rio Sanhauá/Paraíba, no início do período colonial, formando um pequeno núcleo urbano concentrado em três ruas principais correspondendo à Cidade Alta, Rua Direita, atual Rua General Osório, Rua Nova, atual Duque de Caxias e Ladeira de São Francisco, e algumas vielas de ligação da cidade alta para a cidade baixa, onde se encontrava o porto. Na segunda metade do Século XIX a cidade de João Pessoa passa por uma expansão urbana, surgindo assim novos bairros no entorno dessas ruas. Posteriormente, nas primeiras décadas do Século XX a cidade já se encontra com um núcleo central e rodeado por bairros que margeiam esse núcleo, mas, só a partir de 1930 a cidade foi se expandindo em direção ao litoral.

Assim, um fator que contribuiu significativamente para a formação da configuração do espaço urbano que se tem atualmente foram as cirurgias urbanas⁶ implementadas na cidade durante a Primeira República. Antes mesmo da República ser proclamada no Brasil em 1889, a cidade de João Pessoa, então Parahyba, já havia passado por algumas transformações em seu espaço urbano promovidas pelas ações urbanizadoras de Beaurepaire Rohan, que providenciou a abertura de algumas vias como também nivelamento de algumas travessias íngremes, intervenções estas que buscavam melhorar a circulação intra-urbana. Assim, é perceptível que as intervenções urbanas implementadas por Beaurepaire Rohan também foram inspiradas no padrão francês de Haussmann, já que parte das ações urbanizadoras visava uma melhor infra-estrutura viária, a partir da abertura, retificação e ampliação de grandes avenidas.

Foi nesse contexto que se deu a implantação de várias ruas e avenidas na cidade, a exemplo da mais importante via de acesso da cidade até hoje que é a Avenida Epitácio Pessoa, que foi inaugurada no começo do século XX. Pode-se afirmar que a construção dessa avenida foi um dos elementos que contribuíram fortemente para a formação de vários bairros em direção ao Leste da cidade (Figura 8).



Figura 8 -Reconstituição da mancha urbana de João Pessoa de 1923 e 1930 sobre a base cartográfica de 1998. Fonte: OLIVEIRA, 2006.

⁶ Cirurgias urbanas: Intervenções urbanas que foram inicialmente estabelecidas por Haussmann e promovidas entre os anos de 1853 e 1870 em Paris, cidade que teve seu tecido urbano completamente modificado em decorrência da construção de uma ampla estrutura viária a partir da demolição de grande parte das habitações. Esse modelo urbano de Haussmann foi caracterizado por grandes intervenções urbanas, sendo uma das principais características a implantação de grandes artérias viárias, os *Boulevards*, que tinham como finalidade garantir maior mobilidade e fluidez do tráfego. (KIRKMAN, 2007; SIMÕES JUNIOR, 2007; VIDAL, 2004)

No entanto, embora a cidade de João Pessoa seja uma das cidades mais antigas do país, e que desde o início do Século XX já apresentava um processo de ampliação de sua mancha urbana, o crescimento urbano efetivo de João Pessoa, tanto pelo quesito relativo aos equipamentos urbanos, como também, do contingente populacional, ocorreu de forma mais intensa a partir da década de 1970. Podem-se citar vários fatores responsáveis por este processo, haja vista o fenômeno do êxodo rural ter sido de forte influência no aumento da população urbana, bem como a partir da década de 1970 a expansão da Universidade Federal da Paraíba atraiu muitas pessoas para João Pessoa. Um elemento que nos leva a perceber o aumento populacional nesse período foi o aparecimento de conjuntos habitacionais, construídos então para suprir uma demanda de moradores, como por exemplo, o bairro de Mangabeira.

É relevante mencionar que o aumento populacional da cidade de João Pessoa foi proporcionalmente maior do que o do Estado da Paraíba e nas últimas três décadas a cidade quase triplicou o número de seu contingente populacional, considerando que em 1970 a população residente era de 221.052 habitantes, e em 2009, segundo dados do IBGE, conta com 702.235 habitantes (Figura 9).



Figura 9 - Número de habitantes do município de João Pessoa de 1872 a 2009. Fonte: IBGE, 2009

No que se refere à expansão da mancha urbana de João Pessoa, verifica-se que a maior taxa de crescimento se deu entre as décadas de 1950 a 1970, haja vista que neste período a mancha urbana passou de uma área de 1145 ha para 3788 ha (Figura 12) representando um

aumento de 38 % em apenas 20 anos. No entanto, é relevante também notar que no intervalo de 7 anos, tempo referente aos anos de 1970 a 1977, a cidade cresceu 2371 ha, correspondendo um crescimento de 34%, valor bastante alto, considerando o curto período tempo. A esta expansão da mancha urbana que ocorreu na década de 1970 em João Pessoa, atribui-se o fato anteriormente mencionada chegada de pessoas oriundas de outros estados do país em decorrência da fundação e ampliação da UFPB. Assim como, se pode notar, neste período, uma intensa expansão da área edificada na parte Sudeste da cidade, a partir do surgimento dos bairros Jardim Cidade Universitária, Castelo Branco e Bancários, atendendo a nova demanda populacional da cidade (Figura 10).

Assim, observa-se que entre as décadas de 1970 e 1980 o adensamento urbano se deu em habitações principalmente horizontais, notam-se, inclusive, poucos prédios com mais de cinco pavimentos. As habitações se davam em conjuntos habitacionais que se localizaram nas áreas Sul da cidade formando: conjunto Castelo Branco, Professores, Bancários, Ernesto Geisel e Mangabeira e Valentina Figueiredo; a Leste: Manaíra, Tambaú e Bessa; Norte: Ipês. (Figura 11).



Figura 10 – Reconstituição da mancha urbana de João Pessoa de 1972 sobre a base cartográfica de 1998. Fonte: OLIVEIRA, 2006.



Figura 11 – Reconstituição da mancha urbana de João Pessoa de 1983 sobre a base cartográfica de 1998. Fonte: OLIVEIRA, 2006.

Nos últimos 30 anos, embora a cidade tenha sofrido um considerável aumento de seu contingente populacional, não houve expansão da área urbana, mas houve grande expansão da área edificada, ou seja, ocorreu adensamento urbano. Como se pode observar durante os anos de 1977 a 2009 a mancha urbana da cidade cresceu 1.959 ha, ou seja, a taxa de expansão urbana de deste período foi de 28%, um percentual relativamente pequeno considerando que de 1970 a 2009 a população residente na cidade teve um incremento de mais de 400 mil habitantes (Figura 12).

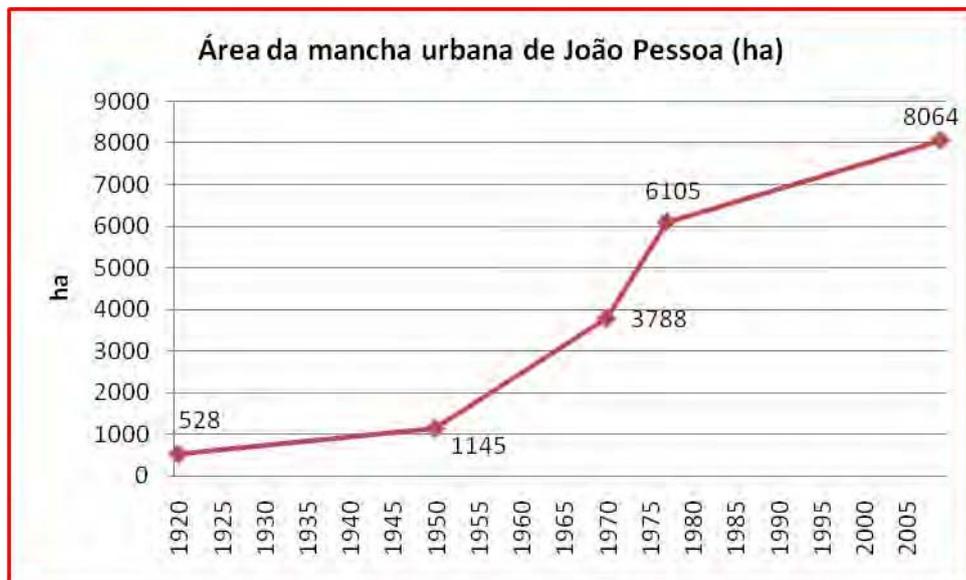


Figura 12 - Gráfico da área da mancha urbana de João Pessoa de 1920 a 2009. Fonte: RODRIGUEZ, 1985 (anos de 1920, 1950 e 1977); Satélites LANSAT 5(ano de 1970) e CBERS 2B(ano de 2009)

Ainda com relação à expansão da cidade, fica evidente que nas últimas duas décadas a cidade sofreu um intenso processo de verticalização de suas edificações, principalmente nas áreas próximas à praia, (Figuras 13 e 14). A expansão imobiliária encontra suporte no status de moradia próxima na linha litorânea, estabelecendo um valor estético ao valor monetário, de maneira que a partir da década de 1990 a faixa costeira de João Pessoa adquire um alto valor imobiliário havendo maior oferta e procura e, portanto aumentando o adensamento populacional.

No entanto, não é só a área da planície costeira que recebe edificações de mais de três pavimentos, esse é um fenômeno que também ocorre nos bairros de classe B e C, que estão situados nas áreas mais afastadas da costa litorânea. Assim, pode-se observar a verticalização da cidade de João Pessoa como sendo um processo de aumento populacional, onde o mercado imobiliário se organiza para disponibilizar cada vez mais a possibilidade de moradias, partiu-

se então do raciocínio que em um ou dois lotes, onde havia residências horizontais, através da prática de remembramento desses lotes derrubam-se as casas e erguem-se edifícios com múltiplos pavimentos.



Figura 13 - vista de trecho da orla da cidade em 1985.
Fonte: Atlas Geográfico do Estado da Paraíba, 1985.



Figura 14 - vista de trecho da orla da cidade em 2008. Fonte: Acervo Paulo Rosa.

Isso, portanto, vem ocorrendo sem observar futuros transtornos que a elevação do gabarito pode provocar em decorrência de fortes variações nas variáveis ambientais, pois, juntamente com a construção de um edifício, tem-se o aumento da: circulação de veículos no entorno, demanda de água, produção de resíduos sólidos, descargas de esgoto, impermeabilização do solo, variações no vento e também na temperatura.

Assim, pode-se se observar que do final da década de 1970 a 2009, a mancha urbana de João Pessoa cresceu 28%, o que pode ser entendido como uma expansão relativamente pequena, considerando que no mesmo período a população residente cresceu aproximadamente 140%, indicando que a cidade sofreu um intenso processo de verticalização. A década de 1970 representou o ano que iniciou o processo de intensificação da urbanização em João Pessoa, sendo este fenômeno atribuído a forte imigração que ocorreu na cidade a parte desta década.

4.2 - Temperatura a partir das estações do Aeroporto Castro Pinto, LES e INMET

A temperatura média do ar do trimestre mais quente da estação do Aeroporto, no período de 1984 a 2008, foi de 24,3°C. Embora haja uma lacuna de dados de 1990 a 1993, pode-se observar que a temperatura a partir de 1985 inicia um processo de declínio que vai até o ano de 2003. A curva de declínio é iniciada em março de 1985 com 28,1°C e vai até fevereiro de 2003, quando se registrou a temperatura média mínima da série que foi de 25,6°C. Durante esse período de declínio de temperatura foi verificado apenas um desvio do comportamento médio da temperatura que ocorreu no ano de 1998. Verifica-se um aumento da temperatura de 2004 a 2006 e um declínio nos anos de 2007 e 2008, no entanto embora seja verificada diminuição da temperatura em 2007 e 2008, a temperatura mínima registrada neste período foi de 27°C em janeiro de 2008. (Figura 15).

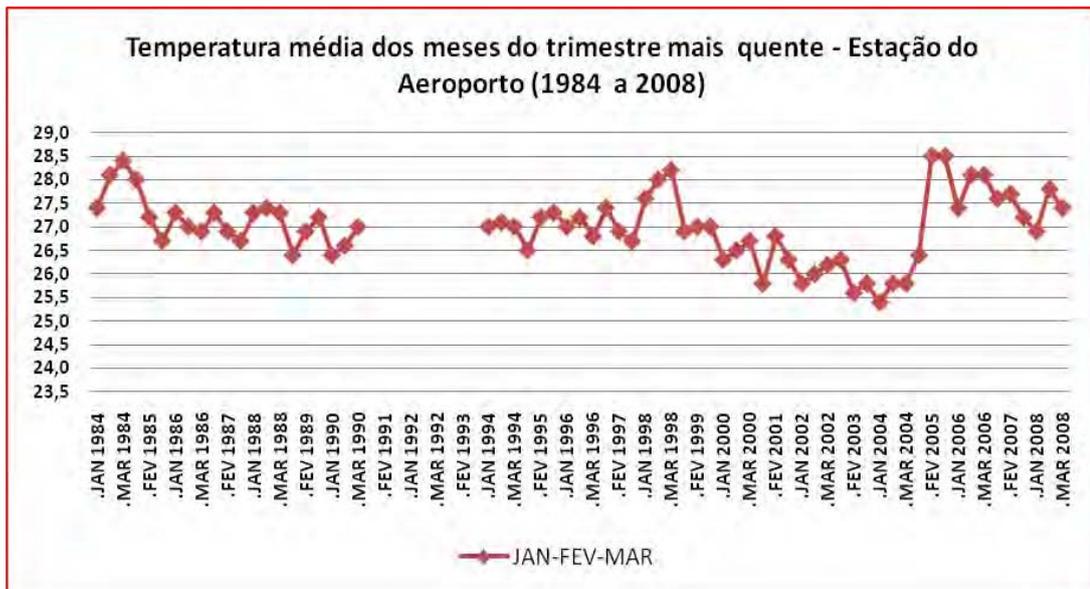


Figura 15 -Gráfico da temperatura média dos meses do trimestre mais quente da estação do Aeroporto de 1984 a 2008

Observando na figura 16 a curva de tendência da temperatura do Aeroporto no trimestre mais quente, verifica-se que há uma tendência de declínio da temperatura. No entanto, observando a curva da média móvel, nota-se que houve um longo declínio da temperatura rompido por uma elevação de temperatura no ano de 2005, e ainda que observada uma diminuição da temperatura nos últimos anos da série, esse decréscimo de temperatura não é tão acentuado como nas décadas de 1980 e 1990.

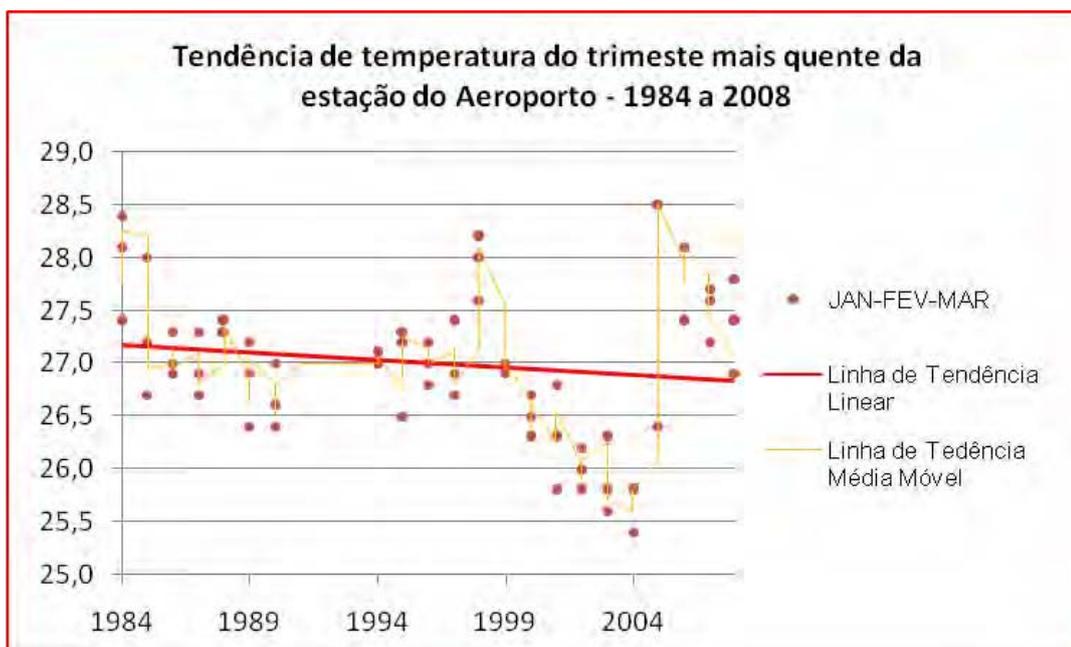


Figura 16 -Gráfico da tendência de temperatura dos meses do trimestre mais quente da estação do Aeroporto de 1984 a 2008

A temperatura média dos meses do trimestre mais frio da estação do Aeroporto no período de 1984 a 2008 foi de 24,3°C, apresentando comportamento semelhante ao do trimestre mais quente, ou seja, observa-se um declínio nas médias de temperatura de 1985 a 2003. Essa linha de declínio é iniciada pelo pico mais alto de temperatura da série, 25,9°C em junho de 1985 e, finalizada com a temperatura mínima registrada, que foi de 23,3°C em junho de 2003. Da mesma forma que no trimestre mais quente, 1998 constituiu um ano atípico, registrando temperaturas elevadas se comparado com os demais anos da série. A partir de julho de 2003 verifica-se na série uma elevação da temperatura até junho de 2006, quando neste mês se registra 25,5°C. A partir de junho de 2006 inicia-se uma nova curva de declínio da temperatura, sendo que neste período os valores são superiores aos verificados na década de 1990, posto que a mínima registrada foi 24,3°C em agosto de 2007. (Figura 17)

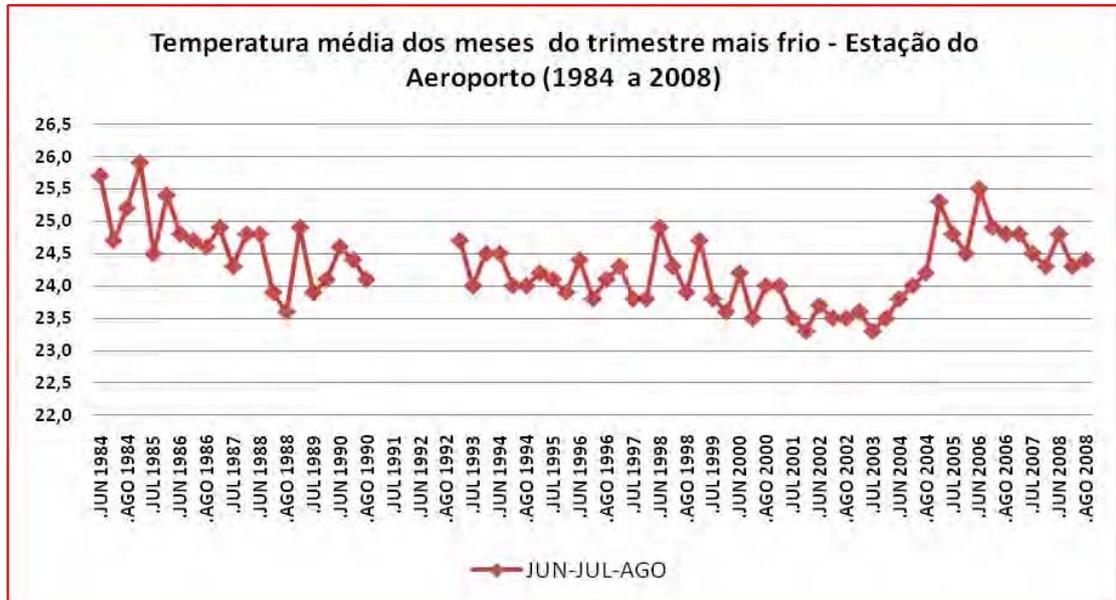


Figura 17 -Gráfico da temperatura média dos meses do trimestre mais frio da estação do Aeroporto de 1984 a 2008

Com isso, pode-se notar que embora a série de dados do trimestre mais frio da estação do Aeroporto apresente intervalos de aumento e diminuição, a curva de tendência na figura 18 indicou que houve declínio da temperatura. Contudo, ao examinar a linha da média móvel, nota-se que ainda que haja uma curva de declínio nos últimos anos da série, a partir do ano de 2003 a temperatura está mais elevada que nos anos anteriores.

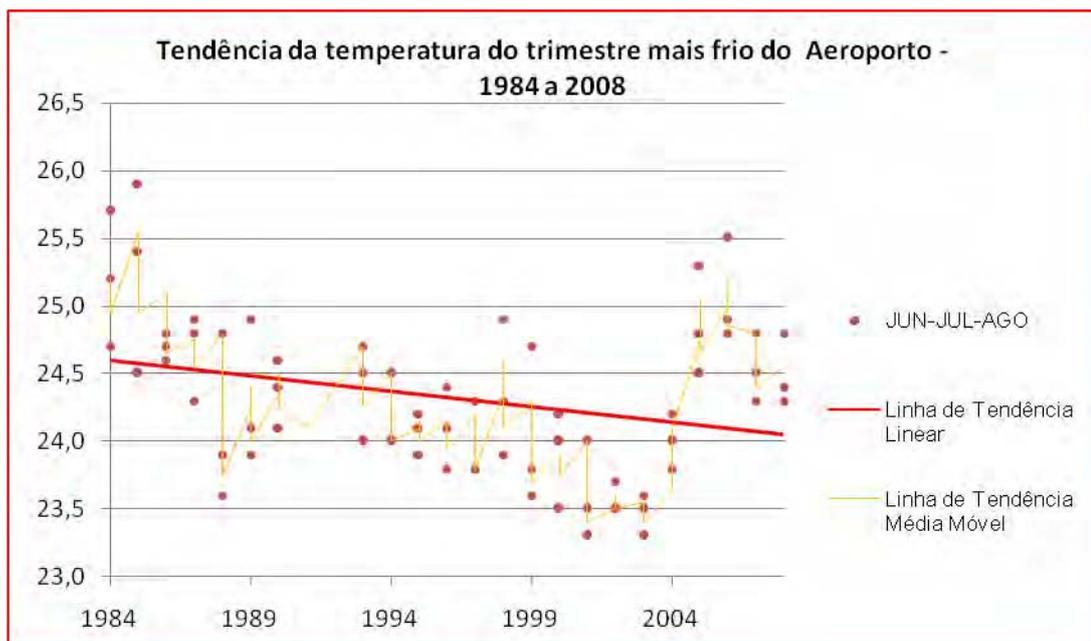


Figura 18 -Gráfico da tendência de temperatura dos meses do trimestre mais frio da estação do Aeroporto de 1984 a 2008

A temperatura média do trimestre mais quente da estação do LES no período de 1984 a 2008 foi de 28,2°C. Verifica-se um aumento da temperatura a partir de março de 1985, quando neste mês foi registrada a temperatura média mensal mínima da série, 27,1°C. Posterior a março de 1985 verifica-se uma elevação da temperatura até fevereiro de 1989, quando a temperatura atinge 28,7°C. Entre os anos de 1990 a 1997 a curva de temperatura varia entre períodos de elevação e declínio, o mínimo e o máximo registrado nesse período foram 27,3°C e 28,8°C respectivamente. O ano de 1998 foi o mais quente da série, atingido a média de 29,8°C no mês de março. Após a temperatura máxima registrada em 1998, inicia-se um período de declínio que vai até março de 2004 com a temperatura de 27,5°C. De 2004 a 2008 a temperatura apresenta momentos de aclave e de declive, com a mínima inferior a 28,1°C e a máxima superior a 29,1°C. (Figura 19)

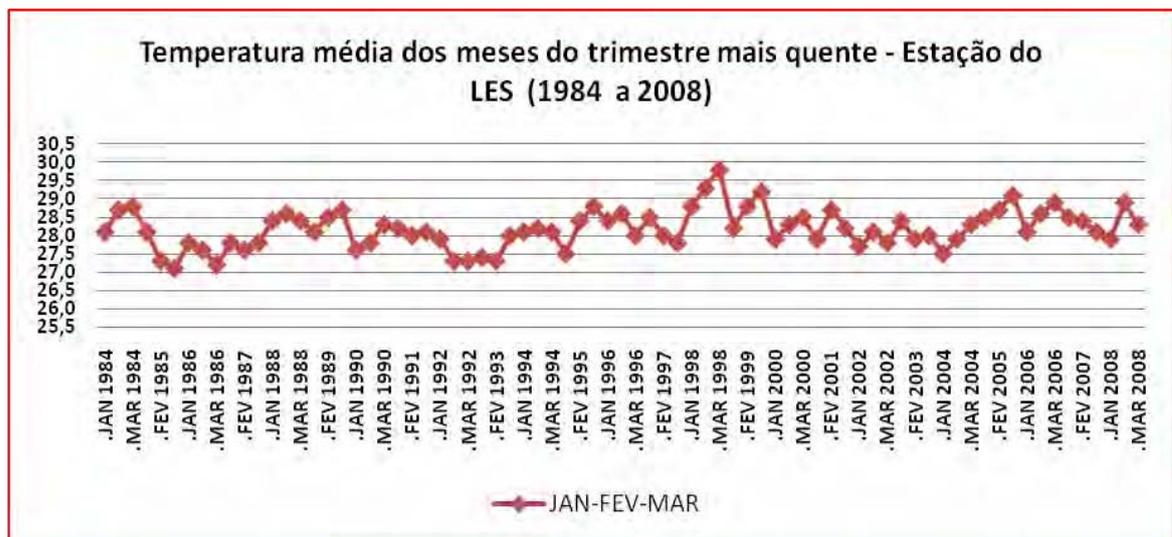


Figura 19 - Gráfico da temperatura média dos meses do trimestre mais quente da estação do LES de 1984 a 2008

A curva de tendência da temperatura do LES do trimestre mais quente indica que houve uma expressiva elevação da temperatura. Já a curva da média móvel mostra que houve três períodos de aquecimento, sendo um no final da década de 1980, outro na última metade da década de 1990, e terceiro nos últimos anos da série, à exceção do ano de 2008. Percebe-se que à exceção do pico de temperatura ocorrido em 1998, o período de aquecimento dos últimos anos da série é mais elevado que os dois outros períodos de elevação da temperatura ocorridos nas décadas de 1980 e 1990 (Figura 20).

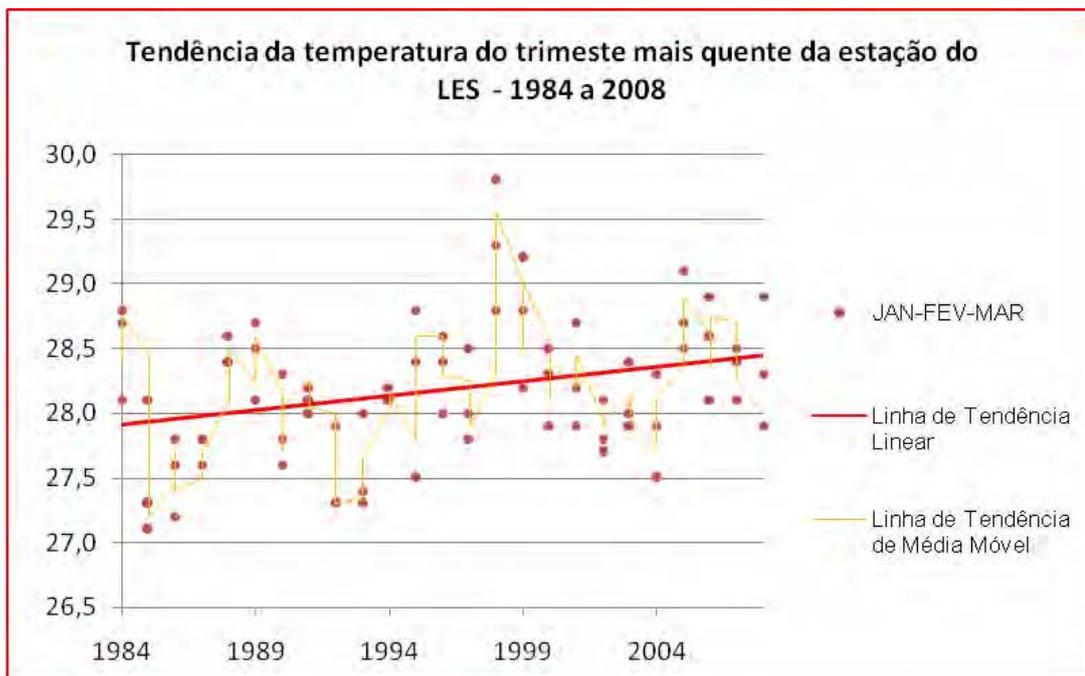


Figura 20 - Gráfico da tendência de temperatura média dos meses do trimestre mais quente da estação do LES de 1984 a 2008

A temperatura média dos meses do trimestre mais frio da estação do LES no período de 1984 a 2008 foi 25,6°C. De 1984 a 1990 a temperatura manteve o comportamento estável, não havendo eventos de consideráveis desvios ascendentes ou descendentes de temperatura. O ano de 1992 foi caracterizado por um declínio de temperatura, em que foi registrado 24,8°C no mês de agosto, um dos valores mais baixos medidos na série. Após este curto período de declínio, verifica-se um aumento da temperatura nos anos seguintes, de 1993 a 1999, em que, neste intervalo de tempo, a temperatura mínima foi 25°C em julho de 1996 e a máxima 26,5°C em 1999. De 1999 a 2008 verifica-se uma leve curva de declínio com a máxima de 26,3°C em 2006. (Figura 21)

Na figura 22 pode-se observar a linha de tendência da temperatura do trimestre mais frio da estação do LES, mostrando que não há aquecimento neste período. Da mesma forma, a curva da média móvel não apresenta tendência de elevação da temperatura. Verifica-se, no entanto, que as temperaturas mínimas, de modo geral são superiores a 25,5°C a partir da segunda metade dos anos de 1990.

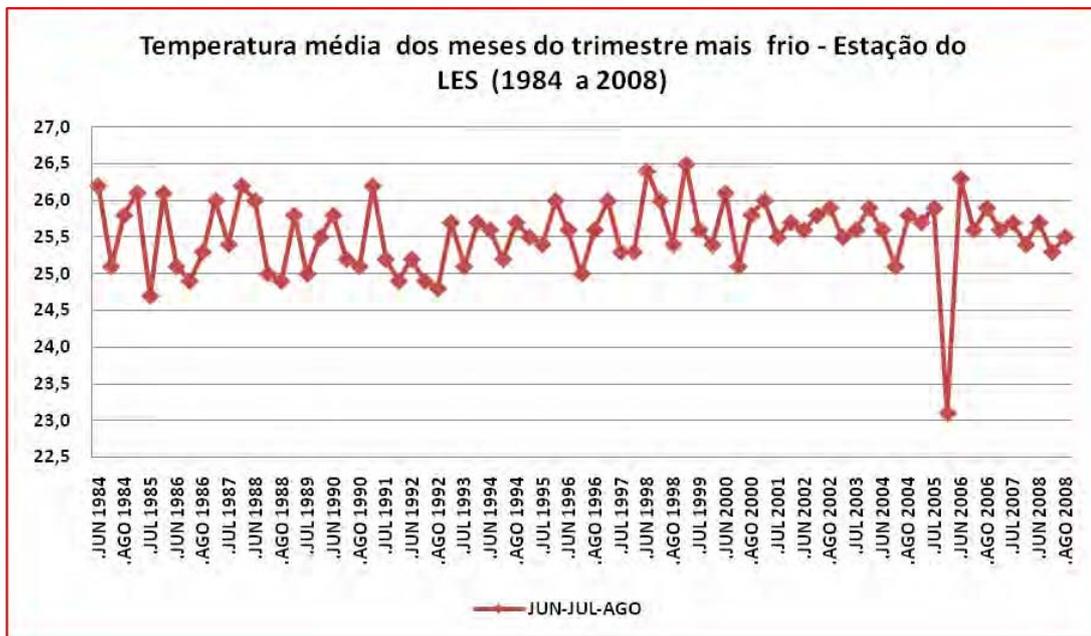


Figura 21 - Gráfico da temperatura média dos meses do trimestre mais frio da estação do LES de 1984 a 2008

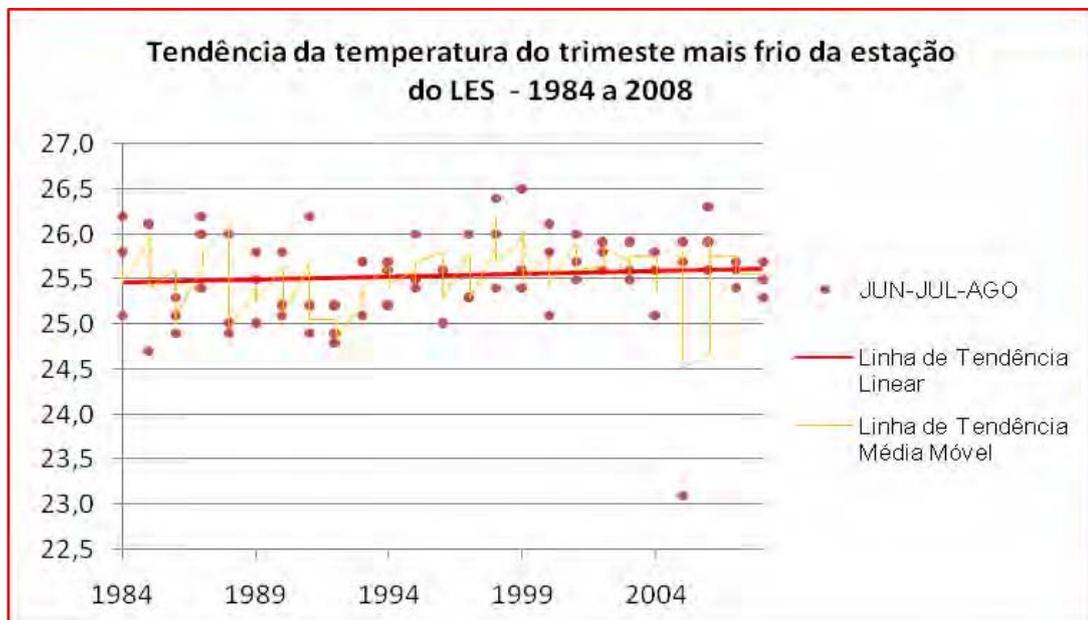


Figura 22 – Gráfico da tendência de temperatura média dos meses do trimestre mais frio da estação do LES de 1984 a 2008

A temperatura média dos meses do trimestre mais quente da estação do INMET entre 1984 a 2008 foi de 28,6°C. De 1984 a 1991 observa-se que as temperaturas passaram por momentos de elevação e declínio, com média mensal mínima de 28°C em março de 1991 e a máxima foi 28,9°C em fevereiro de 1988. Após 1992, que foi o ano de menor temperatura média da série, percebe-se que partir do ano de 1993 até o ano de 2008 houve uma elevação na temperatura, verificando-se apenas alguns períodos de declínio que ocorreram após o pico de temperatura média máxima registrada na série que foi de 29,8°C em março de 1998. A partir de 2003 até 2008 verifica-se outro período de elevação de temperatura. (Figura 23).

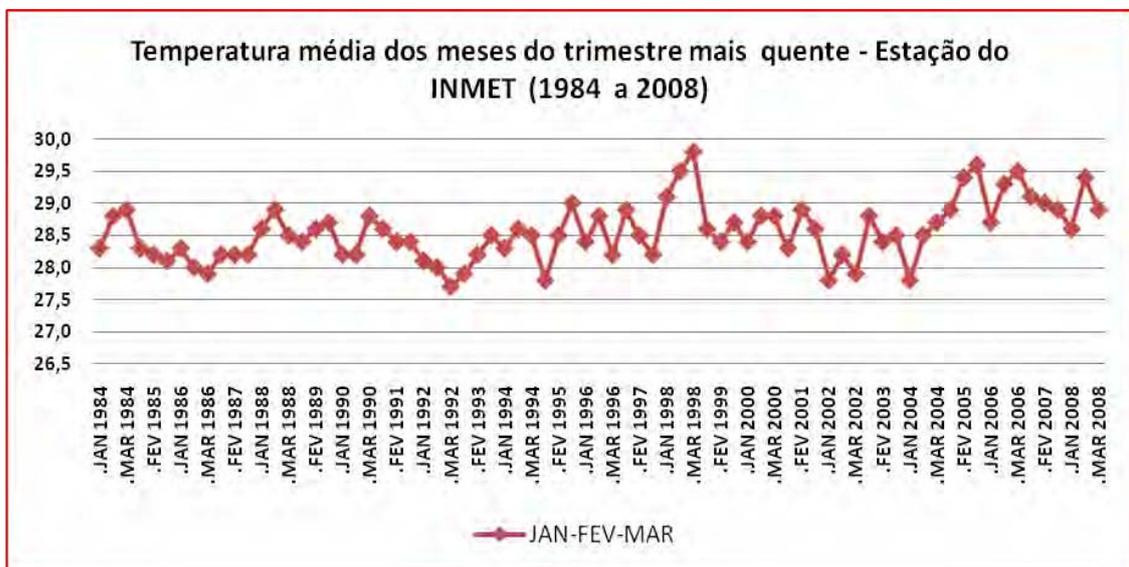


Figura 23 - Gráfico da temperatura média dos meses do trimestre mais quente da estação do INMET de 1984 a 2008

O gráfico da tendência do trimestre mais frio desta estação aponta que houve um expressivo aumento da temperatura no período de 1984 a 2008. Esse comportamento de elevação também está nítido na linha da média móvel, sendo o ano de 1998 e os quatro últimos anos da série os que registraram temperaturas mais elevadas. É relevante observar que, em média, as temperaturas mínimas dos últimos anos da série, de modo geral, são mais elevadas que as temperaturas dos anos de 1980 e 1990, à exceção do ano de 1998. (Figura 24).

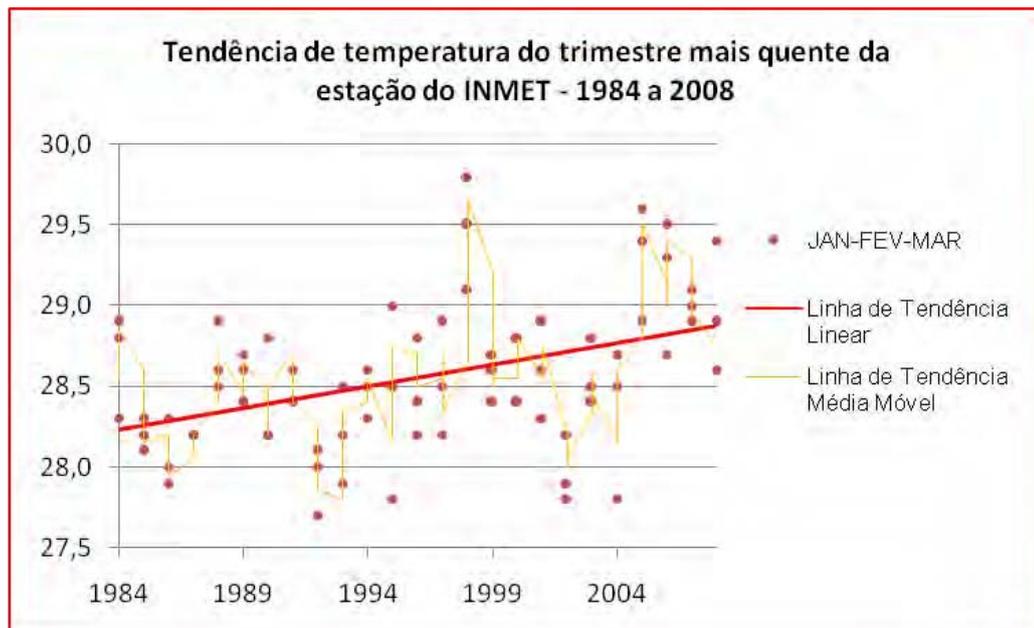


Figura 24 - Gráfico da tendência de temperatura média dos meses do trimestre mais quente da estação do INMET de 1984 a 2008

A temperatura média dos meses do trimestre mais frio da estação do INMET entre 1984 a 2008 foi de 26°C. De 1985 a 1991 a temperatura oscilou entre períodos de elevação e declínio, com média mínima mensal de 24,8°C em julho de 1985 e média máxima de 27,2°C em agosto de 1987. De 1992 a 2008 observa-se um aumento na temperatura, sendo o período de 1991 a 1998 o que sofreu elevações mais intensas da temperatura (Figura 25).

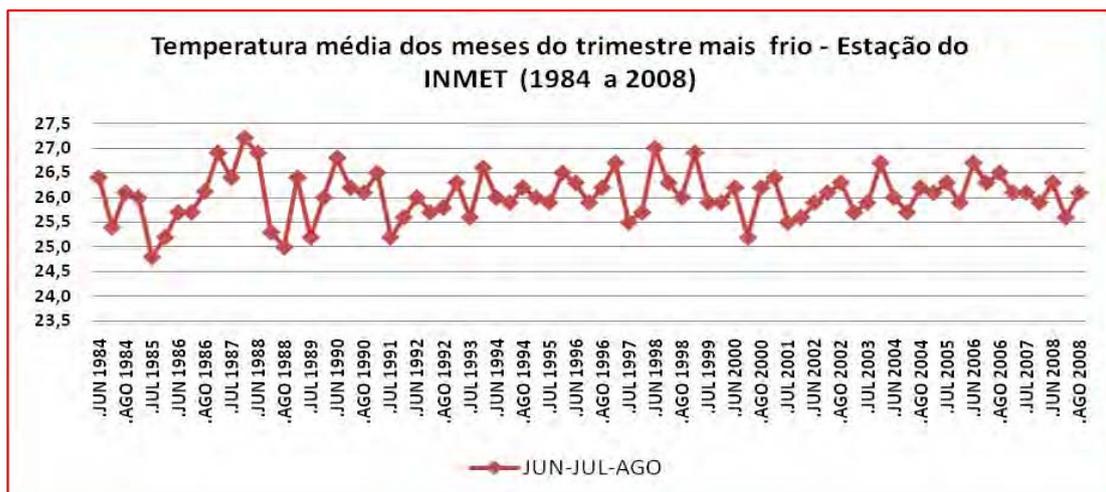


Figura 25 - Gráfico da temperatura média dos meses do trimestre mais frio da estação do INMET de 1984 a 2008

Na figura 26 pode-se observar que houve uma suave tendência de aquecimento na série temperatura do trimestre mais frio do INMET no período de 1984 a 2008. Na curva da média móvel também se percebe que não há uma elevação da temperatura, mas, fica evidente que a partir de 1994 ocorre um aumento das mínimas, com poucas exceções.

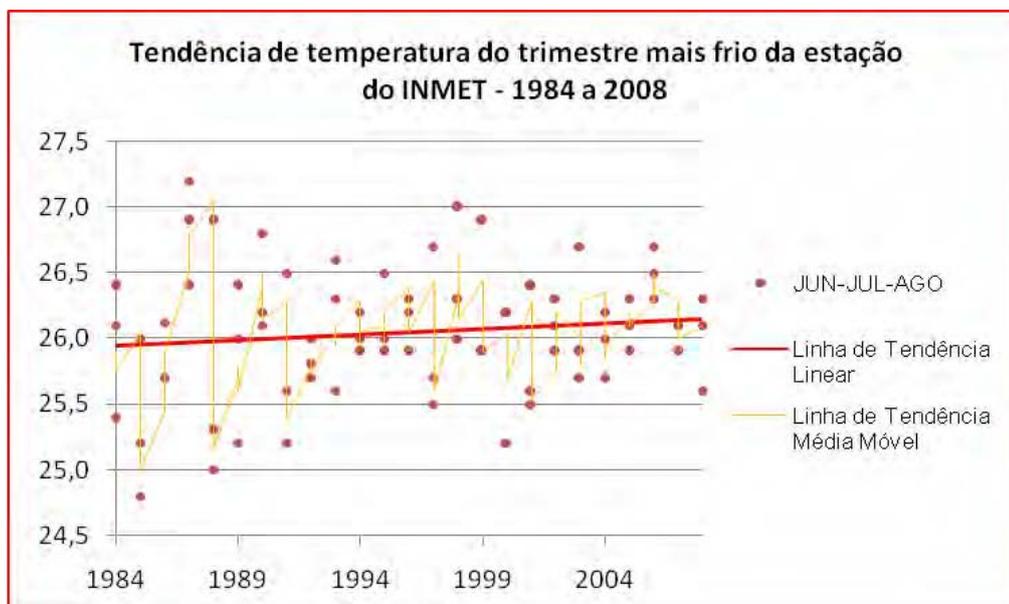


Figura 26 - - Gráfico da tendência de temperatura média dos meses do trimestre mais frio da estação do INMET de 1984 a 2008

A partir da descrição do ritmo da temperatura do ar dos trimestres mais quentes (janeiro-fevereiro-março) e dos trimestres mais frios (junho-julho-agosto) das estações meteorológicas do Aeroporto, LES e INMET, referente ao período de 1984 a 2008, faz-se necessário a colocação de algumas observações pertinentes ao comportamento térmico da série.

A estação meteorológica de referência, a estação do Aeroporto, apresentou comportamento semelhante nos trimestres mais quentes e nos mais frios, em que foi verificado um declínio de temperatura até o ano 2003, quando a partir de então se inicia um período de aquecimento.

As estações situadas no perímetro urbano, as estações do LES e INMET, apresentaram comportamentos diferenciados nos trimestres quentes e frios. Verifica-se que houve uma considerável elevação da temperatura do ar no trimestre mais quente das duas estações, sendo que a estação do INMET apresentou elevação mais intensa. Já no trimestre mais frio foi verificada uma suave tendência de elevação da temperatura, sendo observado, no entanto, que as temperaturas mínimas registradas estão mais elevadas nos últimos anos da série.

4.3 Precipitação pluvial das estações do Aeroporto Castro Pinto, LES e INMET

A precipitação dos meses do trimestre mais quente da estação do Aeroporto de 1984 a 2008 tem um acumulado médio de 97 mm. De 1984 a 1990 a precipitação mensal máxima acumulada foi de 181,2mm em março de 1987. Neste intervalo de tempo houve dois períodos de queda do acumulado mensal, ocorrido no ano de 1984 e outro nos anos de 1989 e 1990, sendo registrado, em ambos os períodos, precipitações inferiores a 50 mm mensais. A partir de 1995 verifica-se um aumento do volume de precipitação, em que podem ser observados oito picos de precipitação acima de 200 milímetros, dos quais, três acima de 250 mm. Os anos de 2003 e 2004 foram os que tiveram as maiores precipitações da série, ocorrendo no mês de fevereiro de 2003 a precipitação mais elevada, que foi de 314,1 mm. Após esse período de precipitações intensas, verifica-se uma diminuição da precipitação nos dois anos seguintes, voltando esta a elevar-se em 2007. (Figura 27)

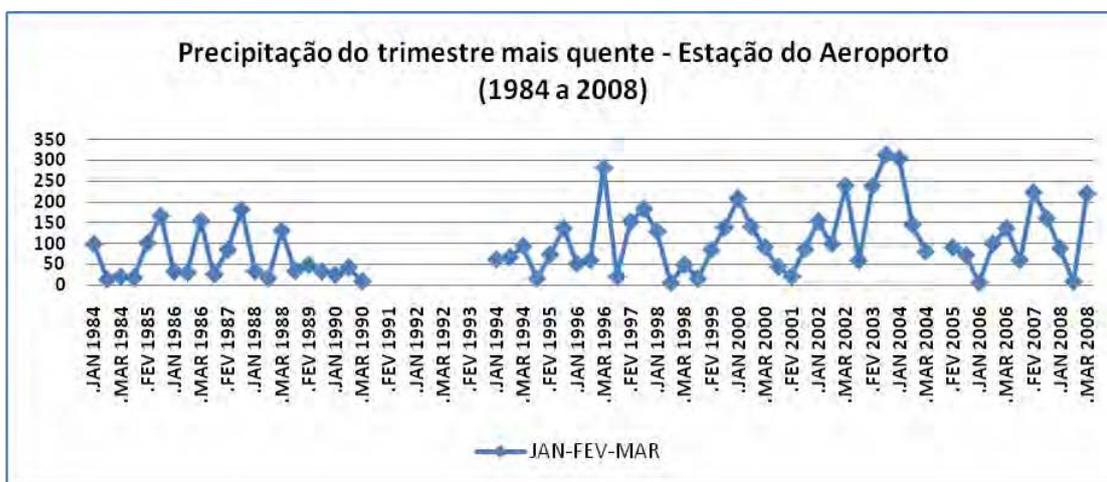


Figura 27 - Gráfico da Precipitação dos meses do trimestre mais quente da estação do Aeroporto de 1984 a 2008

Assim, embora haja oscilações na série de precipitação do trimestre mais quente da estação do Aeroporto de 1984 a 2008, pois ora encontra-se mais elevada e ora mais baixa, verifica-se que há uma tendência de aumento do acumulado mensal das precipitações, como demonstra na figura 28. Na curva da média móvel pode-se ver que a elevação da precipitação acumulada se deu principalmente no final dos anos 1990, entre os anos de 1995 a 1999, e no período de 2000 a 2004.

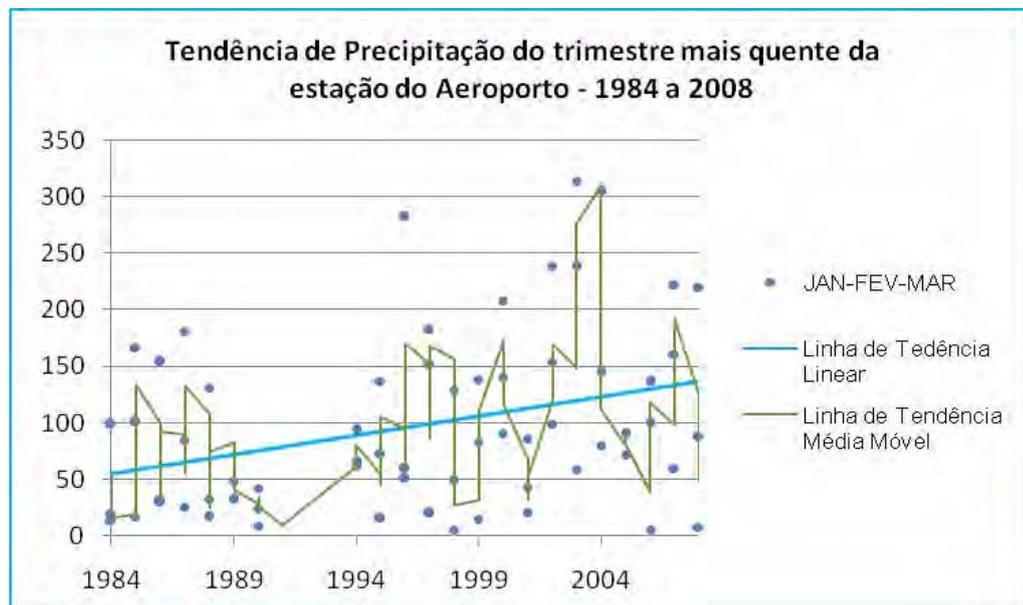


Figura 28 - Gráfico da tendência de precipitação do trimestre mais quente da estação do Aeroporto de 1984 a 2008

A precipitação dos meses do trimestre mais frio do Aeroporto de 1984 a 2008 tem um acumulado médio de 117 mm. De 1984 a 1990 foi registrado apenas um acumulado mensal de precipitação acima de 300 mm, ocorrido em junho de 1987, no mesmo ano que ocorreu a precipitação mais elevada do trimestre mais quente. A partir de 1994, quando se tem um acumulado de 550,9 mm no mês de junho, inicia-se um declínio do acumulado da precipitação que vai até o agosto de 1999, quando neste mês a precipitação atinge o menor valor da série. Após esse mínimo acumulado a precipitação volta a aumentar de modo que nos oito anos seguintes foram observados oito acumulados mensais acima de 300 mm, sendo desses, três acima de 400 mm. Além de ser observado que nos últimos 10 anos da série os acumulados mensais estão acima da média, pode-se notar também que, salvo algumas exceções, as precipitações mínimas estão superiores a 100 mm. (Figura 29)



Figura 29 - Gráfico da precipitação dos meses do trimestre mais frio da estação do Aeroporto de 1984 a 2008

Observando a linha de tendência da precipitação do trimestre mais frio do Aeroporto (Figura 30), nota-se que há uma tendência de aumento do acumulado mensal. Observando a linha da média móvel, à exceção dos meses em que foram registrados acumulados mensais superiores à média que ocorreram em 1993 e do declínio que se seguiu posterior a ele, nota-se que a partir do ano 2000 a precipitação mantém um comportamento regular, ou seja, não há curva de declínio e/ou elevação acentuada.

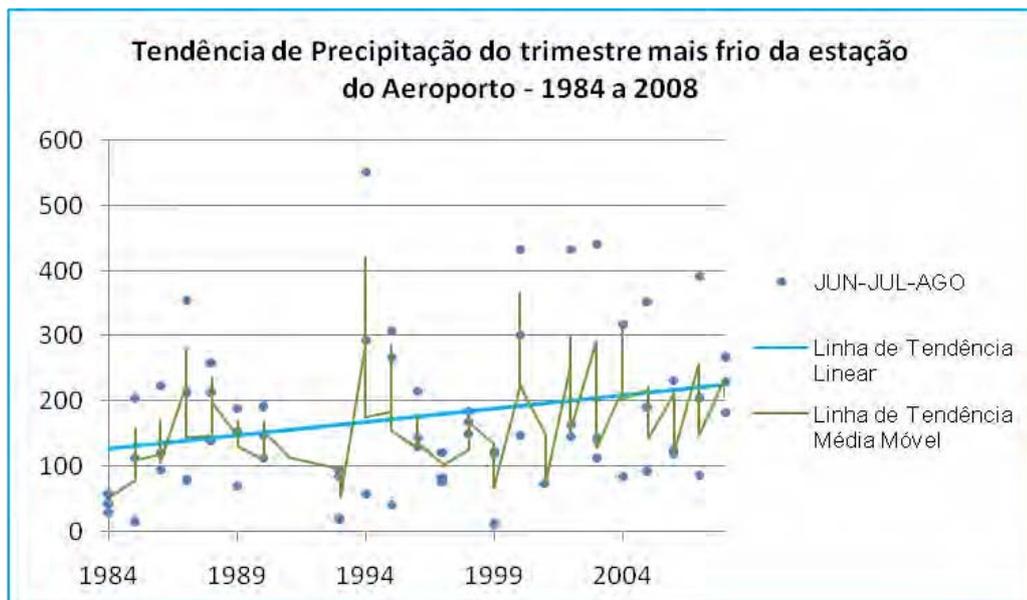


Figura 30 - - Gráfico da tendência de precipitação do trimestre mais frio da estação do Aeroporto de 1984 a 2008

A precipitação dos meses do trimestre mais quente da estação do LES no período de 1984 a 2008 teve um acumulado médio de 122 mm. A partir de fevereiro de 1985, quando foi registrado o acumulado mensal de 455,7 mm, inicia-se um período de declínio da precipitação que vai até março de 1990. Neste mês a precipitação atinge o valor mais baixo dos últimos cinco anos com o acumulado mensal de 9,6 mm. A partir de então observa-se um curto período de elevação da precipitação. Esse comportamento de aumento e diminuição do acumulado foi repetido ao longo dos anos seguintes, sem que a ocorrência caracterizasse um evento excepcional (Figura 31).

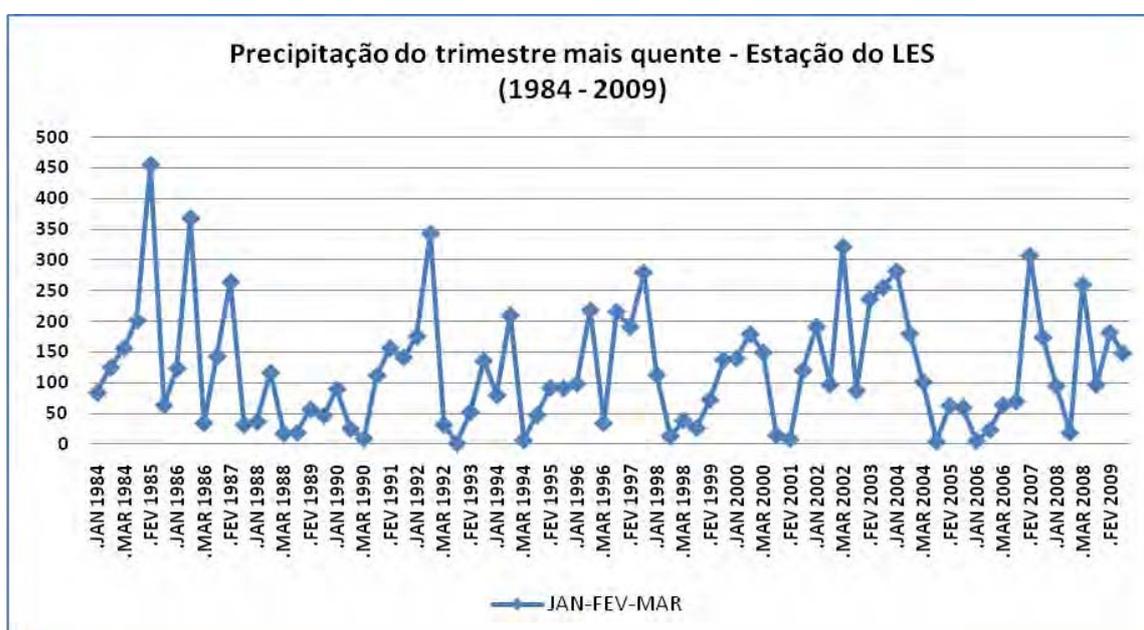


Figura 31 - Gráfico da precipitação dos meses do trimestre mais quente da estação do LES de 1984 a 2008

A partir da figura 32 da tendência da precipitação do trimestre mais quente da estação do LES, pode-se notar que não há uma tendência de elevação nem de declínio da precipitação. Observando a linha da média móvel, percebe-se que o declínio mais longo e acentuado da precipitação ocorreu de 1985 a 1990, não verificando períodos longos de aumento ou diminuição do acumulado. As décadas de 1990 e 2000 se caracterizaram por constantes oscilações do acumulado das precipitações mensais, estes anos apresentaram intervalos em que ora a precipitação esteve mais elevada, e ora e mais baixa, não sendo verificada a predominância de nenhuma dessas variações.

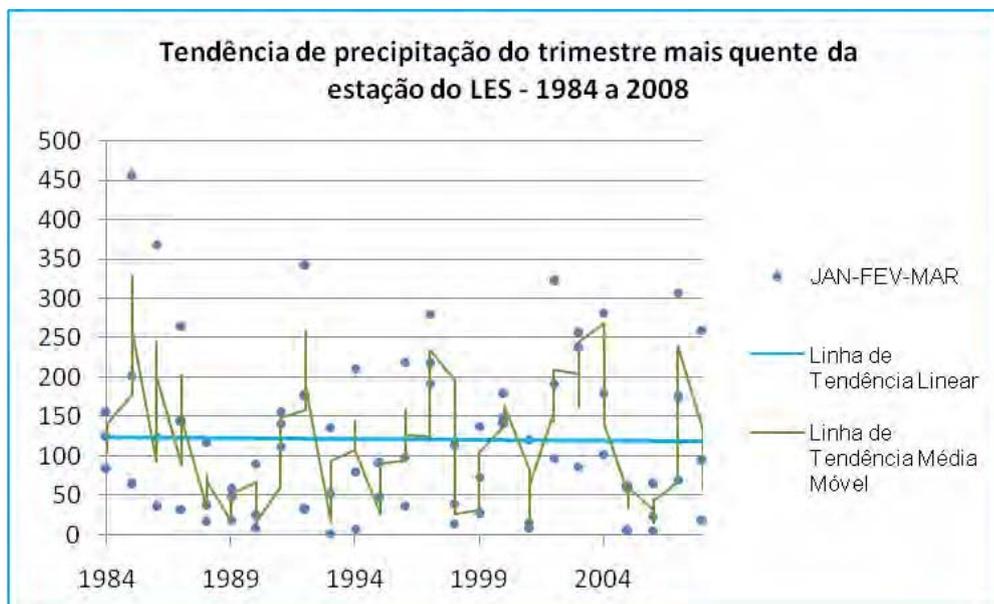


Figura 32 - Gráfico da tendência de precipitação do trimestre mais quente da estação do LES de 1984 a 2008

A precipitação dos meses do trimestre mais frio da estação do LES de 1984 a 2008 foi de 274 mm. Semelhante ao trimestre mais quente da mesma estação, verifica-se um declínio do acumulado da precipitação posterior ao acumulado mensal de 627,9 mm de junho de 1984, em que a partir desta data a precipitação diminuiu até o mês de julho de 1993, quando neste mês foi registrado um dos menores acumulados mensais dos 26 anos em observação. Após este mínimo acumulado, tem-se em 1994 e 1995 os mais elevados acumulados mensais de precipitação da série, registrando-se 664,2 mm em junho de 1994 e 575,2 mm em junho de 1995. Seguiram a estes anos um novo período de declínio de precipitação, que compreendeu os anos de 1996 a 1999, coincidindo com o período de menor acumulado da série. De 2002 a 2008 a precipitação mantém um comportamento regular, não sendo observados intervalos longos de ascensão ou de declínio. (Figura 33).

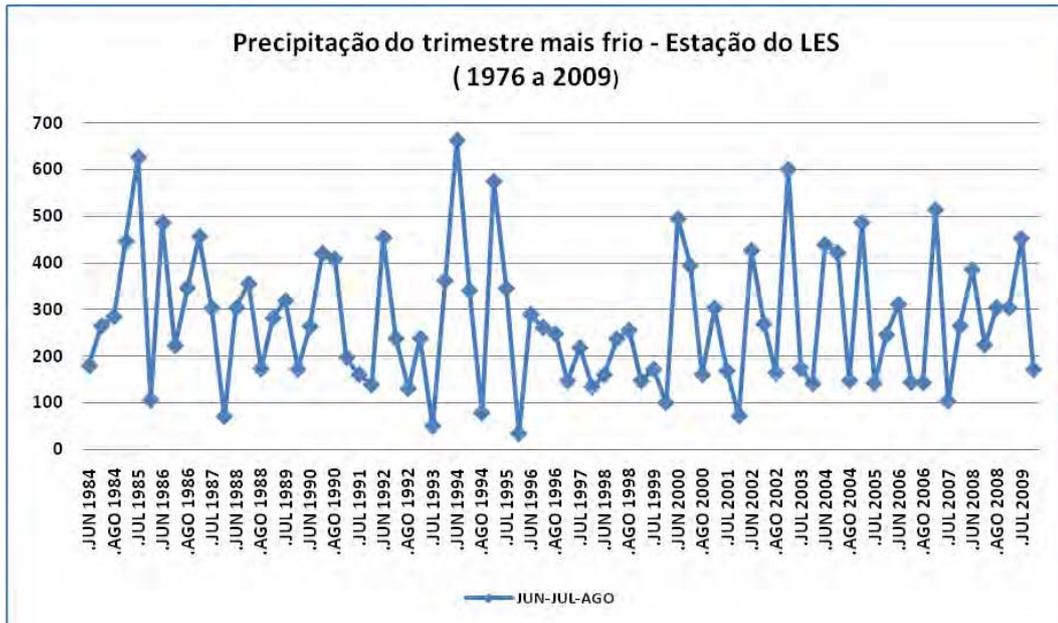


Figura 33 - Gráfico da precipitação dos meses do trimestre mais frio da estação do LES de 1984 a 2008

A curva de tendência da precipitação do trimestre mais frio da estação do LES, representada na figura 34, demonstra que houve um suave declínio da precipitação no período de 1984 a 2008. Esse declínio da precipitação também pode ser observado na linha das médias móveis, em que se nota que houve dois períodos longos de declínio de precipitação, sendo um de 1985 a 1993 e outro de 1995 a 1999. Contudo, pode-se perceber que a partir do ano 2000 não há períodos longos de declínio da precipitação, bem como, as mínimas mensais acumuladas são, de modo geral, superiores a 100 mm.

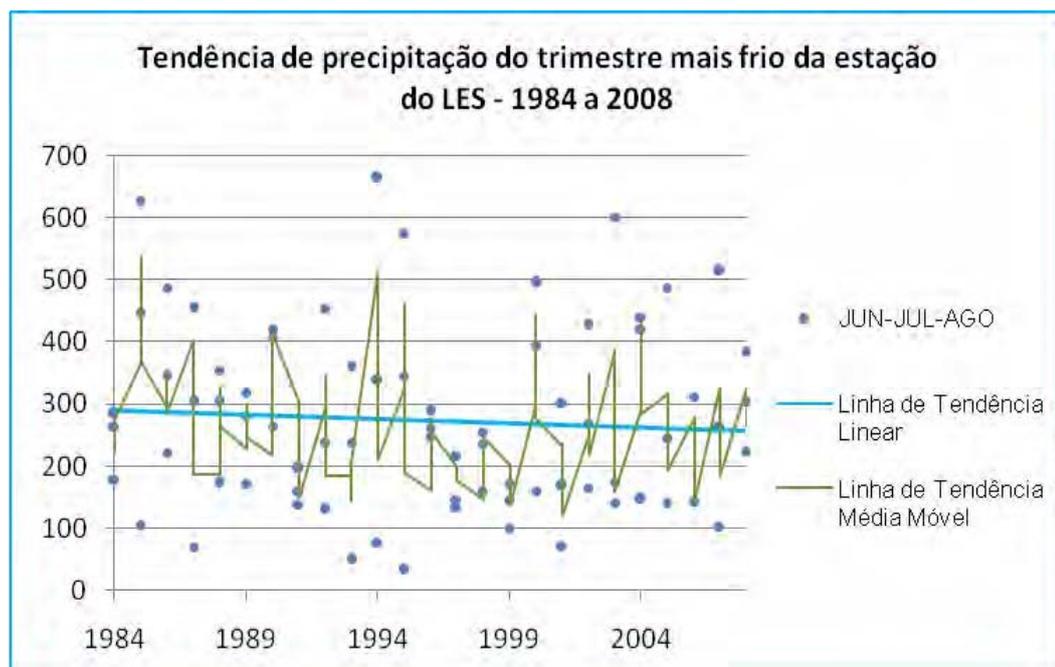


Figura 34 – Gráfico da tendência de precipitação do trimestre mais frio da estação do LES de 1984 a 2008

A precipitação dos meses do trimestre mais quente da estação do INMET de 1984 a 2008 teve um acumulado médio de 112 mm. Observa-se que até o ano de 1992 haviam sido registrados apenas dois acumulados mensais acima de 250 mm, que ocorreram nos meses de março de 1986 e 1988. Nos anos seguintes a 1992, foram verificados sete acumulados acima de 250 mm, sendo destes, quatro posteriores ao ano 2000. A partir de 1998, quando é registrado um dos valores mais baixos da série, inicia-se uma elevação da precipitação que vai até janeiro de 2004, quando se tem o acumulado de 303,8 mm. A partir de 2005 observa-se uma diminuição do acumulado das precipitações, voltando a elevar-se apenas no último ano da série. (Figura 35)

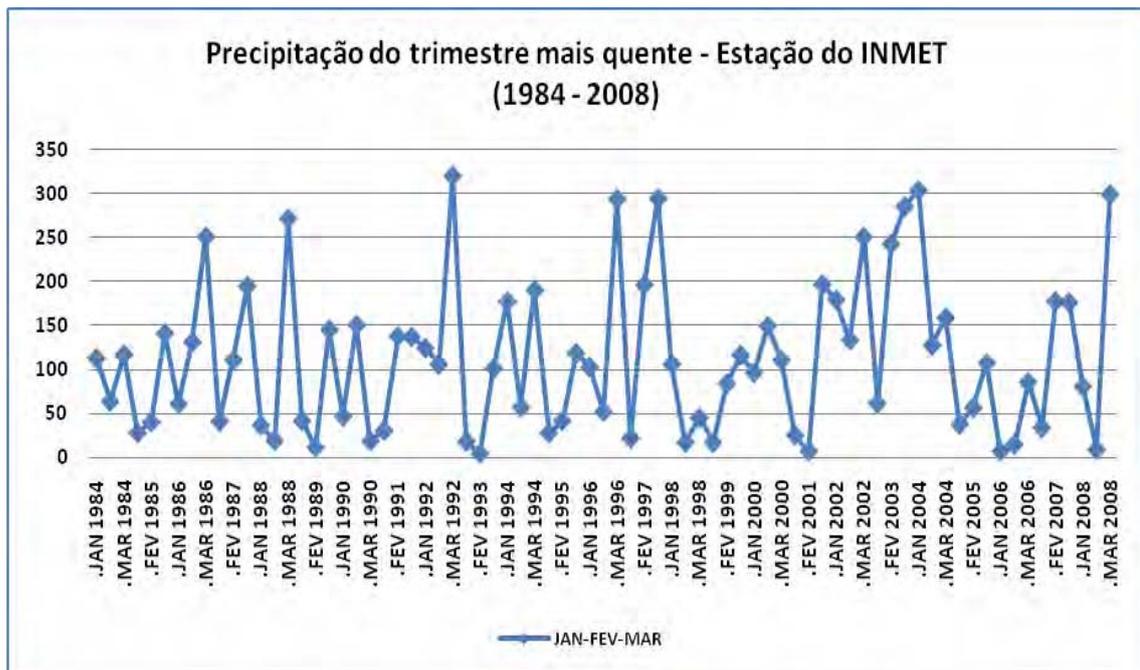


Figura 35 - Gráfico da precipitação dos meses do trimestre mais quente da estação do INMET de 1984 a 2008

A partir do gráfico da tendência da precipitação do trimestre mais quente da estação do INMET do período de 1984 a 2008 (Figura 36), verifica-se que há uma suave linha de aumento do acumulado mensal da precipitação deste trimestre. No entanto, observando a curva da média móvel, à exceção dos períodos mais longos de declínio da precipitação, nota-se que há um aumento no acumulado mensal no início da década de 1990 até 2004. Nos últimos anos da série observa-se uma diminuição no acumulado mensal da precipitação.

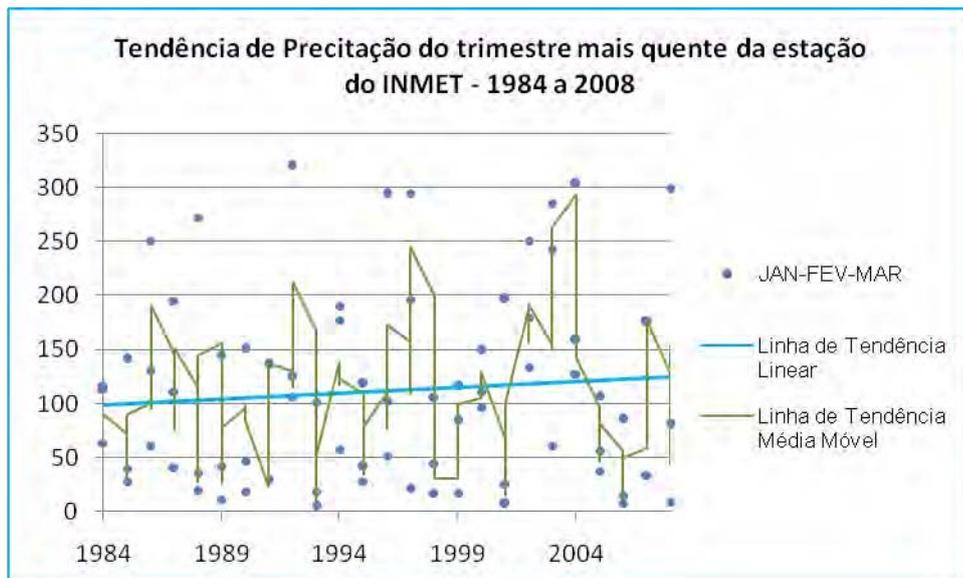


Figura 36 - Gráfico da precipitação dos meses do trimestre mais quente da estação do INMET de 1984 a 2008

A precipitação dos meses do trimestre mais frio da estação do INMET de 1984 a 2008 tem uma média de 262 mm. De 1985 até 1999, à exceção do acumulado de precipitação de 716,4 mm, registrado em junho de 1994, verifica-se uma diminuição da precipitação desse período. A partir do ano 2000, pode-se notar uma elevação no acumulado das precipitações, registrando nove acumulados mensais superiores a 400 milímetros. (Figura 37)

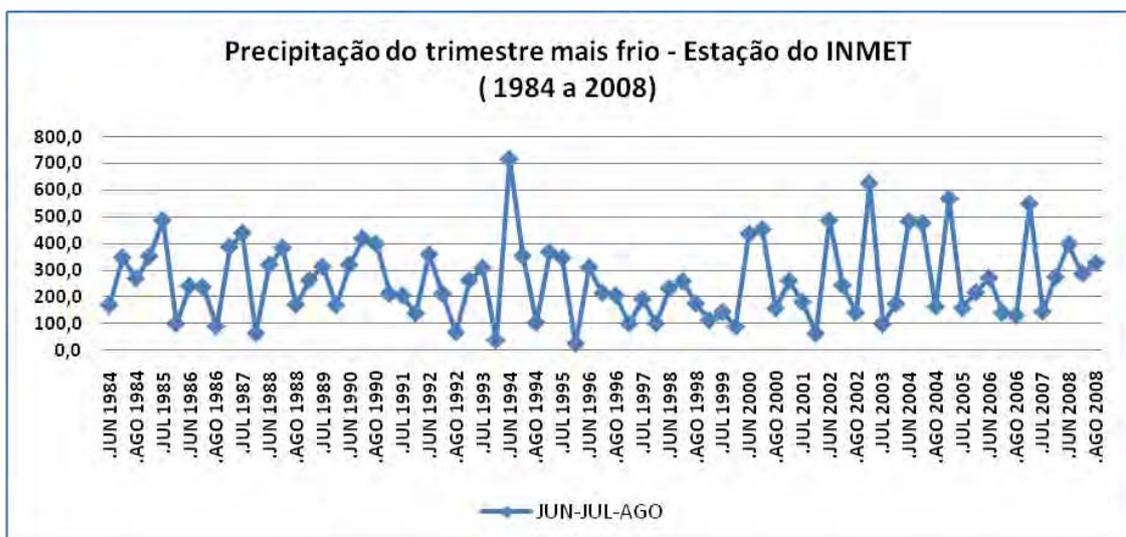


Figura 37 - Gráfico da precipitação dos meses do trimestre mais frio da estação do INMET de 1984 a 2008

O gráfico da tendência da precipitação do trimestre mais frio da estação do INMET de 1984 a 2008 indica uma sensível elevação do acumulado mensal da precipitação deste

trimestre ao longo dos anos (Figura 38). E, corroborando com que foi descrito acima, observando a linha da média móvel, verifica-se um declínio da precipitação de 1984 até 1999, quando a partir de então se inicia um período de aumento do acumulado da precipitação.

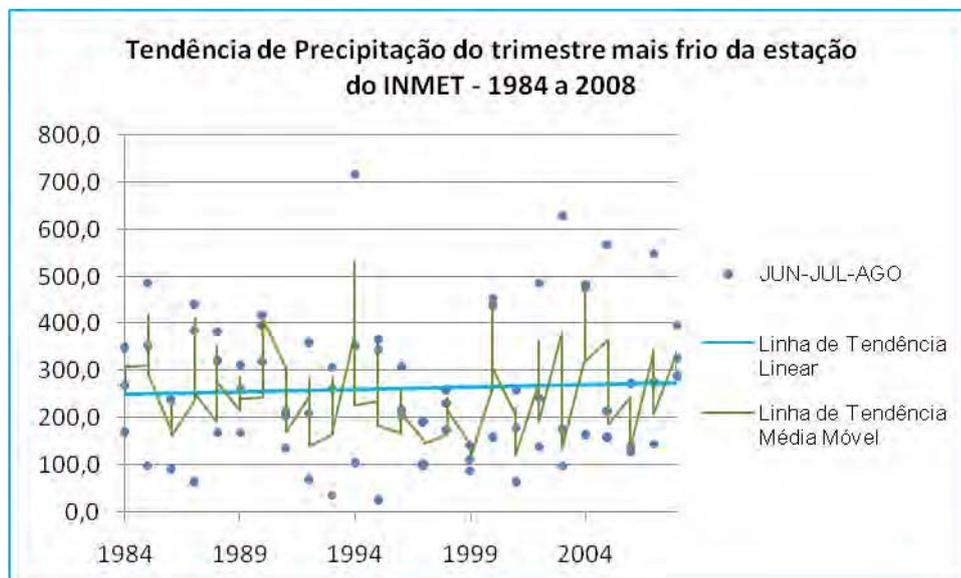


Figura 38 - Gráfico da precipitação dos meses do trimestre mais quente da estação do INMET de 1984 a 2008

A partir da descrição do ritmo da precipitação dos meses do trimestre mais quente (janeiro-fevereiro-março) e dos meses do trimestre mais frio (junho-julho-agosto) das estações meteorológicas do Aeroporto, LES e INMET no período de 1984 a 2008, constata-se que os dados destas estações apresentaram comportamentos diferentes, tanto no trimestre mais quente quanto no frio.

A estação do Aeroporto, estação de referência por estar localizada em uma área com baixa taxa de urbanização, apresentou elevação do acumulado da precipitação nos dois trimestres, sendo este aumento mais expressivo a partir do ano 2000.

As estações localizadas no núcleo urbano (LES e INMET) apresentaram comportamentos diferenciados entre si. A estação do LES apresentou uma suave tendência de declínio nos trimestres mais quentes e mais frios, sendo o trimestre mais frio o que apresentou uma diminuição mais expressiva do acumulado mensal da precipitação. Vale ressaltar que declínio do trimestre mais quente foi mais acentuado na década de 1980 e nos últimos anos da série, enquanto a precipitação do trimestre mais frio apresentou diminuição do acumulado nas décadas de 1980 e 1990.

Inversamente ao comportamento da estação do LES, a estação do INMET indicou uma tendência de elevação do acumulado mensal da precipitação nos trimestres mais quentes e mais frios, sendo que o trimestre mais quente apresentou elevação do acumulado.

Outro fator que deve ser levantado é o fato que, de modo geral, os meses e os períodos de elevados acumulados de precipitação são precedidos por um período em que são registradas precipitações inferiores a média da série. Esse comportamento é verificado nos trimestres mais quentes e mais frios de todas as três estações meteorológicas em observação.

4.4 Correlação entre os dados de Temperatura e precipitação com e a expansão urbana da cidade de João Pessoa

Como foi descrito anteriormente, as temperaturas das estações do Aeroporto, LES e INMET não apresentaram o mesmo padrão de comportamento durante os anos 1984 a 2008. O mesmo é verificado no gráfico das temperaturas médias anuais de cada estação

A temperatura da estação do Aeroporto apresentou um declínio até o ano 2004, iniciando a partir desse ano elevação de sua temperatura, justamente quando se iniciam as obras de sua ampliação. No entanto, mesmo após a ampliação de suas edificações, a temperatura média desta estação se mantém mais baixa do que a temperatura das duas estações localizadas no perímetro urbano de João Pessoa, como se pode ver na figura 39.

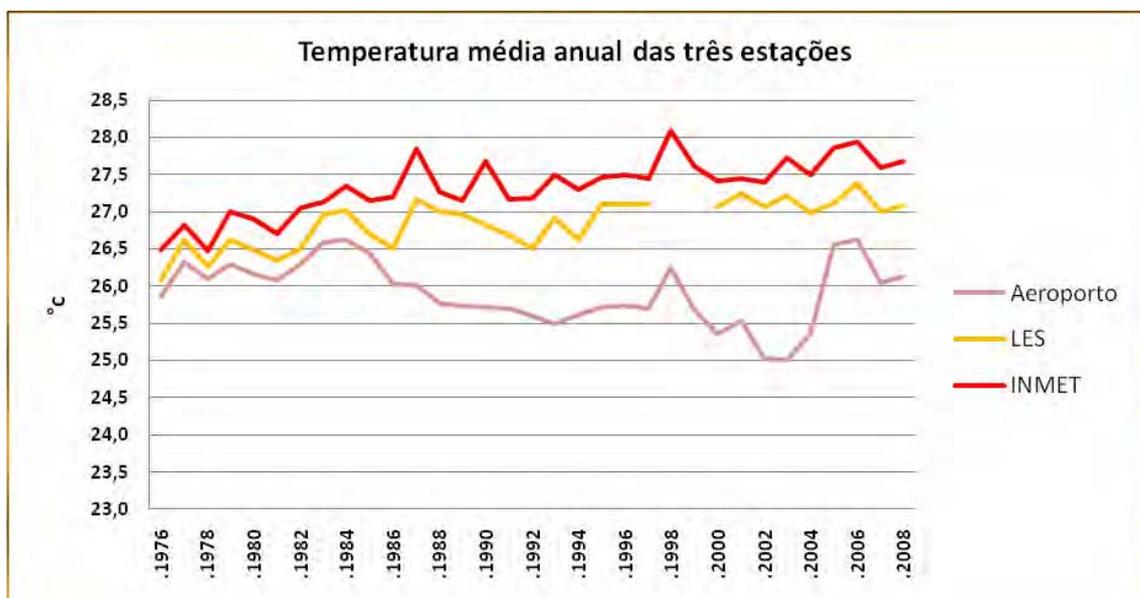


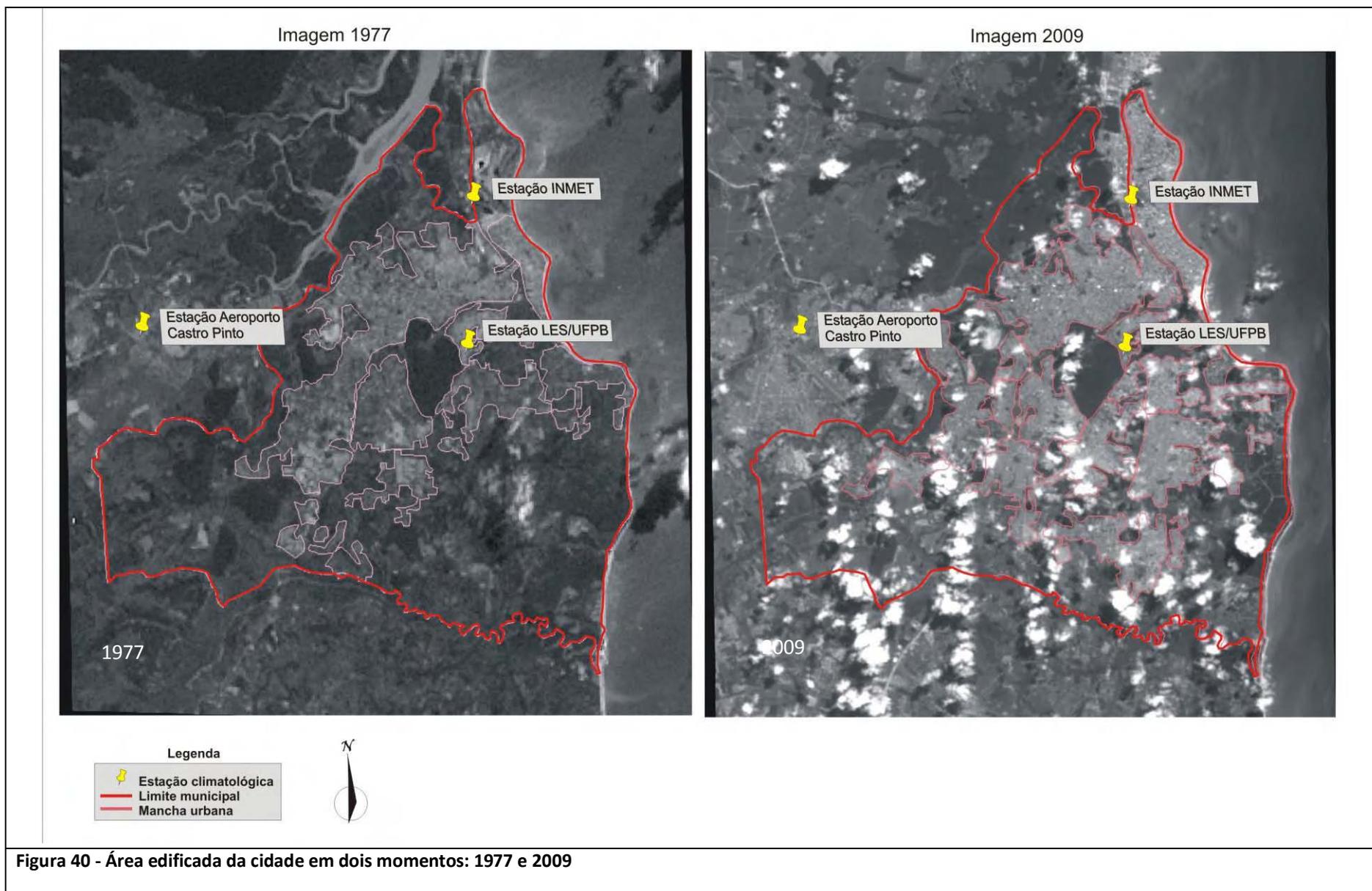
Figura 39 - Comparação da temperatura média anual das três estações meteorológica

A temperatura média da estação do LES, embora seja mais elevada que a estação do Aeroporto apresenta-se mais baixa que a da estação do INMET. Deve-se ressaltar, que no final dos anos de 1970 a área referente à estação do INMET já se encontra com um alto índice de área edificada, diferentemente da estação do LES, que se mantinha em uma área com baixa densidade de urbanização (Figura 40). Outro fator que também pode contribuir como regulador térmico das temperaturas registradas na estação do LES é o fato desta estação estar próxima a extensos núcleos de vegetação Mata Atlântica situadas no território do Campus I da UFPB e a reserva florestal da Mata do Buraquinho, como pôde ser verificado na figura 06.

Embora seja verificada elevação da temperatura nos últimos anos das séries de todas as estações meteorológicas, verifica-se que a estação do INMET apresenta temperatura mais elevada que as outras duas estações. Deve-se observar que no início da década de 1970 já se encontrava em uma área urbanizada, e que no decorrer das décadas o seu entorno sofreu um grande aumento da área edificada, estando em 2009 em uma área densamente urbanizada e verticalizada. Diferentemente, a estação do Aeroporto, que se mantém em uma área com baixo nível de urbanização no entorno, apresenta as temperaturas mais baixas ao longo dos anos.

As imagens de satélite da figura 40 demonstram a diferença de áreas edificadas na cidade de João Pessoa tomando como referência a temporalidade a partir de 1977 a 2009. Pelas imagens fica bastante nítido que houve um crescimento horizontal da mancha urbana, representando 1.959ha em 32 anos, sendo este crescimento mais expressivo na parte Norte e Sudeste da cidade. Assim, percebe-se que nos últimos 30 anos houve uma considerável impermeabilização do solo urbano, causando, conseqüentemente, maior área de reflexão da radiação e luminosidade solar.

Assim, com base na descrição do ritmo dos dados de temperatura do ar, na mensuração da área edificada da cidade de João Pessoa em dois momentos, 1977 e 2009, bem como no levantamento de informações sobre a expansão urbana de alguns pontos da área de estudo, pode-se inferir que existe uma relação entre o aumento da temperatura do ar, ocorrida nos três pontos de coleta e a expansão da mancha urbana ocorrida nas últimas décadas



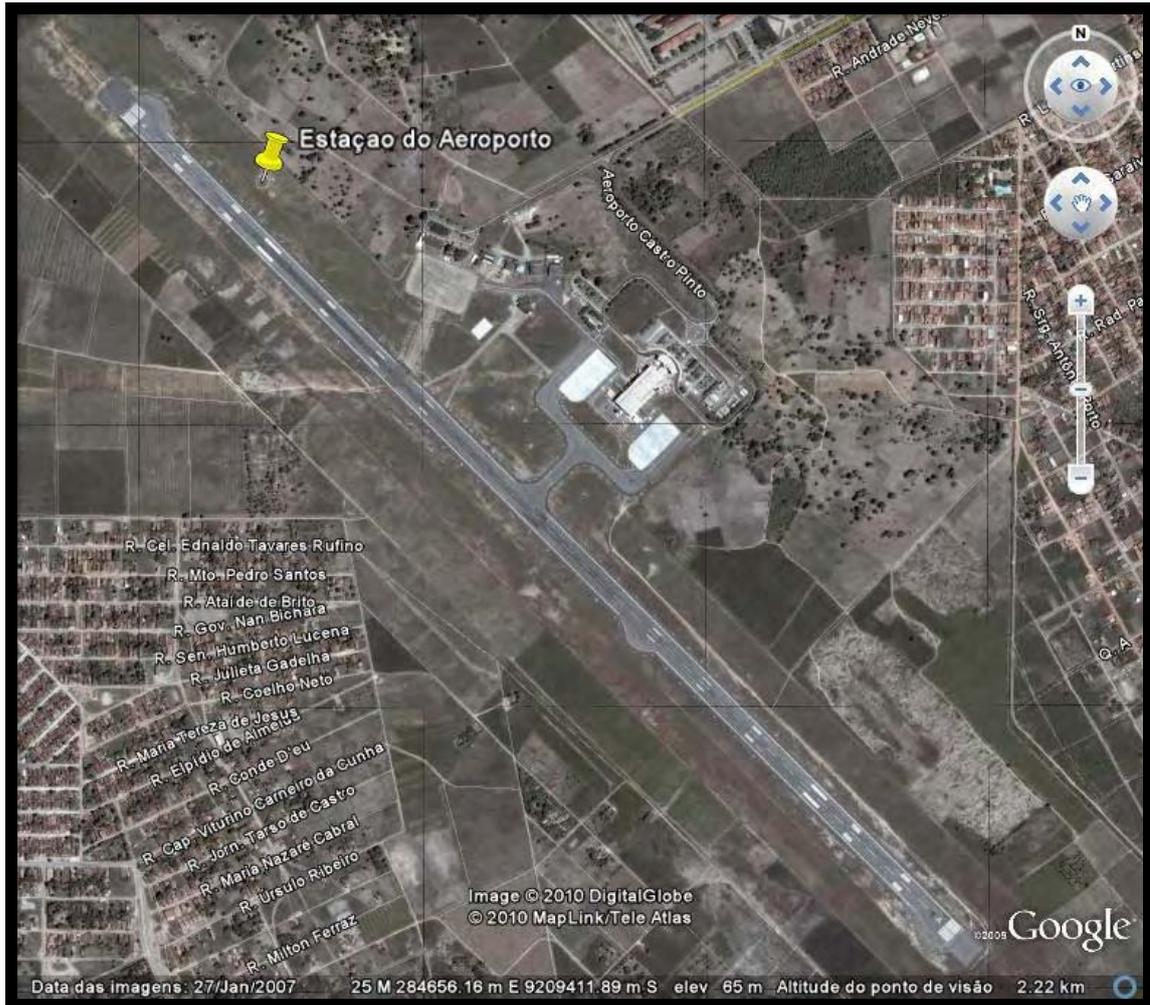


Figura 42 - Imagem aérea do Aeroporto Castro Pinto de 2007 depois da Reforma

Posto que exista uma relação direta entre a expansão urbana e a precipitação, e visto que foram detectadas variações na temperatura do ar da cidade, foram elaborados gráficos ombrotérmicos para a visualização desta relação.

Os gráficos ombrotérmicos representam a série estatística relativa aos elementos temperatura e precipitação em forma visual dos dados coletados, tratados e disponibilizados de forma gráfica, pois permite a visão do aspecto geral e dos aspectos particulares no tempo. Foram selecionados para análise os gráficos referentes ao trimestre mais quente (Janeiro-Fevereiro-Março) e ao trimestre mais frio (Junho-Julho-Agosto), ambos referentes ao intervalo de 1984 a 2008 das estações: Aeroporto Castro; LES e INMET.

As figuras 43 e 44 representam o comportamento térmico e pluviométrico do trimestre mais quente e mais frio, respectivamente, da estação do Aeroporto de 1984 a 2008. No gráfico ombrotérmico do trimestre mais quente (Figura 43), verifica-se que o período de precipitação

mais elevada coincide com o período de temperatura mais baixa, da mesma forma que o período de temperaturas mais elevadas coincide com os de precipitação mais baixa. Verifica-se também que após um período de grande aquecimento de temperatura se percebe um aumento do volume da precipitação.

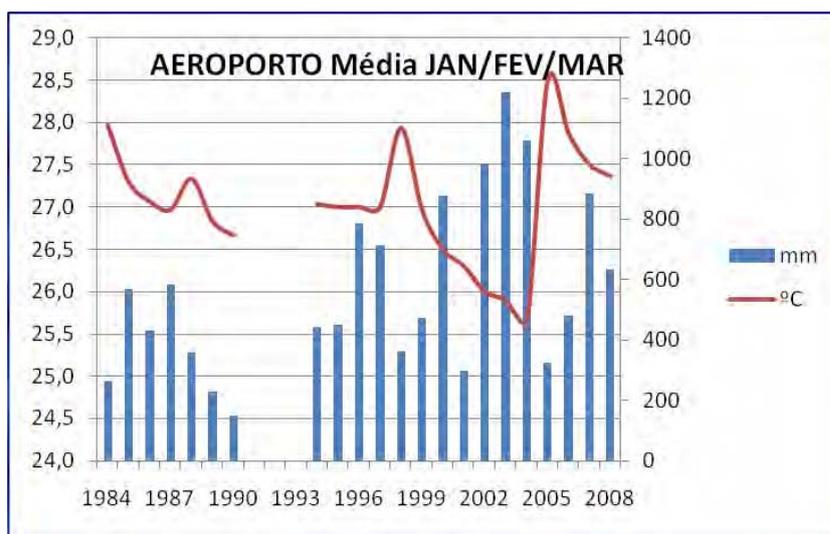


Figura 43 - Gráfico ombrotérmico do trimestre mais quente da estação do Aeroporto de 1984 a 2008

Assim, ainda observando o gráfico ombrotérmico do trimestre mais quente verifica-se que no período de 1994 a 1999 a temperatura esteve mais elevada, sendo o ano de 1998 o que registrou maior elevação de temperatura. Após este período de aquecimento, à exceção de 2001, verifica-se que houve um considerável aumento do volume de precipitação de 2000 a 2004, quando neste ano ocorre a temperatura mais baixa da série. Após o declínio de temperatura, juntamente com o aumento da precipitação durante os anos de 1999 a 2004, registra-se em 2005 a temperatura mais elevada da série, verificando-se aumento da temperatura nos anos de 2007 e 2008.

Semelhante ao trimestre mais quente, no trimestre mais frio também se verifica aumento da precipitação após um período de elevação de temperatura (Figura 44). No entanto, em alguns momentos da série, observa-se que os anos que ocorreram elevações de temperatura no trimestre mais quente coincidiram com o aumento da precipitação no trimestre mais frio, como pode ser visto nos anos de 1988 e 2005.

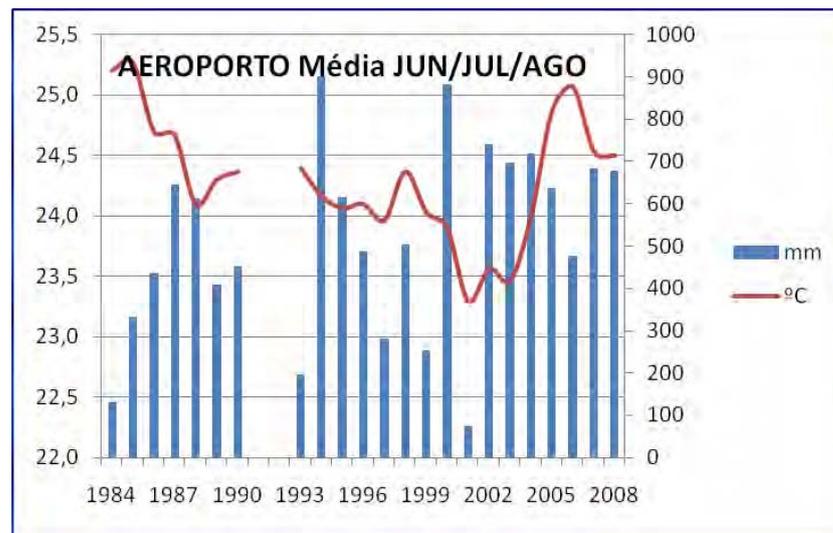


Figura 44 - Gráfico ombrotérmico do trimestre mais frio da estação do Aeroporto de 1984 a 2008

Os gráficos ombrotérmicos do período de 1984 a 2008 da estação do LES, também demonstra que quando há elevação da temperatura se tem concomitantemente o aumento da precipitação. Observa-se que os períodos de elevação da temperatura são sucedidos por períodos de precipitações mais concentradas.

Como se pode ver no gráfico ombrotérmico do trimestre mais quente (Figura 45), após o pico de temperatura de 1984 verifica-se um aumento considerável da precipitação no ano de 1985. Igualmente, observa-se que os anos de 1988 a 1991 foram caracterizados por temperaturas elevadas e baixas precipitações. Após este período, quando a temperatura atinge o menor dado dos últimos sete anos em 1992, verifica-se um grande aumento do acumulado da precipitação. Verifica-se também aumento da precipitação nos anos de 2002, 2003 e 2004, devendo-se observar que esses anos foram precedidos por um período de temperaturas elevadas, que compreendeu os anos de 1994 a 1999. E já no final da série observa-se que após o período de aumento da temperatura e diminuição da precipitação nos anos de 2005 e 2006, houve um aumento da precipitação nos anos de 2007 e 2008.

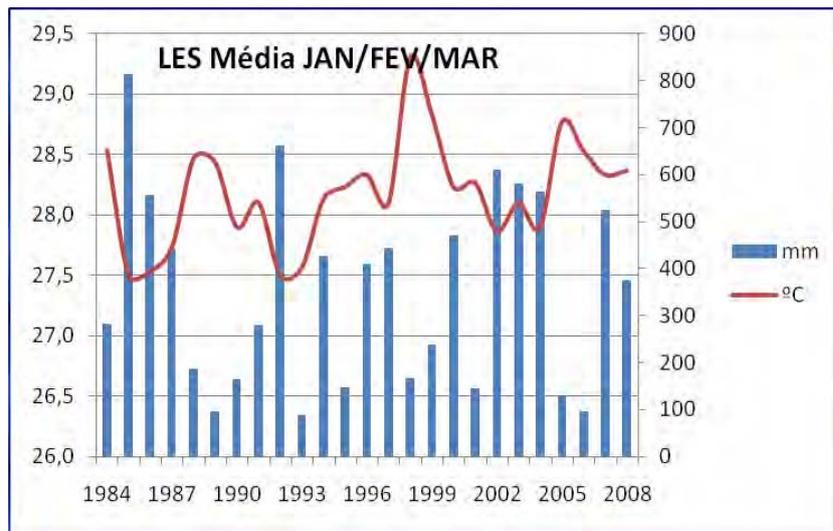


Figura 45 - Gráfico ombrotérmico do trimestre mais quente da estação do LES de 1984 a 2008

Já no trimestre mais frio da estação do LES verifica-se dois momentos visíveis de aumento da precipitação ocorrido após um período de elevação da temperatura, sendo o primeiro em 2000 após o período de temperaturas elevadas e baixa precipitação de 1997 a 1999. O outro período se verifica nos anos 2007 e 2008, após a elevação da temperatura em 2006. (Figura 46).

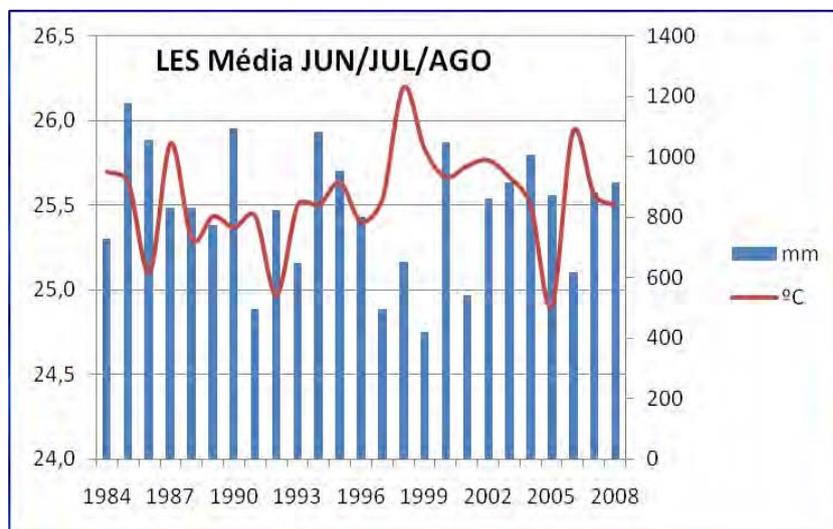


Figura 46 - Gráfico ombrotérmico do trimestre mais frio da estação do LES de 1984 a 2008

Os gráficos ombrotérmicos do trimestre mais quente e do trimestre mais frio da estação do INMET de 1984 a 2008 também demonstram que os eventos de aumento de precipitação, coincidem com a diminuição da temperatura. No entanto, é possível verificar que os eventos de precipitação concentrada são precedidos por períodos de elevação de temperatura.

Na figura 47 está representado o comportamento térmico e pluviométrico do trimestre mais quente do INMET. Por ele pode-se perceber que após um período de temperaturas elevadas verifica-se um aumento da precipitação. Em 1992 foi verificado um aumento da precipitação, sendo que antes deste período houve uma sensível elevação da temperatura e diminuição da precipitação. Os anos de 1998 a 2000 compreenderam um período de elevadas temperaturas, de modo que em 1998 foi registrada a temperatura mais alta da série. Seguiu-se a esses anos um período de altas precipitações, registrando as precipitações mais elevadas da série, que foi de 2003 a 2004.

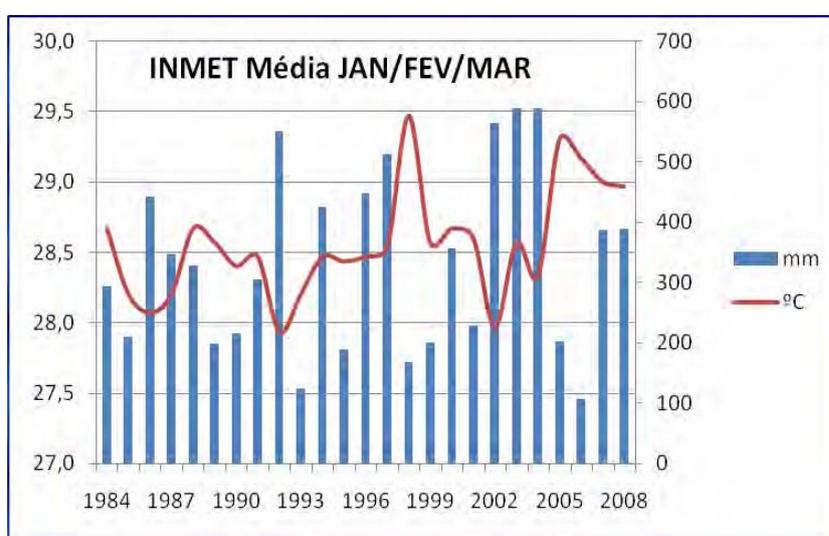


Figura 47 - Gráfico ombrotérmico do trimestre mais quente da estação do INMET de 1984 a 2008

Já no gráfico ombrotérmico do período mais frio da estação do INMET (Figura 48) se verifica apenas alguns eventos de acumulado de precipitação antecedido por períodos de elevação de temperatura. Observa-se que houve aumento de precipitação precedido por aumento de temperatura em 1994, 2000 e 2008. Inversamente às outras estações meteorológicas, o trimestre mais frio do INMET apresentou vários momentos em que a elevação de temperatura coincidiu com o aumento da precipitação, como se pode ver em 1987 e 1990.

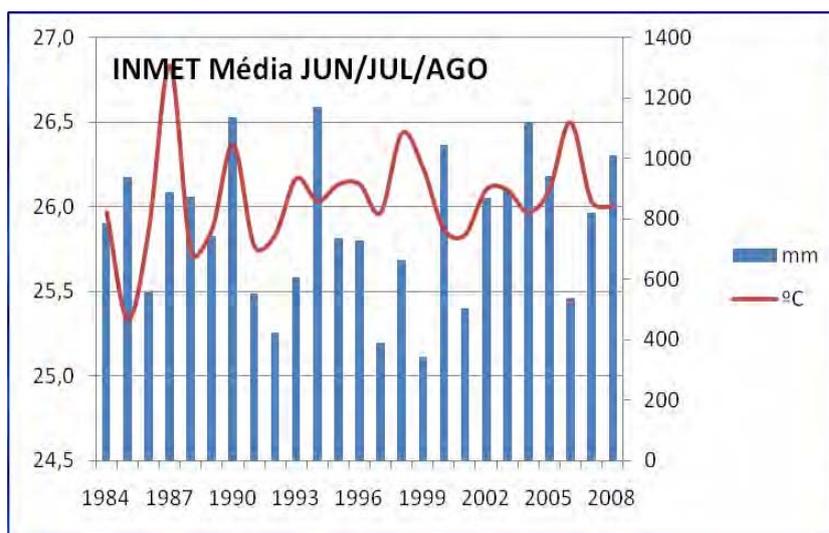


Figura 48 - Gráfico ombrotérmico do trimestre mais frio da estação do INMET de 1984 a 2008

Assim, a partir da descrição dos gráficos ombrotérmicos do trimestre mais quente e mais frio das estações meteorológicas do Aeroporto, LES e INMET, foi verificado que os períodos de aumento da precipitação são antecedidos por anos em que foi observada elevação da temperatura, sendo esta relação mais perceptível no trimestre mais quente de cada estação.

Com isso, visto que verificou-se um considerável aumento da temperatura do ar no trimestre mais quente, sendo este aumento menos expressivo no trimestre mais frio. Acredita-se ainda que possa haver uma relação entre o aumento da temperatura e os eventos de precipitação concentrada, ainda que nem todas as estações apresentaram aumento do volume de precipitação.

Conclusão

Este trabalho buscou responder ao questionamento sobre quais variações climáticas são observadas, sobre os registros da temperatura do ar e precipitação, na cidade de João Pessoa decorrentes da expansão urbana entre as décadas de 1980 a 2000.

Presumiram-se a partir desse enunciado duas hipóteses que serviram de balizamento em busca da afirmação ou negação das mesmas em relação ao problema enunciado: Aumento da temperatura do ar e variação no regime das chuvas.

Pode-se afirmar que há forte indicação de que a temperatura do ar da cidade aumentou em decorrência da expansão urbana nos últimos 26 anos, pois os dados indicaram que à medida que a área da mancha urbana foi se expandindo houve concomitantemente um aumento da temperatura do ar no período estudado. Esse fenômeno fica evidenciado quando se observa que os dados de temperatura das estações meteorológicas estudadas não apresentaram o mesmo comportamento. Ao contrário disso, foi verificado que os dados das estações meteorológicas apresentaram comportamentos diferenciados de acordo com o nível de adensamento urbano de seu entorno. Confirmando esse fato, tem-se constatado que a estação meteorológica que se manteve com temperaturas mais elevada durante o período estudado foi a do INMET, que esteve durante todo o período em uma área urbanizada. Inversamente, a estação do Aeroporto Castro Pinto que foi tomada como estação referência por estar localizada em uma área que, ao longo do período estudado, se manteve em uma área com baixa densidade urbana, apresentou um declínio de sua temperatura até o ano de 2004, ano que coincide com o início das obras de sua ampliação, embora no caso da estação do Aeroporto não possa ser estabelecida correlação entre estes fenômenos. Da mesma forma, a estação do LES teve sua temperatura elevada a partir do adensamento urbano que foi verificado em seu entorno.

É relevante destacar que, sobre as medições observadas nas três estações meteorológicas em análise, foi verificada maior elevação da temperatura do ar nos meses do trimestre mais quente do ano (janeiro-fevereiro-março). Neste trimestre, a temperatura na estação do LES e INMET mostrou uma linha de tendência linear ascendente, enquanto a estação do Aeroporto mostrou uma linha descendente. No entanto, observa-se que os dados desta última estação apresentam uma considerável elevação a partir de 2004. Os dados medidos na estação do INMET apresentaram os valores mais elevados do trimestre mais quente.

Contudo, foi constatado que os meses do trimestre mais frio (junho-julho-agosto) não apresentaram expressivas elevações da temperatura como no trimestre mais quente. Neste trimestre apenas os dados medidos na estação do INMET apresentaram uma sensível elevação. A temperatura da estação do LES não apresentou tendência de elevação, mas foi verificado que as médias mensais do trimestre mais frio estão mais elevadas a partir de 2000. Já a estação do Aeroporto Castro Pinto, da mesma forma que no trimestre mais quente, apresentou tendência de declínio da temperatura, devendo-se mencionar, no entanto, que após o ano 2004, é verificado um aumento da temperatura do ar.

Com relação aos dados de precipitação, foi constatada tendência de aumento expressivo do acumulado mensal, tanto no trimestre mais quente como no mais frio, apenas na estação do Aeroporto Castro Pinto. As estações do núcleo urbano também apresentaram diferenças entre si. A estação do LES apresentou uma leve tendência de declínio, enquanto a estação do INMET apresentou uma suave curva ascendente, sendo esta mais expressiva no trimestre mais quente.

Foi observado também que pode haver uma relação entre a elevação da temperatura e o aumento da precipitação. Foi constatado que os meses que registraram acumulados mais intensos de precipitação foram antecidos por um ano ou período de temperatura elevada, o que pode indicar que exista uma correlação entre os fenômenos.

Assim, pode-se afirmar que as hipóteses foram confirmadas posto que, no quesito temperatura, das três estações observadas somente a estação do Aeroporto não apresentou tendência de elevação, com a ressalva de que a partir de 2004 as temperaturas se elevam consideravelmente; no quesito precipitação somente na estação do LES não houve aumento, sendo que no mês mais quente a linha de tendência apresentou um comportamento estável.

Os resultados dessa pesquisa servem de alerta às variações climáticas que o processo de urbanização e adensamento tem provocado na cidade de João Pessoa. Sabendo-se que essas variações estão relacionadas com aumento no consumo de energia e diminuição da qualidade ambiental, entre outras conseqüências, ressalta-se que a continuidade desse estudo é de grande importância, tanto para averiguar com mais segurança os fenômenos observados como para a necessidade de controle sobre os mesmos.

Referências

ALCOFORADO, M; J. Aplicação da climatologia ao planejamento urbano. Alguns apontamentos. **Finisterra**. XXXIV, 67-68, 1999, p.83-94.

ALVES FILHO, A. P. RIBEIRO, H. Configuração espacial de eventos de precipitação extrema na Região Metropolitana de São Paulo: interações entre a ilha de calor e a penetração da brisa marítima. **INTERFACEHS**. 2006. Disponível em:
http://www.interfacehs.sp.senac.br/br/artigos.asp?ed=5&cod_artigo=93

AYOADE, J. O. **Introdução à climatologia para os trópicos**. Trad. Maria Juraci Z. dos Santos. 8ªed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2002.

BALBIO, M. M. Avaliação da geoestatística como método de previsão de movimento de passageiros no Aeroporto Internacional do Rio de Janeiro através de modelos convencionais. Trabalho de Graduação – Instituto Tecnológico da Aeronáutica – ITA. São José dos Campos, 2009.

BENEVOLO, L. **História da Cidade**. São Paulo: Perspectiva, 1999.

CAPEL, H. La Definición de lo urbano. **Scripta Vetera**.

CARVALHO, H. J. M. Metodologia para a análise das interações entre a forma urbana e o clima: aplicação a uma cidade brasileira de clima litorâneo com baixa latitude. Rio de Janeiro: **PROURB/FAU/UFRJ**, 2006. (Tese, Doutorado em Urbanismo)

CATTO, N. **Impacts of Climate Change and variation on the natural areas of Newfoundland and Labrador**. Disponível em:
www.c-ciarn.ca/pdf/nl_parks_exec_summary.pdf. Acessado em: 4/11/2009.

COUTTS, A. M. [et al]. Impact of increasing urban density on local climate: spatial variation in the surface energy balance in Melbourne, Australia. In: **Journal of Applied Meteorological and Climatology**. V 46, 2007.

ÇIÇEK L; TURKOGLU, N. Urban effects on precipitation in Ankara. **Atmósfera**. 18(3), 2005, 173-187.

DOLFUSS, Olivier. **A análise geográfica**. Trad. Heloysa de Lima Dantas. São Paulo:DIFEL, 1973. Col. Saber Atual.

ELIASSON, I. The use of climate knowledge in urban planning. In: **Landscape and Urban Planning**. 48 (2000), 31-44.

FARIA, E. L. et al. Previsão de Séries Temporais utilizando métodos estatísticos. **CBPF–NT–003/2008**. Disponível em:
http://cbpfindex.cbpf.br/publication_pdfs/nt00308.2009_01_16_13_12_34.pdf

GALLEGO, L. A climatologia tradicional e dinâmica. **Boletim Geográfico**. Nº.215 – ano 29 – março/abril. Rio de Janeiro, 1970.

GEIGER, R. **Manual de microclimatologia – O clima da camada de ar junto ao solo**. Trad. Ivone Gouveia & Francisco C. Cabral. 2ªed. Fundação Calouste Gulbenkian, Lisboa, 1990.

GEORGE, P. **Os métodos da Geografia**. Difusão Européia do Livro, SP, 1972.

GONÇALVES, N. M. S. Impactos pluviais e desorganização do espaço urbano em Salvador. In: MONTEIRO, C. A. F. & MENDONÇA, F. (Org.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

HOLMER, B. ELIASSON, I. Urban-rural vapor pressure differences and their role in the development of urban heat islands. **Int. J. Climatology**. 19. 2009. P.989-1009

IAUC Teaching Resources. The Urban Canopy Layer Heat Island. s/d. Disponível em: http://www.urban-climate.org/UHI_Canopy.pdf. Acessado em: 29/11/2009.

JAUREGUI, E. et al. Urban effects on the convective precipitation in Mexico City. **Atmospheric Environment**. Vol. 30. Nº20, 1996. pp. 3383-3389.

JOLIVET, Régis. **Curso de filosofia**. Trad. Eduardo Prado de Mendonça. 8ª ed. Rio de Janeiro: AGIR, 1966.

KAUFMANN, R. K. et al. Climate response to rapid urban growth: Evidence of a human-induced precipitation deficit. **Journal of Climate**. Vol.20, 2007.

KARAKA, M. et al. Effects of urbanization of climate of Istanbul and Ankara. In: **Atmospheric Environment**. Vol. 29, n.23, 1995.

KIRKMAN, Emily. **Architecture in the Era of Napoleon III**. Haussmann's Paris. The Art History Archive – Architecture. 2007. Disponível em: <http://www.arthistoryarchive.com/arthistory/architecture/Haussmanns-Architectural-Paris.html>.

LIMA, F. Método de Médias Móveis. Licenciatura em Estatística e Gestão de Informação. **ISEGI**. Universidade Nova de Lisboa, 2003.

LIU, W et al. Urban-rural humidity and temperature differences in the Beijing area. **Theor. Appl. Climatology**. 2008.

MARCONI, M. A; LAKATOS, E. M. **Técnicas de pesquisa**. 5ªed. São Paulo: Atlas, 2002.

MARSH, M.W.; DOZIER, J. **Landscape, an introduction to physical geography**. Addison-Wesley, 1981.

NIMER. E. **Climatologia do Brasil**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

_____. **Pluviometria e recursos hídricos de Pernambuco e Paraíba**. Rio de Janeiro: IBGE, 1979.

MONTEIRO, C. A. F. Teoria e Clima Urbano. . In: MONTEIRO, C. A. F. & MENDONÇA, F. (Org.). **Clima urbano**. São Paulo: Contexto, 2003.

NASCIMENTO, N. de O. Avaliação de tendência em séries temporais. Trabalho Integralizador Multidisciplinar 1 – UFMG, 2009. Disponível em: <http://www.etg.ufmg.br/tim1/tim1-2009-2.htm>

OKE, T. R. **Initial guidance to obtain representative meteorological observation at urban sites.** WMO/TD, nº1250, 2004.

OLIVEIRA, J. L. A. **Uma contribuição aos estudos sobre a relação transporte e crescimento urbano: o caso de João Pessoa.** Dissertação de Mestrado – PPGEU – UFPB, João Pessoa, 2006.

PAZERA JR, E. A ilha de calor na cidade: fatores e atributos. **Boletim Geográfico.** Rio de Janeiro, 34(249): 51-57, abr/jun, 1976.

PRATS, J. M. C. [et al] Los efectos de la urbanización en el clima de Zaragoza (España): la isla de calor y sus factores condicionantes. In: **Boletín de la AGE.** N 40, 2005.

PINTO, J. E. S. S.; SANTOS, Fábila Verônica dos ; SOUSA, I. F.. Variação rítmica dos elementos climáticos em Aracaju - SE. In: **XI Congresso Brasileiro de Meteorologia**, 2000, RIO DE JANEIRO-RJ, 2000.

REBOITA, M. S. Introdução à estatística aplicada à climatologia. Parte III – Análise de Séries Temporais. **Projeto PAE** – USP, São Paulo, 2005.

RODRIGUEZ, J. L. A evolução urbana de João Pessoa. **O Norte.** João Pessoa, 05 de agosto de 1985.

ROSA, C. R. Instabilidade Ambiental em microbacia urbana: o caso da urbanização na cidade universitária da UFPB. João Pessoa, UFPB, 2003. Disponível em: <http://www.geociencias.ufpb.br/~paulorosa/tcc/conrad.pdf>

ROSSI, F.A; KRÜGER, E. L. Análise da variação de temperaturas locais em função das características de ocupação do solo em Curitiba. In: **R. RA'E**, Curitiba, nº10, Editora UFPR, p93-105, 2005.

SANT'ANNA NETO, João Lima; NERY, Jonas Teixeira. Variabilidade e mudanças climáticas no Brasil e seus impactos regionais. In: Celia Regina de Gouveia Souza; Kenitiro Suguio. (Org.). **Quaternário do Brasil.** 1 ed. Ribeirão Preto: Holos Editora, 2005, v. 1, p. 28-51.

SANTOS, P. M. et al. Evolução climática na região metropolitana de São Paulo. **XVI CBMET.** Florianópolis, 2006

SETO, K. C et al. Urban Growth in South China and Impacts on Local Precipitation. **Fifth Urban Research Symposium**, 2009

SILVA, N. A. **Estudo de Diretrizes Termos-Ambientais para o planejamento urbano da cidade de Corrente, Piauí, Nordeste do Brasil.** Dissertação de Mestrado apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Urbana, CT-UFPB, João Pessoa, 2007.

SIMÕES JUNIOR, José Geraldo. O ideário dos engenheiros e os planos realizados para as capitais brasileiras ao longo da Primeira República. **Arquitextos**, Portal eletrônico. ISSN 1809-6298, novembro, 2007

SOUZA, M. L. **ABC do Desenvolvimento Urbano**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2003.

STRAHLER, A. N. & STRAHLER, A. H. **Geografia Física**. 3ªed. Ediciones Omega, S.A., Barcelona, 1989.

VIANELLO, R. L. & ALVES, A. R. **Meteorologia básica e aplicações**. Viçosa: UFV, 2000

VIDAL, Wylma Carlos Lima. **Transformações urbanas: a modernização da capital paraibana e o desenho da cidade, 1910 -1940**. Pós-Graduação em Engenharia Urbana. UFPB, João Pessoa, 2004.

VIVEIROS, M. Ilhas de calor afastam chuvas de represas. Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos – UNESP. 2004. Disponível em: <http://www.agr.feis.unesp.br/fsp15022004.php>. Acessado em 05/02/2010.

Sites consultados

Glossário IPCC: <http://www.ipcc.ch/organization/organization.htm>

<http://www.agsolve.com.br/pdf/artigos/sitio.pdf>