UNIVERSIDADE FEDERAL DO PARÁ

INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS

FACULDADE DE METEOROLOGIA

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

LUCIANA DOS SANTOS CIRINO

EXTREMOS CLIMÁTICOS DE PRECIPITAÇÃO E A URBANIZAÇÃO EM BELÉM-PA

N° 403

BELÉM – PARÁ

ABRIL – 2017

LUCIANA DOS SANTOS CIRINO

EXTREMOS CLIMÁTICOS DE PRECIPITAÇÃO E A URBANIZAÇÃO EM BELÉM-PA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento as exigências para obtenção do título de Bacharel em Meteorologia.

Orientadora:Prof.ª Dr.ª Maria Isabel Vitorino.

BELÉM – PARÁ

ABRIL – 2017

Dados Internacionais de Catalogação de Publicação (CIP)
Biblioteca do Instituto de Geociências/SIBI/UFPA

Cirino, Luciana dos Santos, 1994 -
Extremos climáticos de precipitação e a urbanização em Belém-PA / Luciana dos Santos Cirino. – 2017.
50 f : il.; 30 cm

Inclui bibliografias
Orientadora: Maria Isabel Vitorino.

Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação) – Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Meteorologia, Belém, 2017.

1. Climatologia urbana – Belém (PA). 2. Precipitação (Meteorologia). 3. Urbanização – aspectos ambientais. I. Título.

CDD 22 ed. 551.6098115

LUCIANA DOS SANTOS CIRINO

EXTREMOS CLIMÁTICOS DE PRECIPITAÇÃO E A URBANIZAÇÃO EM BELÉM-PA

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado à Faculdade de Meteorologia do Instituto de Geociências da Universidade Federal do Pará – UFPA, em cumprimento as exigências para obtenção do título de Bacharel em Meteorologia.

Data de aprovação**:** 25/04/2017

Conceito: EXCELENTE

Banca Examinadora:

_____

Prof. Maria Isabel Vitorino – Orientadora
Doutora em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

_____

Prof.José Danilo da Costa Souza Filho–Membro
Mestre em Meteorologia
Universidade Federal do Pará

_____

Prof. Antônio Carlos Lôla da Costa – Membro
Doutor em Meteorologia e Engenharia Ambiental
Universidade Federal do Pará

“A minha mãe guerreira, com seu amor, humor e incansável dedicação, em que durante todos os anos de minha vida foi minha base. ”

AGRADECIMENTOS

Agradeço ao pai Deus, por sempre ouvir minhas preces, e me encheu de forças quando já não havia mais.

A minha mãe Lucia Cirino, com sua luta e dedicação, sempre acreditando em minha capacidade, me ajudando a chegar até o momento presente.

A minha Tia Maria do Céu, com sua fé e apoio contribuiu para que eu chegasse até aqui.

Ao Mauricio Moura e Marcos Ronielly pela ajuda com dados e conhecimentos repassados.

A minha querida professora orientadora Maria Isabel, pelo seu carinho, paciência, atenção e dedicação, ao compartilhar seus conhecimentos comigo, sendo essencial para ampliar meus conhecimentos, e a oportunidade de bolsa, de onde pude desenvolver este estudo.

Ao professor Alexandre Casseb, pelo repasse dos conhecimentos básicos e essenciais da meteorologia, o qual foi essencial para minha formação.

Ao Professor Carvalho, pelos seus conselhos nos momentos difíceis.

Aos professores da faculdade de meteorologia por todos os momentos de aprendizado e desafios.

A SEMAS (Secretaria do Meio Ambiente e Sustentabilidade) pela oportunidade de estágio. Aos maravilhosos amigos Antônio Souza, Paulo Guimarães, Saulo Carvalho, no apoio e compartilhando conhecimentos.

Ao Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), pelo fornecimento dos dados de várias variáveis para a cidade de Belém.

A CNPq pela bolsa concedida para a realização do estudo para este trabalho.

RESUMO

Visa analisar a variabilidade climática associada aos possíveis efeitos antropogênicos e naturais, observados a partir das variáveis meteorológicas da temperatura do ar (média, máxima e mínima) e da precipitação na escala anual para a metrópole amazônica, Belém. Esta metrópole tem apresentado elevado crescimento populacional, social e econômico em maior destaque na região amazônica. Portanto, a importância da realização desta pesquisa concentra-se na investigação dos extremos climáticos que tem sido alvo dos efeitos causados pelas mudanças climáticas globais e que afetam o desenvolvimento socioeconômico da população. Para isto foram utilizados dados de precipitação e temperaturas mensais para o período de 1973 a 2015, fornecidos pelo INMET, dados populacionais de 1992 a 2006 disponibilizados pelo IBGE e dados IOS da NOAA para o período de 1968 a 2015 aplicados para obtenção da variabilidade média ambiental, e a partir disto, realizando a análise desses dados utilizando o SPI. Os resultados obtidos com base na climatologia para os meses de janeiro a maio apresentam os maiores acumulados de chuva, com março em destaque, devido a atuação da ZCIT. No entanto, vale ressaltar que com o aumento populacional ao longo dos anos que contribui para o crescimento urbano desenfreado, onde as superfícies naturais são substituídas por construções artificiais, alterando desta forma o padrão de nebulosidade e consequentemente o aumento da precipitação e das temperaturas máximas e mínimas na metrópole. Observou-se que menor acumulado anual de precipitação ocorreu em 1983 com 2315 mm caracterizado por um episódio de El Niño 82/83 (IOS negativo), e máximo em 2013, com 3773 mm, com uma La Niña (IOS positivo). As anomalias anuais de precipitação revelam tendência de aumento na precipitação anual, principalmente a partir da década de 90 que concordam com o período de aumento populacional. Possivelmente, o maior efeito antrópico pode ser evidenciado pelas temperaturas máximas e mínimas semestrais (chuvoso e menos chuvoso) que revelaramaumento e diminuição na amplitude ao longo dos

anos respectivamente. Isto deve estar relacionado as mudanças do uso da terra que provoca alteração no balanço de radiação e consequentemente no ciclo hidrológico. Espera-se que este estudo possa corroborar com o conhecimento dos efeitos naturais e antropogênicos observados na metrópole amazônica, e viabilize informações para o planejamento urbano e social.

Palavras-chave:Variabilidade. Metrópole. Amazônia.

ABSTRACT

Aims to analyze the climatic variability linked topossible anthropogenic and natural effects, observed from the meteorological variables of air temperature (average, minimum and maximum) and precipitation on annual range for Amazonian metropolis of Belém. This metropolis has presented high population growth, greater social and economic prominence in the Amazon region. There fore, the importance of conducting this research focuses on the investigation of climatic extremes that has been the target of thee ffects caused by global climate change and affecting the socio-economic developmentof the population. For this we used monthly rainf all and temperature data for the period 1973 to 2015, provided by INMET, population data from 1992 to 2006 provided by IBGE and IOS data from NOAA for the period 1968 to 2015 applied to obtain the average social and environmental variability. And from this, performing the analysis of the data using the SPI.The results obtained based on climatologica studies for the months of January to May show the highest accumulated rainfall, being March the highest ammount, due to the effects of the ITCZ. However, it is worth mentioning that with the increase in population over the years that contributes to the uncontrolled urban growth, where the natural surfaces are replaced by artificial constructions, changing the pattern of cloudiness and consequently the increase in precipitation and maximum and minimum temperatures in the metropolis. It was observed that smaller annual accumulated precipitation occurred in 1983 with 2315mm, characterized by an El Niño episode 82/83 (IOS negative), and maximum in 2013, with 3773 mm, with a La Niña (IOS positive). The annual precipitation anomalies show a tendency of increase in annual precipitation, starting in the 90s and on, that agree with the period of population increase. Possibly the biggest man-made effect can be evidenced by the maximum and minimum temperatures every six months (less rainy and rainy seasons) that revealed an increase and decrease in amplitude over the years, respectively. This should be related to land use changes that causes changes in the radiation balance and consequently in the hydrological cycle. We hope that this study can corroborate with the knowledge of natural and anthropogenic effects observed in the metropolis, and enable information for urban planning and social.

Key words:Variability, Metropolis, Amazon

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Figura 1- Localização da área de estudo, cidade de Belém-Pará. 23

Figura 2- Climatologia de precipitação (a) e das temperaturas máxima, e mínima (b) para Belém, a partir do conjunto de dados do INMET para o período de 1973 a 2015.....28

Figura 3- Distribuição temporal da projeção populacional para Belém-Pará.....30

Figura 4 - Precipitação (a) Temperaturas máxima e mínima (b) anual observadas para Belém baseados nos dados de temperatura do INMET, para o período de 1973 a 2015.....33

Figura 5 - Distribuição temporal das anomalias de precipitação, temperaturas máxima e mínima para o período de 1973 a 2015, com a seleção de extremos climáticos de precipitação e temperaturas (82/83,84/85; 97/98 e 11-15) (círculo cinza). 34

Figura 6 - Anomalia de precipitação versus Índice de oscilação Sul (a) Anomalia de temperaturas máxima e mínima versus Índice de oscilação Sul (b) para o período de 1973 a 2015. 35

Figura 7 - Eventos de extremos climáticos de anomalias de precipitação associados ao índice de oscilação sul (a) e anomalias de temperaturas máxima e mínima (b). 37

Figura 8- Precipitação anual observada para o período chuvoso (Jan-Mai) e período menos chuvoso (Jun-Dez) para Belém. 40

Figura 9 - Comparação das temperaturas máximas do 1° e 2° semestre de cada ano, baseados nos dados de temperatura do INMET, durante os anos de 1973 a 2015. 41

Figura 10 - Comparação das temperaturas mínimas do 1° e 2° semestre de cada ano, baseados nos dados de temperatura do INMET, durante os anos de 1973 a 2015.....42

Figura 11- Anomalias de precipitação mensal para anos selecionados em relação ao Índice de oscilação sul, baseados nos dados de temperatura e precipitação do INMET e IOS da NOAA, durante os anos de 1982 a 2015..…....43

Figura 12 - Séries temporais do SPI na escala anual para Belém-PA, no período de 1973 a 2015.....44

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

a.PRP – Anomalia de Precipitação

EN – El Niño

ENOS – El Niño Oscilação Sul

IBGE – Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística

LN – La Niña

OMJ – Oscilação Madden-Julian

IOS – Índice de Oscilação Sul

PRP – Precipitação

PDO – Oscilação Decadal do Pacífico

TSM – Temperatura da Superfície do Mar

ZCIT – Zona de Convergência Intertropical

SPI– Índice de Precipitação Padronizado

SUMÁRIO

1 **INTRODUÇÃO** 13

1.1 **Objetivo Geral** 14

1.2 **Objetivo Especifico** 14

1.3 **Justificativa** 14

2 **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA** 15

2.1 **ENOS e os efeitos na precipitação Amazônica** 15

2.2 **Características Climáticas de Belém** 17

2.3 **As Consequências dos Efeitos da Urbanização** 19

3 **MATERIAIS E MÉTODOS** 22

3.1 **Área de Estudo** 22

3.2 **Dados utilizados** 23

3.3 **Metodologia** 24

3.3.1 IOS (Índice de Oscilação Sul) 24

3.3.2 Método de cálculo para o IOS (Índice de Oscilação Sul) 25

3.3.3 SPI (Índice de Precipitação Padronizado) 26

4 **RESULTADOS E DISCUSSÕES** 27

4.1 **Aspectos climatológicos e populacionais** 27

4.2 **Efeitos Urbanos e o Clima Local** 32

4.2.1 Análise anual 32

4.2.2 Análise Sazonal 39

4.2.3 Análise mensal 42

4.3 **Análise da Precipitação utilizando SPI** 43

5 **CONCLUSÃO** 46

REFERÊNCIAS 47

1 INTRODUÇÃO

Tendo em vista o cenário atual, ondeas grandes cidades vêm apresentando expansão populacional associado a degradação ambiental, sendo nítido através da mídia os impactos dos eventos extremos do clima sobre a população que assolam as cidades, trazendo consequências negativas, atingindo a população de forma direta, em seu cotidiano, como poluição do ar, o estresse por calor e inundações, afetando a saúde, produtividade, economia, transporte, comunicação e segurança. É necessário analisar se estes eventos estão associados a efeitos antrópicos, como por exemplo o acelerado crescimento populacional e urbano, que através da implementação de fábricas, indústrias e expansão de forma horizontal e vertical das cidades, onde as superfícies naturais são substituídas por construções e outros tipos de superfícies artificiais, sendo potencialmente capazes de provocar alterações meteorológicas de diversas escalas atmosféricas (MAITELLI, 1991; GOLDREICH, 1992; JÁUREGUI, 1992). Neste sentido, as variáveis meteorológicas, como temperatura do ar, precipitação e umidade podem estar sofrendo alterações ou não, mesmo diante da influência dos eventos climáticos de El Niño Oscilação Sul (ENOS).

Sabe-se que na região tropical há variação de forma temporal e espacial nas variáveis meteorológicas, com ênfase na precipitação e temperatura. Onde há a existência de diferentes fenômenos meteorológicos de diferentes escalas e moduladores,onde osmecanismos oceano-atmosfera de escala interanual, sazonal e intrasazonal determinam à quantidade pluviométrica de determinadas regiões equatoriais (MOURA,2010), onde é notável a cidade de Belém que é regida durante seu período chuvoso por sistemas de grande escala, sinótica como a ZCIT (Zona de Convergência Intertropical) (UVO,1989) e local, e durante o período menos chuvoso há a atuação de sistemas de escala sinótica e local; como os efeitos de brisas (SANTOS, 2012). Desta forma, os principais mecanismos tropicais de circulação oceano-atmosfera são: o El Niño Oscilação Sul, Dipolo do Atlântico e Oscilação de Madden-Julian que quando atuam em suas diferentes fases favorecem ou desfavorecem a atividade convectiva em áreas tropicais. (MOURA; SHUKLA, 1981; RASMUSSON; ARKIN, 1985; SOUZA; AMBRIZZI, 2006; VITORINO, 2003; WEICKMANN et al., 1985).

1.1 **Objetivo Geral**

Investigar as alterações das variáveis climáticas, a partir do crescimento urbano, ou seja, da mudança e cobertura do solo em Belém – Pará, identificando os extremos climáticos de precipitação e temperatura do ar.

1.2 **Objetivo Especifico**

- Selecionar e identificar os eventos extremos climáticos de precipitação e de temperatura, a partir escala anual para Belém no período de 1979 a 2015.
- Analisar as escalas sazonal e mensal dos eventos de extremos climáticos, e evolução temporal destes eventos.
- Investigar a relação destes extremos de precipitação e temperatura, ao efeito de urbanização na cidade de Belém ao longo dos anos, com os eventos de El Niño e La Niña.

1.3 **Justificativa**

Estudos mostram que o Brasil é vulnerável ás mudanças climáticas, especialmente quanto aos extremos climáticos. As áreas mais vulneráveis compreendem a Amazônia e o Nordeste do Brasil, como mostrado em estudos recentes. Nas últimas décadas a Amazônia passou por alguns eventos de secas extremas, isto tem chamado a atenção de cientistas, não só devido aos impactos sobre a população local, mas também porque as secas na Amazônia podem ter causado impactos importantes sobre o clima global (MARENGO et al.,2008;MARENGO et al., 2011; COELHO et al.,2012). Outra justificativa nítida é o elevado crescimento urbano da cidade de Belém que é o local do estudo, onde através das atividades humanas que são capazes de provocar alteração meteorológica de pequena e média escala, a urbanização apresenta-se como uma das mais impactantes, sendo abordado pelos autores Maitelli, (1991); Goldreich, (1992); Jáuregui, (1992), principalmente, nas cidades onde o crescimento se dá de forma acelerada e desordenada, sem planejamento adequado (SANTOS et al., 2012; GARTLAND, 2010).

2 **FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA**

Serão apresentadas as características climáticas da cidade, bem como o conhecimento do regime chuvoso e menos chuvoso da cidade e definição dos eventos de El Niño e La Niña efatores da urbanização baseados em elementos teóricos.

2.1 **ENOS e os efeitos na precipitação Amazônica**

Os relatos dos conquistadores espanhóis se deram por volta de 1500, com a ocupação pelos espanhóis da costa oeste da América do Sul, compreendendo a região litorânea do Equador, Peru e descendo até a parte Norte do Chile.

A palavra El Niño é derivada do espanhol, e refere-se a presença de águas quentes que todos os anos aparecem na costa norte de Peru na época de Natal. Os pescadores do Peru e Equador chamaram a esta presença de águas mais quentes da Corrente do El Niño em referência ao Niño Jesus ou Menino Jesus. Entre o século XVIII e XIX a população peruana começou a associar o período de temperatura máxima da diminuição dos peixes na região, visto que a pesca sempre foi a atividade básica na costa do Peru. Com o evento do Natal, época que é celebrada o nascimento do Menino Jesus, em espanhol “El Niño” (SILVA, 2000).

A célula de Walker está relacionada à variação da pressão atmosférica entre as porções leste e oeste do Oceano Pacífico o que promove uma circulação celular zonal na região equatorial, e podem ser afetadas pelas anomalias na TSM do Pacífico e do Atlântico (ENOS, La Niña e DIPOLO). As variações relações da TSM (Temperatura da Superfície do Mar) e ventos alísios, são cruciais na orientação da intensidade e Posicionamento da banda de nebulosidade e precipitação associada a ZCIT. Para o padrão de dipolo quente (frio), a ZCIT tende a se posicionar predominantemente ao norte (sul) de suas posições climatológicas. (NOBRE; SHUKLA, 1996; SOUZA; NOBRE,1998).

Está célula apresenta movimentos de ar descendentes no Oceano Pacifico na costa oeste da América do Sul, com o escoamento a superfície para oeste, sobre a zona equatorial. Esta circulação para oeste a superfície, é conhecida como ventos alísios e somente no extremo oeste do Oceano Pacifico, próximo a Polinésia, é que ocorrem os movimentos ascendentes que geram grandes massas de nebulosidade. Neste sentido, considera-se não somente a presença das águas quentes da Corrente El Niño, mas também as mudanças na atmosfera próxima à superfície do oceano, com o enfraquecimento dos ventos alísios (que sopram de leste para oeste) na região equatorial. Com esse aquecimento do oceano e com o enfraquecimento dos ventos, começam a ser observadas mudanças da circulação da atmosfera nos níveis baixos e altos, determinando mudanças nos padrões de transporte de umidade, e, portanto, variações na distribuição das chuvas em regiões tropicais e de latitudes médias e altas (SILVA, 2000).

O El Niño/La Niña são as fases positiva/negativa do fenômeno ENOS (El Niño Oscilação Sul) que representam o aquecimento/resfriamento anormal da Temperatura da Superfície do Mar (TSM) na região do pacífico Equatorial, entre a costa do Peru e da Austrália (SOUZA et al., 2000). Esse fenômeno altera as condições climáticas em diversas partes do mundo, com duração de 12 a 18 meses em média em intervalos de 2 a 7 anos com diferentes intensidades. Onde o El Niño inibe a formação de nuvens convectivas, diminuindo a precipitação sobre a região norte, podendo causar anomalias negativas de precipitação, estando associados com a estação menos chuvosa na Amazônia (HASTENRATH, 1993;KAYANO; ANDREOLI; SOUZA, 2013; MOURA, 1986; MARENGO; NOBRE; RENNÓ, 1985). E La Niña provoca a formação de nuvens convectivas, podendo aumentar os totais pluviométricos, e anomalias positivas, atuando desta forma sobre a região norte do Brasil. (SANTOS, 2006),compreendendo uma parte do centro-leste da Amazônia (KOUSKY; ROPELEWSKI, 1989). Kousky et al. (1984) e Kousky e Ropelewski (1989) sugeriram que a maioria das secas no norte-Nordeste Brasil, quando associado a El Niño, são manifestações de alterações da a célula Walker, situada de forma anômala sobre o Atlântico Norte, incluindo a Amazônia oriental e norte do Nordeste do Brasil.

2.2 **Características Climáticas de Belém**

No Brasil o clima não é determinado apenas pela quantidade de radiação solar incidente devido sua posição no globo- o país está localizado entre os trópicos de capricórnio e câncer sendo também cortado pela linha do equador – mas também pelo relevo, vegetação, sistemas meteorológicos atuantes interagindo. A própria ação do homem interfere nas variações climáticas e principalmente nas alterações na escala de tempo. (ALMEIDA JUNIOR, 2005).

Belém, por localiza-se próximo da linha do equador, onde há a maior disponibilidade de energia durante todo o ano, alimento processos convectivos e sistemas meteorológicos de diferentes escalas. A precipitação média anual na Amazônia é em torno de, 2300 mm, com áreas de precipitação superior a 3000 mm, localizadas nos setores oeste, noroeste e no litoral norte; nas sub-regiões entre estes máximos, há mínimos de 1600 mm (FIGUEROA; NOBRE, 1990). A marcha sazonal média da precipitação apresenta duas estações bem distintas, a estação de estiagem durante o inverno e primavera do HS, com precipitações superiores a 200 mm/mês. (MOURA, 2010).

Os fenômenos meteorológicos atuantes na região, merecem uma atenção maior, tais como: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) com variabilidade intrasazonal, brisas marítimas, frentes frias vindas do Sul do continente, Linhas de Instabilidade (LI), El Niño e La Niña, com variabilidade interanual; os quais causam uma grande variação do tempo, ocasionando grandes precipitações (HALPERT; ROPELEWSKI, 1987).

As circulações locais na região amazônica são muito importantes, pois elas influenciam no ciclo diurno e contribuem para o regime de precipitação. Um estudo realizado por Germano et al. (2017), sobre circulações de brisa na Amazônia Oriental, onde foi observado que a brisa marítima fluvial tem frequência regular no NE / E quadrante. A brisa terrestre foi mais intensa nas regiões costais durante o período de 0900-2100 UTC. Por outro lado, a brisa terrestre foi observada apenas em Cuiarana, Salinópolis, Castanhal e Capitão Poço no quadrante SE / S, enquanto que em Soure, ela foi observada no quadrante NW / N em relação à posição geográfica, no horário de 0000 a 0900 UTC. A brisa marítima foi mais intensa

durante os meses de setembro, outubro e novembro enquanto as brisas terrestres foram observadas com maior frequência em março, abril, maio. E junho, julho e agosto. A precipitação horária foi mais relacionada com a brisa marítima do que brisa terrestre. Em contraste, Belém observou a presença de brisa de rio no quadrante NW / N, com tempo de ocorrência de 1200 a 0000 UTC; está circulação foi observada regularmente ao longo do ano (GERMANO et al.,2017).

O Verão e outono causam profunda convecção na região amazônica, definindo o período chuvoso. No entanto, as instabilidades atmosféricas geradas pelos sistemas meteorológicos de escala sinótica podem intensificar a convecção. Alguns desses sistemas estão relacionados principalmente à circulação atmosférica sazonal, tais como a alta da Bolívia (JONES; HOREL, 1990; KOUSKY; KAYANO,1981).

E relação entre ENOS e ODP (Oscilação Decadal do Pacifico) está na escala temporal, uma vez que eventos típicos do primeiro persistem entre 6-18 meses, com variabilidade de 2-6 anos (variabilidade interanual) e do segundo apresentam variabilidade da ordem de décadas (variabilidade decenal). Assim, foi definido um índice através do qual se identificam fases negativas da ODP nos períodos de 1900-1924 e 1947-1976 e fases positivas entre 1925-1946 e 1977 a meados da década de 90 (MANTUA et al.,1997; ZHANG et al., 1997).

Gershunov e Barnett (1998) observaram, para a América do Norte, que padrões atmosféricos tipicamente apresentados em anos de El Niño (La Niña) foram intensos e consistentes apenas quando a ODP apresentou sinal positivo (negativo). Isto não significa que a ODP controla fisicamente o ENOS,mas sim que os padrões climáticos interagem entre si.Verdon e Franks (2006), analisando dados paleoclimáticos dos últimos 400 anos, verificaram que a frequência da ODP é similar à observada no século 20 e que as fases positivas de ODP estão associadas com um aumento na frequência relativa de eventos El Niño, enquanto as negativas são mais favoráveis ao desenvolvimento de eventos La Niña.Siqueira et al. (2006) encontraram que os impactos do evento ENOS no Nordeste e Norte brasileiros são distintos quando se considera as duas fases da ODP, separadamente. Confirmaram que o El Niño reduz a precipitação regional, mas afeta sub-regiões de forma diferente, dependendo da fase da ODP. Kayano e Andreoli (2007), ao analisarem os efeitos do ENOS na precipitação da América do Sul, observaram que esses são

mais fortes quando ODP e ENOS estão na mesma fase e mais fracos quando estão em fases opostas. Segundo Capistrano (2012), a ODP atua influenciando os efeitos do ENOS na precipitação da América do Sul, de modo que quando estão em fase (ODP e ENOS) as anomalias de precipitação são mais intensas.

2.3 **As Consequências dos Efeitos da Urbanização**

Em função da crescente economia do estado do Pará, nas áreas da agricultura, comércio e mineração, a capital paraense passou a atrair um significativo número de imigrantes para viver e trabalhar na cidade. O constante crescimento da região favorece investimentos em transportes, educação, saúde e, consequentemente, infraestrutura como construção de shoppings, indústrias, portos e terminais de carga. Neste sentido as diversas transformações do processo de aumento populacional e expansão urbana geram impactos negativas no ambiente, sendo intensificados pelas constantes mudanças do espaço, causando um desequilíbrio na natureza e nas interações atmosfera -Terra. Os espaços construídos e modificados constantemente pelas diferentes formas de ocupação do solo e uso da terra, alteram os elementos meteorológicos, formando diferentes microclimas. Sendo estes desequilíbrios causados pela impermeabilização do solo, implementação de materiais condutores de energia térmica utilizados no meio urbano, pela poluição do ar, aumento das edificações e, principalmente, pela redução da vegetação, sendo estes fatores os causadores das ilhas de calor, que para Lombardo (1985), Oke (1987) e Coltri et al. (2007), são as mudanças dos fluxos de energia solar que chegam à superfície do solo através de processos físicos, alterando alguns elementos meteorológicos, em especial as temperaturas da superfície e do ar. Segundo os autores, maior aquecimento ocorre durante o dia, devido à capacidade térmica de absorção dos materiais de construção usados na cidade, que devolve parte da radiação recebida para a atmosfera(FEITOSA et al., 2011).

Através de estudo realizado por Costa e Mattos (1998), para verificar a existência de “ilha de calor” urbano na cidade de Belém, foi observado que a grande influência da estrutura citadina no comportamento térmico da cidade vem

contribuindo para a ocorrência do fenômeno de aquecimento bem definido na grande maioria dos bairros estudados. Onde se constatou que durante o período menos chuvoso a intensidade da ilha de calor urbana variou cerca de 4,5 graus °C a mais em bairros deficientes de vegetação e com intensa atividade urbana do que em bairros mais vegetados, enquanto que no período chuvoso estes valores foram de apenas 1,5°C para as mesmas condições.

A maior parte dos materiais de construções é impermeável, desta forma, tendem a absorver mais radiação solar do que dissipar (GARTLAND, op.cit.). Além disso, a combinação de materiais escuros de edifícios e pavimentos com configuração tipo cânion absorve e armazenam mais energia solar. Neste sentido os materiais naturais como a vegetação, interceptam a radiação solar, utilizando tal energia no processo de fotossíntese, diminuindo a poluição do ar, sequestrando Co_2 eliberando O_2 (MASCARÓ, 2009). Fatores como: o calor antropogênico, menores velocidades do vento e poluição do ar em áreas urbanas também contribuem para a formação de ilhas de calor (GARTLAND, op.cit.).

Para Monteiro (1976) e Landsberg (1981), as mudanças climáticas causadas pela urbanização são atribuídas à própria cidade como uma das responsabilidades pelo aquecimento, tendo como principal causa a substituição de superfícies naturais por construções, contribuindo desta forma para diminuir a umidade relativa do ar, devido à drenagem ou impermeabilização de áreas úmidas.

Nas cidades ou centros urbanos observa-se quea retirada e redução de áreas verdes e a substituição destas para superfícies artificiais de diferentes condutividades térmica e cores escuras, absorvem maior quantidade de radiação solar, causando contraste térmicos entre cidade e campo. Reduzindo desta forma a disponibilidade de fontes de vapor d'água disponível para o processo de evaporação, onde é comum a existências destas em áreas rurais por existir maior quantidade de vegetação e áreas permeáveis.

O processo de ocupação urbana, aliado a falta de planejamento de urbanização das cidades, tem como consequências: alterações no balanço de energia e alteração dos níveis de conforto urbano (elevação da temperatura e redução da umidade relativa). Além desses aspectos, o processo de urbanização impermeabiliza o solo proporcionando o aumento dos problemas relacionados às

inundações que frequentemente afetam a população dessas áreas, tornando inevitável seu sofrimento por conta da perda de seus bens materiais e o aumento do risco de contaminação por doenças veiculadas por meios hídricos (SANTOS, F. A. A,2013).

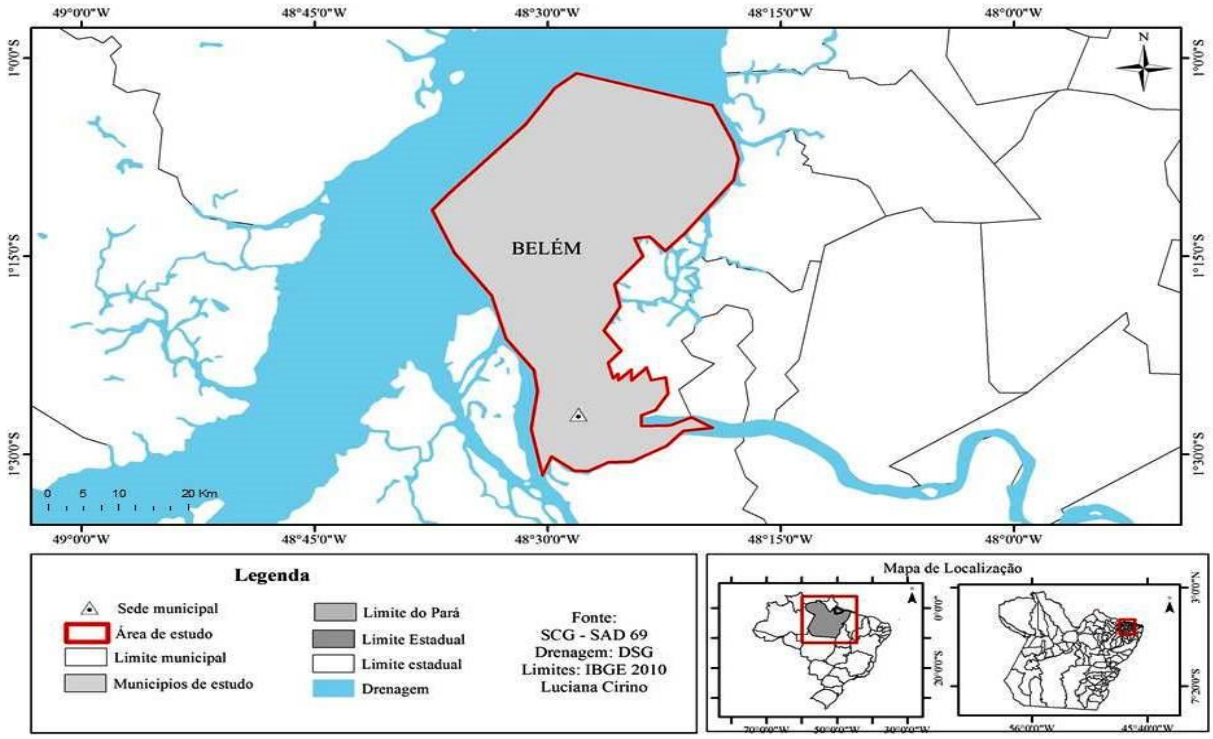
3 **MATERIAIS E MÉTODOS**

Neste tópico serão apresentados: área de estudo, dados utilizados e a metodologia utilizando cálculos estatísticospara a análise dos dados observacionais de precipitação e temperatura, e índice de Oscilação Sul (IOS).

3.1 **Área de Estudo**

A área de estudo compreende a cidade de Belémque se localiza no estado do Pará, nas coordenadas de latitude 01 ° 23’ S, longitude 48 ° 29’ W e altitude de 13 metros, às margens do Rio Guamá e da Baia do Guajará. Belém é uma região metropolitana, que nas últimas décadas tem apresentado um grande aumento populacional e econômico, onde o contingente populacional na área urbana resulta de uma taxa de urbanização muito superior à observada para o conjunto da Amazônia e para o Estado do Pará, de acordo com Costa e Mattos(1998); Oliveira (2007); com população estimada de aproximadamente 1.439.561 habitantes, baseado nos dados do IBGE, 2015,sendo constituída por 48bairros(PARÁ - Prefeitura Municipal de Belém, 2008), num território de 1.065km^2. (CORREA, 2011).Esta cidade está localizada em um dos mais importantes e conhecidos visados biomas do Brasil e do mundo, a Amazônia. Belém, cercada por áreas vegetadas e por rios e baías, sendo importante considerar sua aproximação do oceano Atlântico.

Figura 1- Localização da área de estudo, cidade de Belém-Pará.



Fonte: Da autora

3.2 **Dados utilizados**

Foram utilizadas variáveis meteorológicas da precipitação e da temperatura do ar (máxima e mínima) mensal para o período de 1973 a 2015 (43 anos), fornecidos pelo INMET (Instituto Nacional de Meteorologia); estimativas de população de 1955 a 2015, disponibilizados pelo IBGE e dados do Índice de Oscilação Sul (IOS) da NOAA (NationalOceanicand Atmospheric Administration) para o período de 1968 a 2015. Os IOS são obtidos através da diferença depressão ao nível do mar entre o Pacífico Central (Taiti) e o Pacifico do Oeste (Darwin/Austrália) (NCDC/NOAA,2017).Estes dados foram utilizados para obtenção da variabilidade média e anômala ambiental e social para a cidade de Belém-Pará.

3.3 **Metodologia**

Para seleção e identificação dos eventos de extremos climáticos de precipitação e de temperatura do ar (máxima e mínima) foram utilizados a partir das anomalias de precipitação anual (mais ou menos dois desvios padrões para a precipitação, ou seja, maior de 400 mm/ano (menor - 400 mm/ano) para extremo úmido (extremo seco), de modo similar para as médias anuais das temperaturas. Para isso, foram calculadas as anomalias anuais (Xi – X), sendo Xi a variável observada anual e X a média climatológica, para mostrar os quantitativos de cada ano, se os valores se afastam da média climatológica e se os desvios são negativos (ano seco) ou positivos (ano úmido) para a região. Com os valores obtidos foram confeccionados gráficos, utilizando o editor de planilha EXCEL, para observar as alterações nos valores encontrados, comparando as médias climatológicas de precipitação e das temperaturas máxima e mínima (a.Tmax, a.Tmin). Em seguida foram obtidas as tendências estatísticas das séries temporais anômalas, de IOS, de precipitação (a.PRP) e temperaturas. Por fim, foram selecionados e identificados os eventos de El Niño e de La Niña associados ou não aos anos denominados de extremos climáticos.

3.3.1 IOS (Índice de Oscilação Sul)

Em 1924, o Inglês Sir Gilbert Walker identificou uma acentuada variação da pressão atmosférica entre as massas de ar, localizadas nas faixas tropicais e subtropicais do Oceano Indico e Pacifico. Essa variação indicava a atuação de sistemas de baixa e alta pressão atuando em na estação meteorológica de Darwin e Tahiti. Walker observou a inversão desses sistemas entre uma região e outra, ocasionando mudanças significativas no tempo de ambas as regiões. Definindo desta forma, o IOS (índice de oscilação sul), que reflete a variabilidade atmosférica das duas regiões, através da diferença média da pressão atmosféricas entre Tahiti e Darwin (SILVA,2000).

O índice da oscilação do Sul (IOS) é um índice padronizado baseado nas diferenças de pressão observadas do nível do mar entre as estações deTaiti e Darwin, situadas próximo da Austrália. O SOI é derivado usando valores mensais

como foi feito em Trenberth (MWR, 1984), onde mede as grandes flutuações na pressão atmosférica que ocorrem entre o Pacífico tropical ocidental e oriental (ou seja, o estado da Oscilação do Sul) durante os episódios de El Niño e La Niña. Em geral, as séries temporais suavizadas do SOI correspondem muito bem às mudanças nas temperaturas oceânicas em todo o Pacífico tropical oriental. A fase negativa do SOI representa uma pressão de ar abaixo do normal em Tahiti e uma pressão de ar acima do normal em Darwin. Períodos prolongados de negativo (positivo valores SOI) coincidem com anormalmente quente (frio águas) oceano em todo leste do Pacífico tropical típico de El Niño(LaNiña) episódios. (ClimatePrediction Center/NOAA), onde é calculado da diferença de pressão das duas estações Tahiti e Darvin, padronizados, dividido pelo desvio padrão médio de cada série temporal (TRENBERTH, 1984).

3.3.2 Método de cálculo para o IOS (Índice de Oscilação Sul)

IOS= (Tahiti Padronizado – Darwin Padronizado)/ DPM

Onde:

Tahiti Padronizado = **(Pressão observadas do nível do mar de Tahiti) / Desvio Padrão Tahiti**

Darwin Padronizado = **(Pressão Observadas do nível do mar de Darwin) / Desvio Padrão Darwin**

Onde:

DPM= Desvio padrão mensal =$\sqrt{\Sigma}$ (Tahiti Padronizado - Darwin Padronizado) ^{2} / N

N = número de meses somados

Fonte: NOAA (2017).

3.3.3 SPI (Índice de Precipitação Padronizado)

O SPI (Índice de Precipitação Padronizado) desenvolvido por McKee et al. (1993), cuja finalidade é definir e monitorar eventos de seca. A utilização do SPI permite a determinação da frequência de uma seca ou de eventos úmidos em uma escala de tempo específico para qualquer local no mundo que tenha registros de precipitação.

Neste sentido, é um índice calculado normalmente na base dos períodos de tempo selecionados (1, 3, 6, 12, 60 meses) e indica como a precipitação se comportou em relação à climatologia do período a ser estudado. Valores positivos indicam precipitação à cima da média e valores negativos são indicativos de precipitação abaixo da média. (SANTOS, 2014). O SPI anual (SPI-12) reflete padrões de precipitação de longo prazo. É utilizado para monitorar a variabilidade anual e interanual. Deste modo, à medida que a escala temporal aumenta, o SPI responde mais lentamente as mudanças na precipitação (MCKEE , 1993).

O SPI é a variável reduzida Zi da distribuição normal da precipitação:

$$SPI = Zi = (Pi - Pj) / \sigma i,$$

Onde, i é a escala de tempo (1, 3, 6, 12 meses); Pi é a precipitação observada;Pj e σi, respectivamente, são a média e o desvio padrão da série ajustada.

A Tabela 1-Mostra a Classificação dos períodos menos úmidos e úmidos do SPI

Valores de SPI	**Classes**
< -2,0	Seca Extrema
-1,99 a -1,50	Seca Severa
-1,49 a -1,0	Seca Moderada
-0,99 a -0,49	Seca Fraca
-0,49 a 0,49	Quase Normal
0,49 a 0,99	Chuva Fraca
0,99 a 1,49	Chuva Moderada
1,49 a 1,99	Chuva Severa
> 2,0	Chuva Extrema

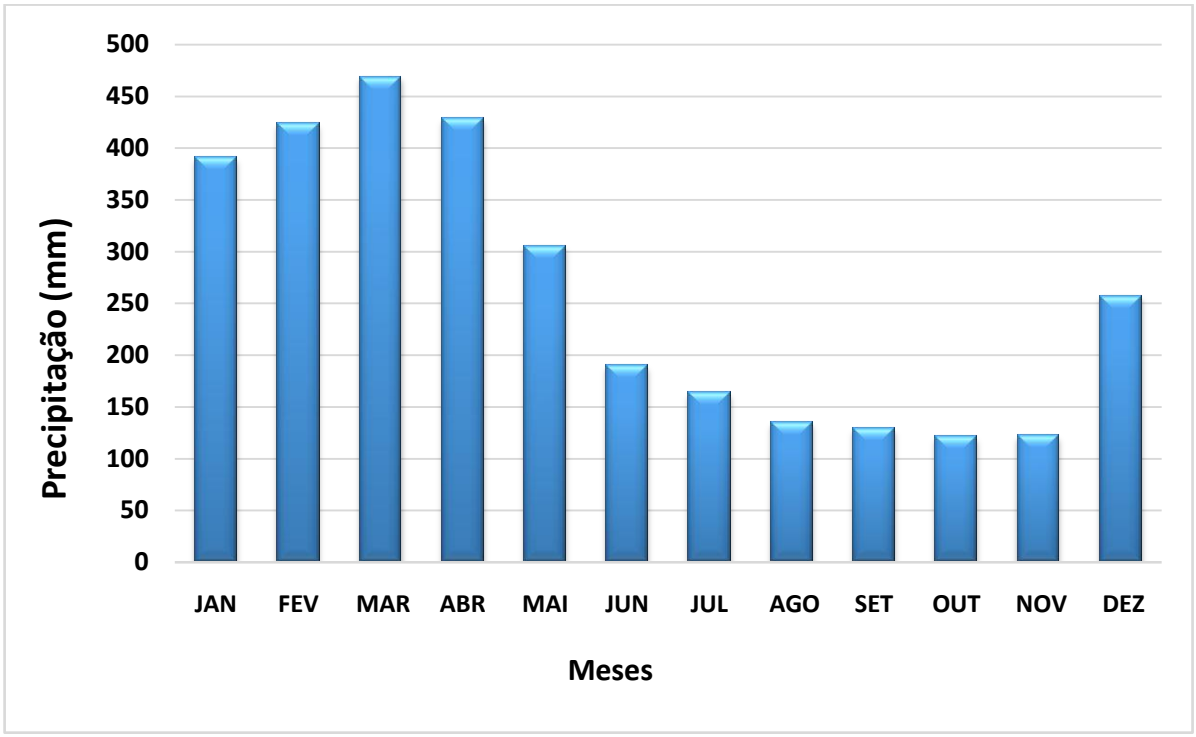
Fonte: Baseados no estudo de Mckee (1993).

4 **RESULTADOS E DISCUSSÕES**

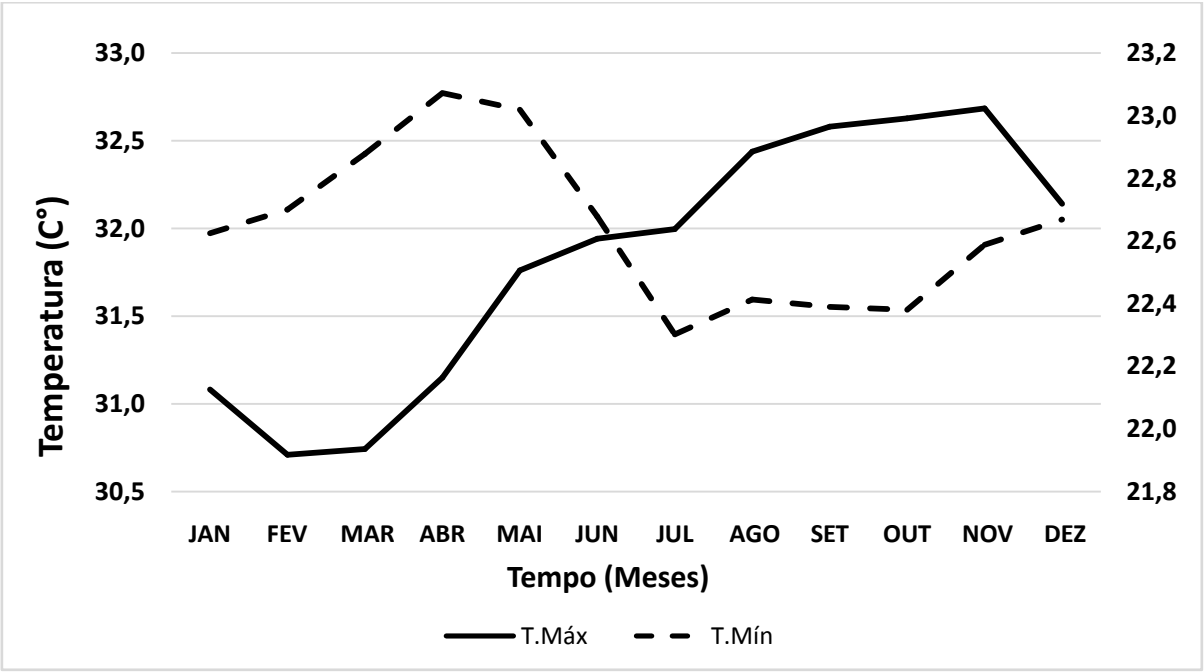
4.1 **Aspectos climatológicos e populacionais**

A figura 2 (a) mostra as precipitações que ocorrem em duas estações, classificadas como chuvosa (Jan-Maio), e a menos chuvosa (jun-dez), com média anual de 3.112 mm, com 64% do total anual ocorrendo no período chuvoso, baseados nos dados brutos de precipitação para Belém de 43 anos do INMET. Sendo assim , foram analisados estes dois períodos climatológicos sazonais com precipitação máxima em março, sendo o mês mais chuvoso climatologicamente na cidade de Belém, principalmente devido a atuação de um sistema meteorológico de escala sinótica precipitante, a ZCIT (Zona de convergência intertropical) que é uma banda zonal associada à atividade convectiva que oscila entre 5°S e 10°N, aproximadamente, de acordo com Uvo, (1989); Waliser e Gautier, (1993), que durante este mês encontra-se situado sobre o Hemisfério sul, próximo a Belém, o período menos chuvoso, correspondente aos meses de (jun-dez), (UVO, 1989; WALISER; GAUTIER, 1993) sendo Dezembro considerado um mês de transição, com 258 mm, devido a atuação de sistemas meteorológicos da meso escala como linhas de instabilidade(LI) formadas no nordeste do Pará como fala os estudos de Cohen, Dias e Nobre (1989) e Barros (2008); e de micro escala como o aquecimento da superfície, que provocam a formação de nuvens na região. Além da atuação de fenômenos como El Niño e La Niña, que contribuem para a diminuição e aumento da precipitação em Belém, respectivamente.

Figura 2- Climatologia de precipitação (a) e das temperaturas máxima, e mínima (b) para Belém, a partir do conjunto de dados do INMET para o período de 1973 a 2015. Legenda: T.máx: Temperatura máxima média; T.mín: Temperatura mínima média.



(a)



(b)

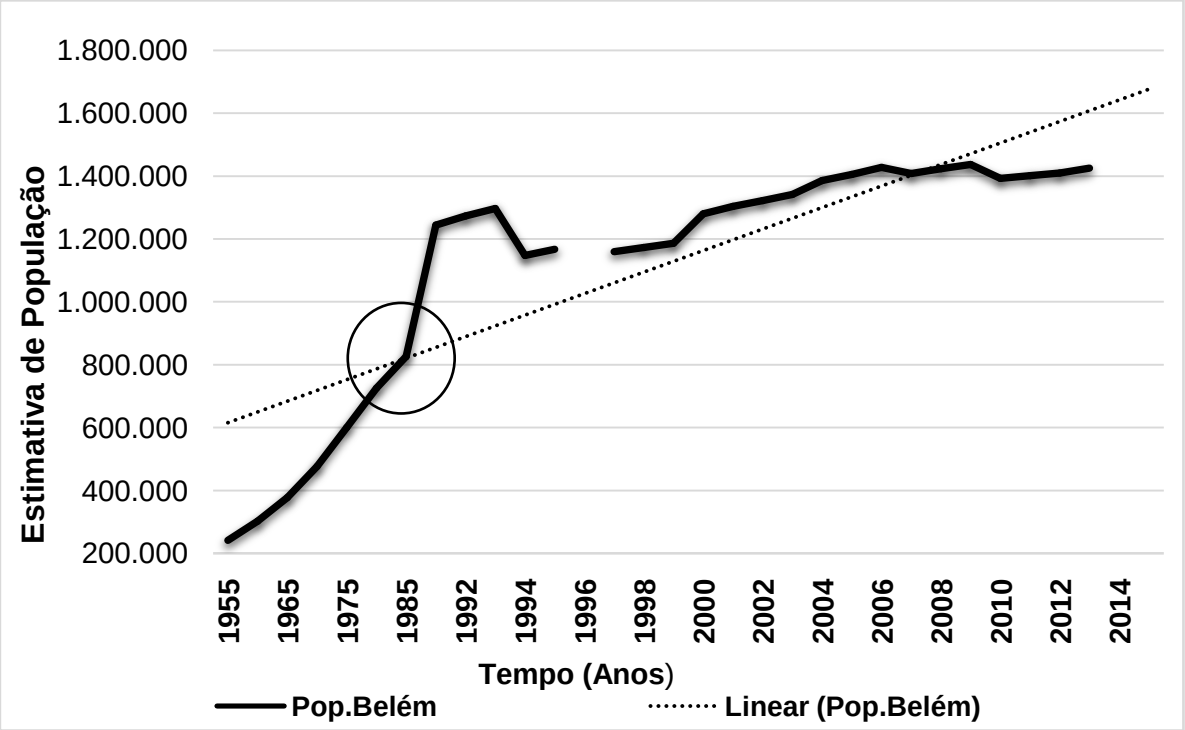
Fonte: Da autora

A temperatura do ar média anual para Belém (Figura 2b) é em torno de 26,5°C, em março a temperatura média mensal é de 25,7°C e em outubro 27,9, com máximas e mínimas variando entre 32º e 23ºC, durante o ano, respectivamente (INMET, 2016), Observa-se que ao longo dos anos utilizando médias de temperaturas máxima e mínima, de acordo com a climatologia da cidade de Belém, as temperaturas máximas são menores, durante os meses de janeiro a maio (período chuvoso) na estação de verão, devido a presença de nebulosidade, justificando também valores máximos de temperatura mínima, já que a radiação de onda longa não pode ser perdida durante esse período ficando “aprisionada” e aquecendo a atmosfera. E máximos valores de temperatura máxima no segundo semestre do ano (período menos chuvoso) (jun-dez), e mínimos de temperatura mínima, já que durante esses meses há pouca nebulosidade, e a radiação longa é perdida para o espaço, corroborando com o estudo de Costa,2001 onde os menores valores de temperaturas (máx) são observados durante o período chuvoso (fevereiro a abril), e os maiores valores médios mensais observados durante a estação menos chuvosa (setembro a novembro).

A Figura 3 demonstra o crescimento populacional baseados em estimativas de dados populacionais obtidos do IBGE, correspondidos ao período de 1955 a 2015, demostrando tendência aumento ao longo dos anos, associado ao aumento significativo nos anos entre 1980 e 1985 ao crescimento urbano acelerado e aos movimentos migratórios onde durante os anos 90 era comum o êxodo rural devido a à busca a elementos históricos em que os ciclos econômicos ocorridos na Amazônia desencadearam intensos fluxos migratórios para a região (BARROS,2008),representando um volume de 49,52% das 102.086 migrantes que moravam em domicílios rurais e se dirigiram para as cidades, participação significativa no contexto do processo de urbanização pelo qual passa o Pará no período 1981-1991. (TOBIAS,2002).

No decorrer da década de 80 a estrutura urbana sofreu alterações, pois as migrações ocasionaram certa pressão por habitação que teve como uma de suas consequências o processo de verticalização de alguns bairros do centro como, Umarizal, Nazaré e Batista Campos, para a demanda da classe de alta renda (BARROS,2008).

Figura 3- Distribuição temporal da projeção populacional para Belém-Pará.



Fonte: IBGE(2016).

Em primeiro plano, a Amazônia, é inserida na metade do século XX ao resto do Brasil através de grandes eixos rodoviários, que juntamente com a consolidação dos ciclos da mineração, deram outro padrão de ocupação para a mesma. Como mostra Souza (2003), essa política de integração pensada pelos governos militares, trouxe uma perturbação na estrutura urbana de Belém, formada desde o período da borracha, onde o fluxo migratório se intensifica com a vinda de vários migrantes de algumas regiões do Brasil, causando inchaço urbano.

São edificados na cidade diversos conjuntos habitacionais de acordo com Dias e Silva(2007), procurando amenizar o contingente populacional presente nas diversas áreas invadidas pela população. A partir dos anos 60, a cidade de Belém viveu uma produção do espaço urbano muito intenso, que influenciou o crescimento, não só da cidade, como do município vizinho, Ananindeua (OLIVEIRA, R.; OLIVEIRA, J., 2004). Que devido a chegada do trabalhador rural em busca de uma fonte de renda estável, e em busca de melhores condições de vida, o inchaço urbano torna-se cada vez difícil de controlar, pois ao chegar, esse trabalhador encontra as áreas centrais especuladas e valorizadas e as periferias ao redor

dessas áreas com seu processo de ocupação consolidada, e assim tomam um novo destino que chamamos área de expansão que surgem com o afastamento gradativo das pessoas do centro, a formação de novos bairros e a chegada a zonas mais afastadas (BARROS,2008).

A década de 70 foi um período importante para a história migratória paraense, principalmente o segundo quinquênio dessa década. De acordo com Barros, 2002, o Pará foi o estado da Região Norte a receber o maior contingente populacional dos fluxos migratórios interestaduais, onde o Pará recebia 43,88 % dos imigrantes da região Norte. Enquanto Rondônia recebia 33,02% dos imigrantes.Em referência a imigração entre os estados da região Norte, o Pará ocupa o a quarta posição, perdendo para Rondônia, Amazonas e Amapá. Na configuração regional, a Região Nordeste tem o maior destaque com relação as demais Regiões do País, e 54,46% dos nordestinos buscam no Pará as melhores expectativas criadas pelo planejamento regional das políticas de integração nacional. Quanto aos imigrantes da Região Sudeste, 14,01% se deslocam para o Pará. Dos imigrantes da Região Sul, 5,95% estãono Pará. E finalmente, da Região Centro-Oeste, onde seus imigrantes, 20,83% tiveram como destino o Pará. A entrada de população no Estado do Pará na década de 70, tem como principal origem a Região Nordeste, com 54,469% dos imigrantes interestaduais. Os estados do Maranhão, Ceará e Bahia são os maiores representantes desta Região, representando juntos cerca de 85,33%. É importante considerar que o Pará ainda recebe um grande contingente de população na década de 80, onde esse contingente tem uma trajetória para pontos específicos no estado, onde a mineração e extração de ouro em Serra Pelada, foram fatores que serviram de estimulo para o deslocamento da população. Justificando desta forma o aumento populacional, sendo nítido nas estimativas de população realizadas pelo IBGE.

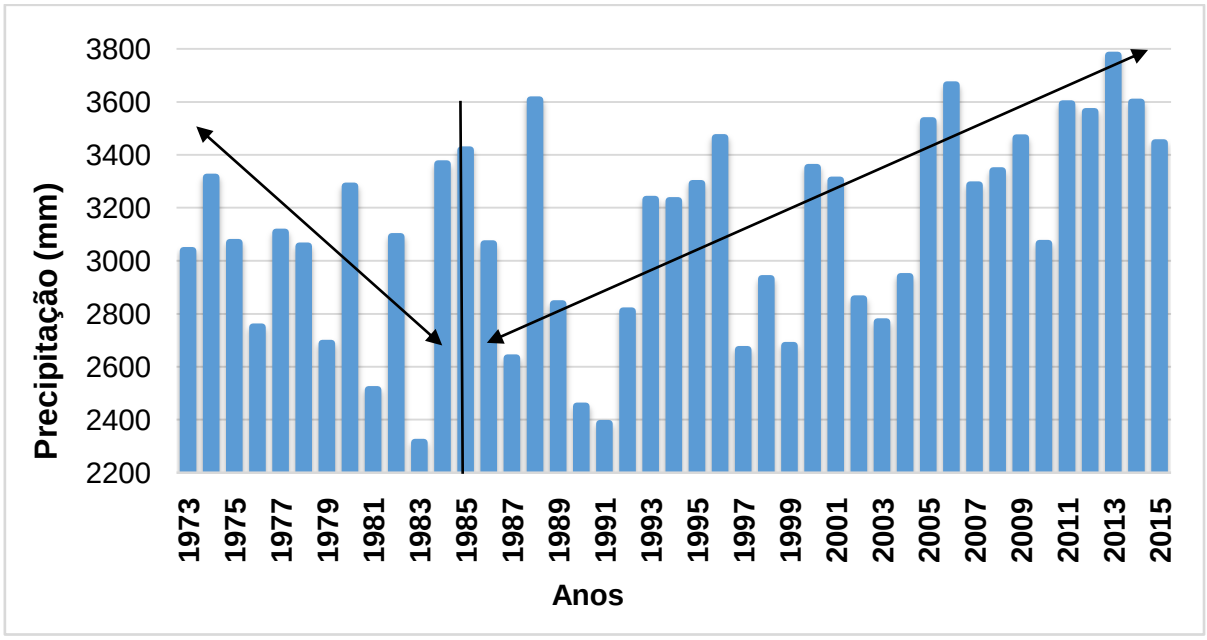
4.2 **Efeitos Urbanos e o Clima Local**

4.2.1 Análise anual

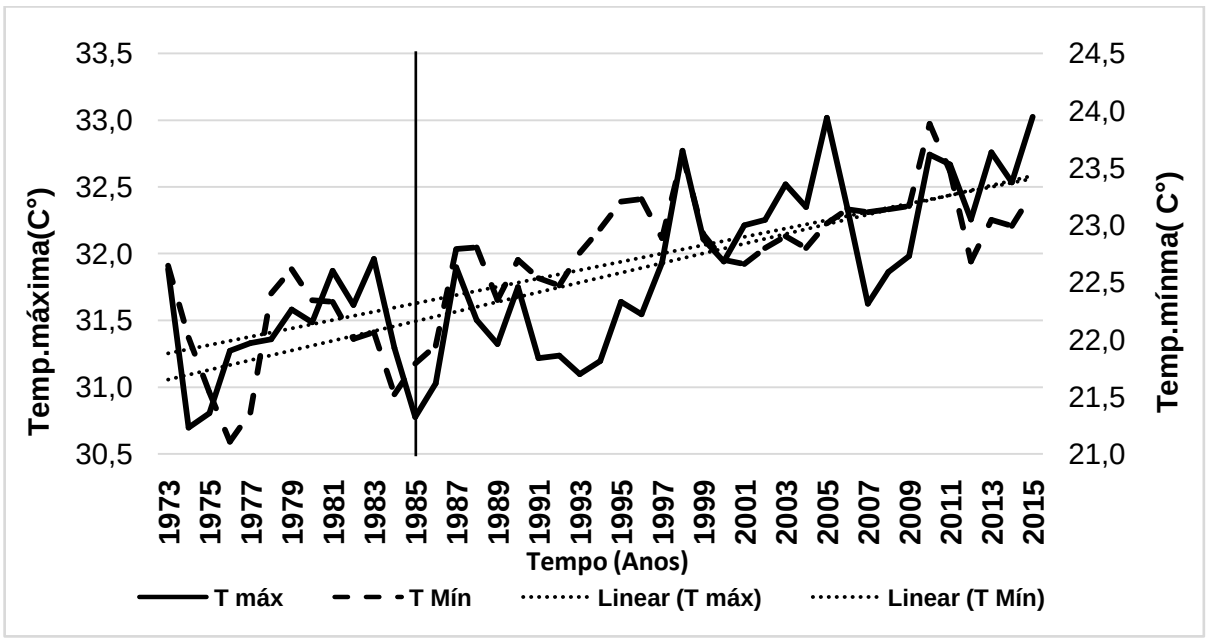
Na figura 4 tanto na variável de precipitação (a) quanto de temperaturas máxima e mínima média (b) anual observada para Belém, demonstram tendência de aumento ao longo dos anos, com aumento significativo nos anos entre 1980 e 1985, sendo este aumento visível também na precipitação e temperaturas máxima e mínima. Estando de acordo com o estudo de Silva et al. (1998), realizado para a cidade do Rio de janeiro associando a intensificação da precipitação, em torno de 5 a 10%, com a urbanização, devido ao ar quente ascendente e o aumento dos núcleos de condensação, entretanto, as poucas estações existentes e o curto período analisado, sendo este com três eventos de El Niño e um de La Niña, dificultam a identificação das consequências geradas pelo clima urbano, que fora destes fenômenos naturais podem ser mais ou menos intensas.

Com o efeito de urbanização associado ao crescimento populacional, mudanças do uso da terra, remoção de áreas verdes e naturais e substituição por áreas pavimentadas e superfícies escura, com materiais de diferentes características térmicas, onde o albedo é baixo, são fatores que colaboram para formação de ilhas de calor na cidade, e alterações no clima local, causando mudanças no padrão de nebulosidade, consequentemente o aumento da precipitação, corroborando com a literatura científica de Fisch; Marengo e Nobre, 1996; sobre o clima da Amazônia. O desmatamento também é um fator muito importante visto que com o crescimento urbano desenfreado pode causar grandes impactos locais e globais na sociedade. Avissar et al. (2002) formularam e classificaram o efeito do desmatamento na precipitação, tendo ressaltado que para desmatamentos regionalizados haveria inicialmente um aumento da precipitação, enquanto que na medida que o desmatamento aumenta esse quadro se reverteria com um decréscimo da precipitação em 30% para o desmatamento total, visto que haveria a remoção de uma das principais fontes de vapor d’água para a atmosfera que é a vegetação.

Figura 4 - Precipitação (a) Temperaturas máxima e mínima (b) anual observadas para Belém baseados nos dados de temperatura do INMET, para o período de 1973 a 2015. Legenda: Tmáx: Temperatura máxima média; Tmín: Temperatura mínima média.



(a)

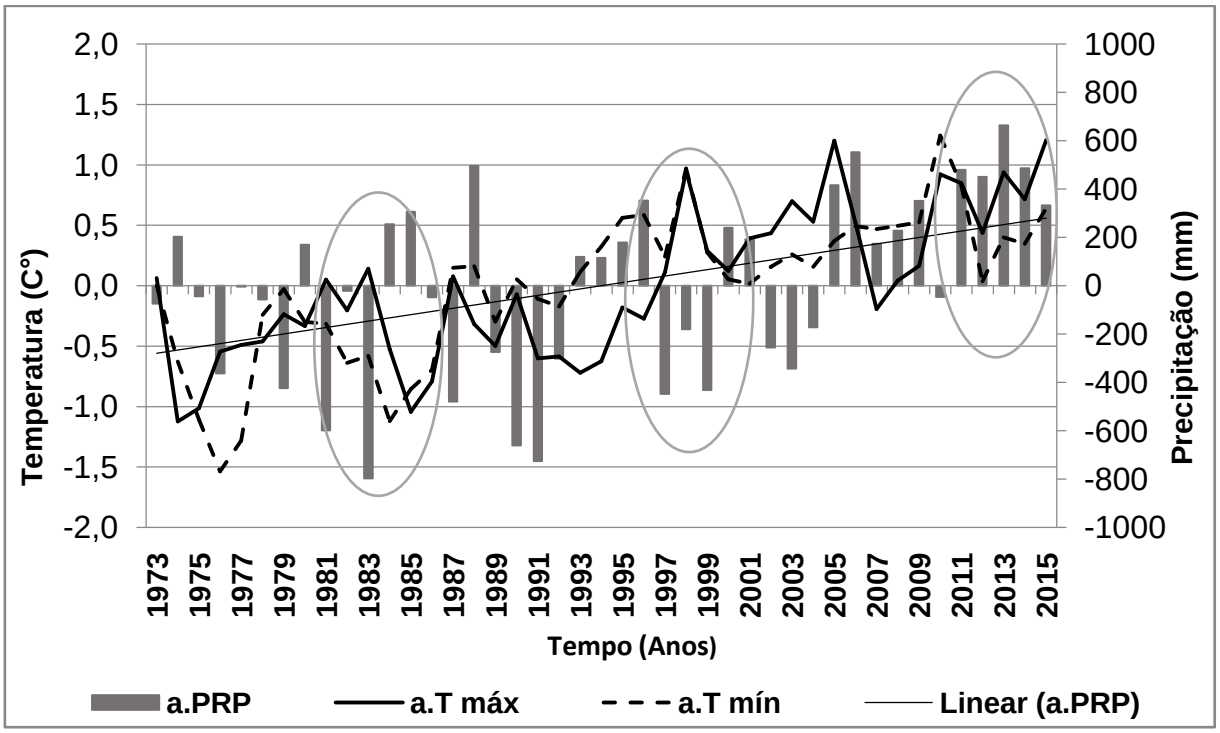


(b)

Fonte: Da autora

Na Figura 5observa-se que os valores de anomalias de precipitação dos dados de 42 anos para a cidade, indicando que houve um valor máximo de precipitação em 2013, com 3773 mm, um excedente de 663 mm acima em relação à média climatológica, devido ao evento La Niña. E um valor mínimo no ano de 1983 com 2315 mm, déficit de 798 mm, estando este ano sobre efeito do El Niño, ou seja, em anos desses eventos ocorre a diminuição nos totais anuais de chuvas, trazendo como consequências secas, logo, em anos de La Niña, ocorrem elevações nos totais pluviométricos, gerando grandes enchentes e transtornos para a sociedade da região estudada, estando de acordo com Oliveira e Souza Júnior, (2016).

Figura 5 - Distribuição temporal das anomalias de precipitação, temperaturas máxima e mínima para o período de 1973 a 2015, com a seleção de extremos climáticos de precipitação e temperaturas (82/83,84/85; 97/98 e 11-15) (círculo cinza). Legenda: a.PR



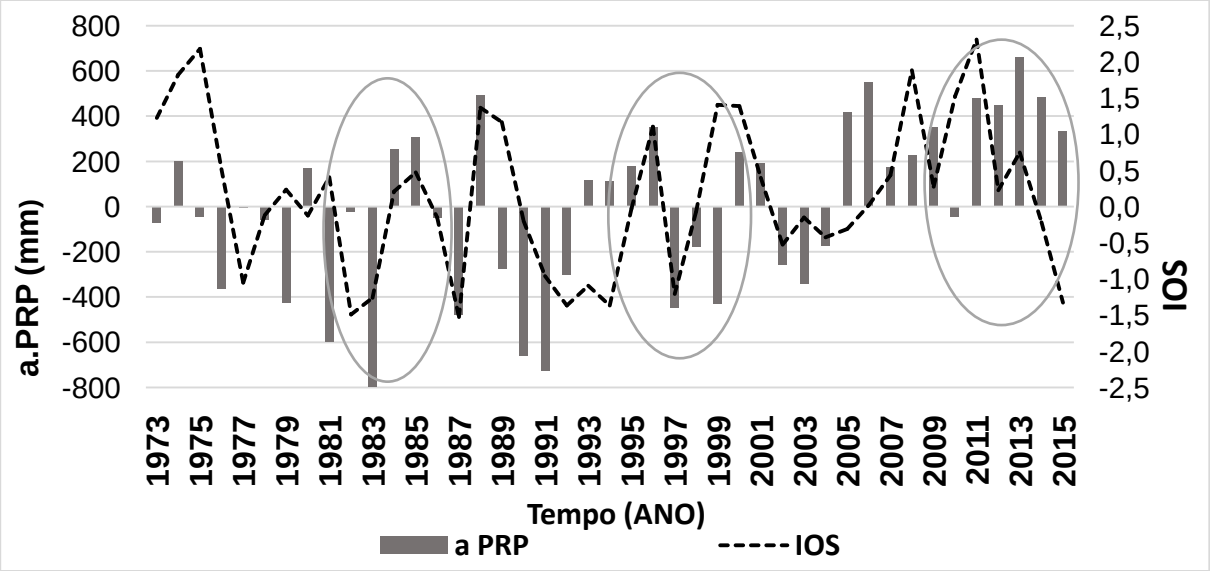
Fonte: Da autora

A figura 6a mostra os anos em que ocorreram precipitações maior do que 400 mm anual (400 mm >) e menor (400 mm <), sendo considerados eventos extremos de precipitação, estando associados com eventos de El Niño em anos menos chuvosos, com IOS negativos (1982/1983) IOS (-1,5/-1,3); e La Niña com anos chuvosos e IOS positivo (2010/2011) IOS (1,5/2,3) com excedente de 480 mm em

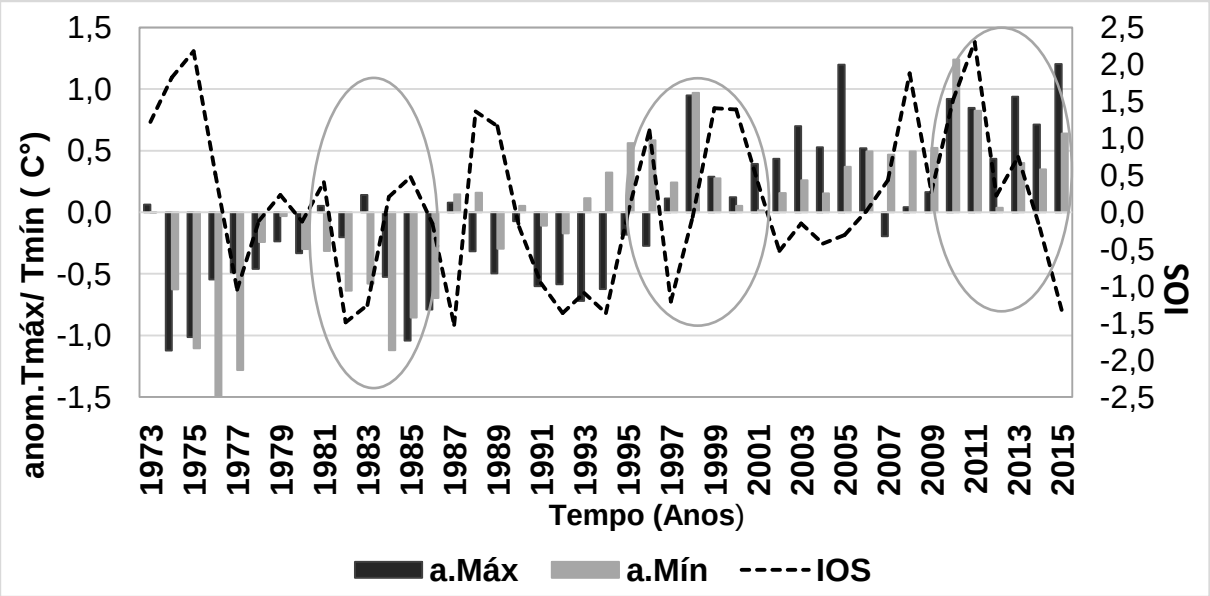
2011. Porém essa regra nem sempre acontece, um exemplo disto foi o ano de 2015, com IOS de -1,3, havendo excedente de precipitação de 333 mm.

A Figura 6b mostra a variação anual do IOS, onde os valores negativos da diferença de pressão para os El Niño de 1982/83 (- 1,5/-1,2); 97/98 (-1,2/-0,06) e o mais recente 2015/2016 (-1,3), caracterizando eventos fortes do ENOS causando elevações térmicas sazonais. Mudanças na circulação da atmosfera podem causar alterações significativas na temperatura global, principalmente quando há alterações na frequência de ocorrência dos eventos El Niño. Fonte (INMET). Na escala de clima, esses efeitos podem ser mais longo se for considerar a natureza térmica dos oceanos ao responderem a essas variações de curto prazo (MOLION,1995).

Figura 6 - Anomalia de precipitação versus Índice de oscilação Sul (a) Anomalia de temperaturas máxima e mínima versus Índice de oscilação Sul (b) para o período de 1973 a 2015.Legenda: a.PRP: Anomalias de precipitação a.Tmáx: Anomalias de temperatura m



(a)



(b)

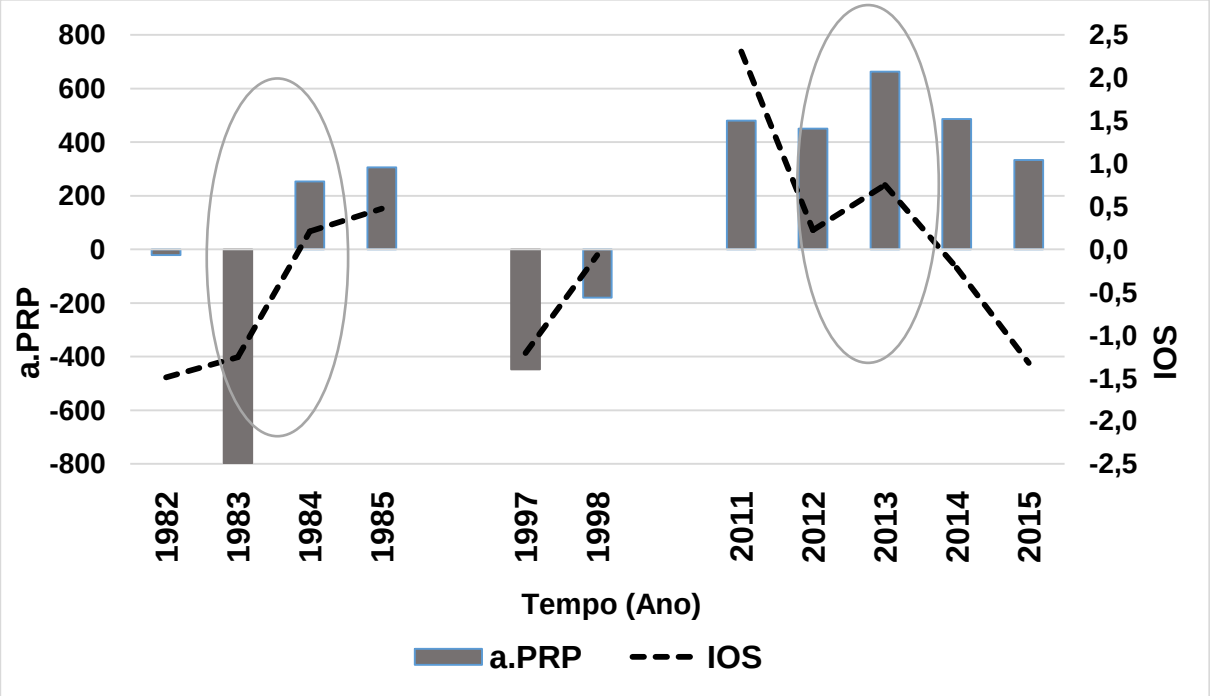
Fonte: Da autora

A série temporal de IOS indica que o ciclo ENOS tem período médio em torno de 4 anos, embora se tenha observado período variando entre dois e oito anos de acordo com Torrence,1998. As décadas 1980 e 1990 foram registrados El Niño muito ativos, com 5 episódios de El Niño (1982/83;86/87;91/93;94/95;97/98) e 3 episódios de La Niña (1984/85;88/89;95/96).

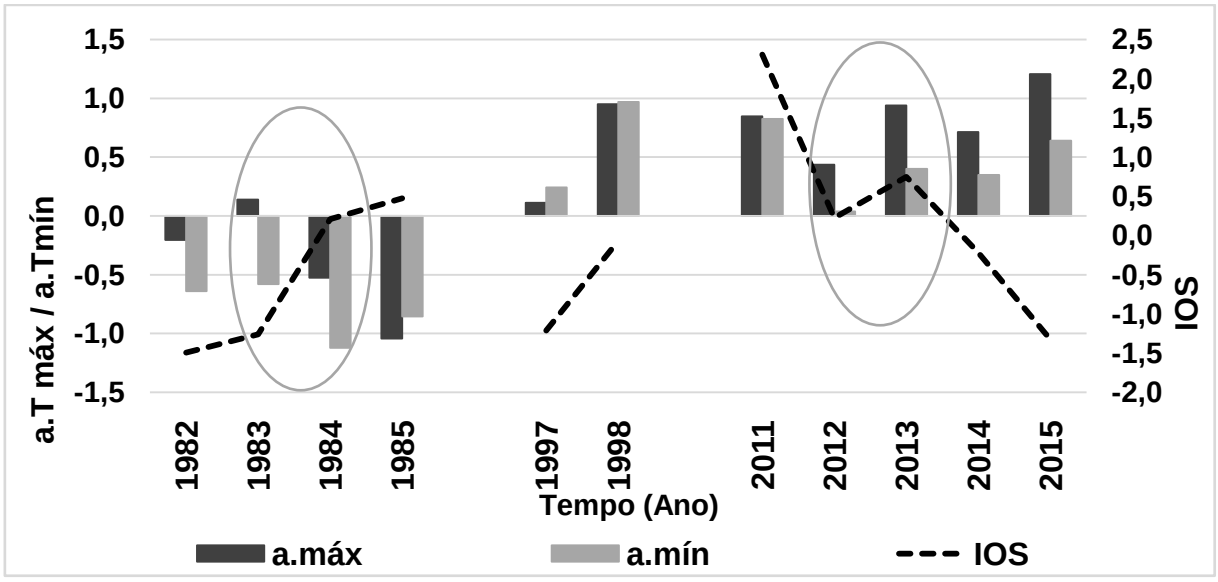
Na figura 7 mostra os eventos selecionados de 1983 que se observou mais meses com déficit de precipitação (a) do que excedentes, onde houve um déficit de 800 mm no total anual, com o mês de abril com menor acumulado, déficit de 154 mm e índice de oscilação sul de-1.5; e 1997 com déficit de 450 mm no total anual com o mês de junho com déficit de 132 mm, com valor de índice de oscilação sul de -2,3. No ano de 1998 a temperatura máxima (b) destaca-se no mês de outubro com anomalias positivas (0,7 °C). A américa do Sul foi fortemente influenciada pelo ENSO de 97/98, cujo pico máximo se deu no verão (INMET). Na região norte, as consequências puderam ser notadas em Belém, com aumento das temperaturas e de precipitação no ano de 2015. Corroborando com os estudos de Oliveira e Souza Júnior, 2016, onde observa-se que outros fatores de escalas globais, como ZCIT, linhas de instabilidade, e fatores locais associado a expansão urbana desordenada, podem influenciar no aumento das chuvas na região.

E 2015 a maior anomalia positiva de temperatura foi no 2° semestre do ano, no mês de outubro com anomalia de temperatura máxima de 1,5 °C e mínima de 0,6 °C com IOS de -2.8, resultado da ocorrência do El Niño; um ano que gerou intensas reclamações de desconforto térmico para a população de Belém.Em 2013, um ano de anomalias positivas, o maior cumulado foi no mês de fevereiro, sendo o mês de maior contribuição para as anomalias positivas, com 188 mm acima da média para o mês (425 mm), ano de La Niña. Portanto, sabe –se que as variabilidades atmosféricas nas escalas interanuais e intrasazonais dos fenômenos El Nino Oscilações Sul (ENOS) e da Oscilação de Madden-Julian, respectivamente de acordo com os estudos de Weickmann, 1983; Rasmusson; Arkin, 1985; Vitorino, 2002,modulam de fato a intensidade dos sistemas meteorológicos da região, como: a Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), a Zona de Convergência do Atlântico Sul (ZCAS), os Sistemas Frontais (SF), os Vórtices Ciclônicos de Altos Níveis (VCAN), os Distúrbios Ondulatórios de Leste (DOL), as Linhas de Instabilidades (LI) e os aglomerados convectivos (AMBRIZZI, 2006; MARENGO, 1992; SOUZA; VITORINO et al., 2006).

Figura 7 - Eventos de extremos climáticos de anomalias de precipitação associados ao índice de oscilação sul (a) e anomalias de temperaturas máxima e mínima (b). Legenda: a.PRP: Anomalia de precipitação; a Máx: Anomalia de temperatura máxima; a Mín: Anomalia de temperatura mínima; IOS: Índice de oscilação Sul.



(a)



(b)

Fonte: Da autora

A tabela 2 mostra os extremos climáticos selecionados a partir da precipitação e da temperatura do ar para Belém num intervalo de 42 anos. Observa-se doze eventos climáticos, oito eventos secos e sete eventos úmidos, com destaque 82/83 (El Niño) (-798 mm/ano) e 12/13 (La Niña) (663 mm/ano). Além disso, os efeitos urbanos podem ser observados, através de IOS de El Niño similares (-1,3) em 1983 e 2015, mas, a precipitação observada -798 e 333 mm/ano, respectivamente.No caso da La Ninã antes e durante o aumento da população, em 1988 (IOS 1,4) e 2013 (IOS 0,8), as precipitações são de 495 e 663 mm/ano, denotando a influência da cobertura da superfície de Belém.

Tabela 2- Seleção dos extremos climáticos, baseados nas anomalias de precipitação (400mm <a.PRP< -400mm), sublinhado (maior evento úmido) e em negrito (maior evento seco).

N° de Ocorrência	Ano	IOS	a.PRP (mm/ano)	a.Tmax (C°/ano)	a.Tmin (C°/ano)
1	1978	-0,1	-57	-0,5	-0,2
	1979	0,2	**-424**	-0,2	0,0
2	1980	-0,1	169	0,3	-0,3
	1981	0,4	**-599**	0,1	-0,3
3	1982	-1,5	-21	-0,2	-0,6
	1983	**-1,3**	**-798**	**0,1**	**-0,6**
4	1986	-0,2	-49	-0,8	-0,7
	1987	-1,5	**-479**	0,1	0,1
5	1988	1,4	495	-0,3	0,2

	1989	1,2	-275	-0,5	-0,3
6	**1990**	-0,2	**-661**	-0,1	0,1
	1991	-1,0	**-727**	-0,6	-0,1
7	1996	1,1	352	-0,3	0,6
	1997	-1,2	**-448**	0,1	0,2
8	1998	-0,1	-180	1,0	1,0
	1999	1,4	**-432**	0,3	0,3
9	2005	-0,3	416	1,2	0,4
	2006	0,0	551	0,5	0,5
10	2010	1,5	-47	0,9	1,2
	2011	2,3	480	0,8	0,8
11	2012	0,2	451	0,4	0,0
	2013	0,8	663	0,9	0,4
12	2014	-0,2	486	0,7	0,3
	2015	-1,3	333	1,2	0,6

Fonte: Da autora

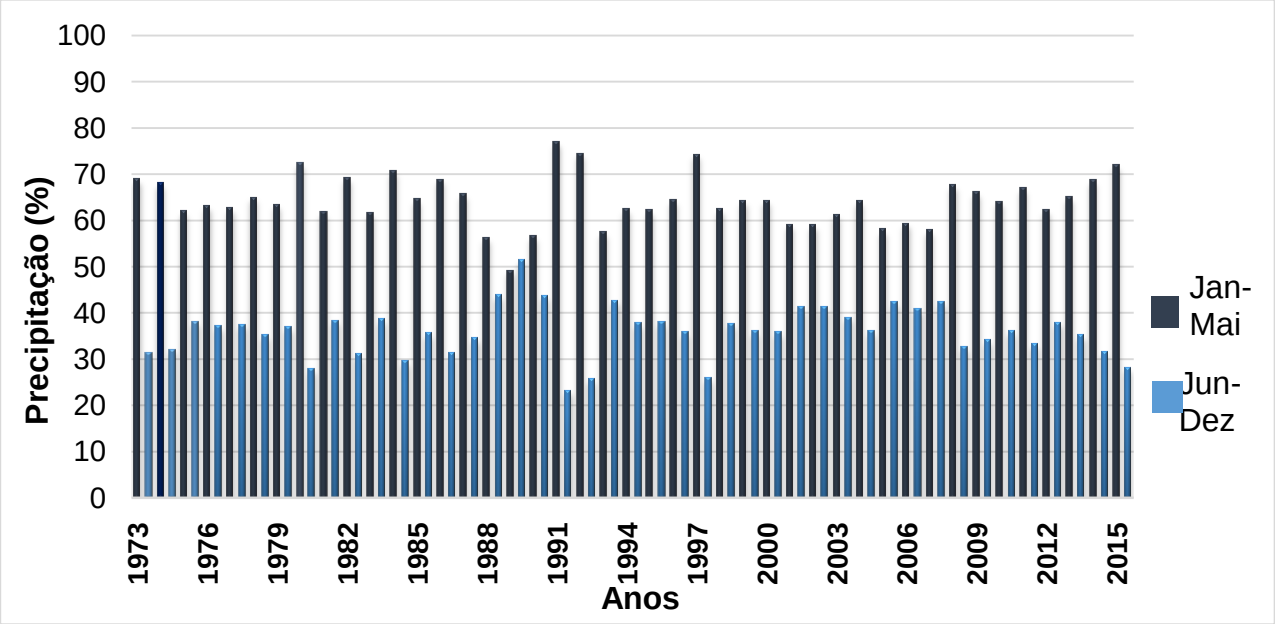
Tavares (2002) declara que o processo de urbanização, conduzido pelo homem, é o principal agente modificador do ambiente e que as transformações na superfície tornam o clima, uma das variáveis mais importantes do meio natural, mais vulnerável, sofrendo sérios impactos. Dessa forma, as características climáticas da cidade são alteradas em micro e meso escalas, de modo geral elevando o calor e a precipitação pluviométrica, bem como alterando o fluxo de ventos e a umidade relativa do ar.Brandão (2003) observa que, na cidade, o ritmo e a intensidade da produção e armazenamento de calor são fortemente diferentes dos que ocorrem na zona rural, em razão da presença das indústrias, dos veículos, da substituição da cobertura vegetal por construções (cimento, concreto e alvenaria), da pavimentação asfáltica, das modificações na topografia.

4.2.2 Análise Sazonal

Na figura 8 é visível que os maiores quantitativos de precipitação ocorrem no primeiro semestre do ano (Jan-mai) e os menores ocorrem no segundo semestre (Jun-dez). A partir da análise dos anos selecionados em que houve eventos extremos, os anos 82/83 em que houve evento de El Niño a precipitação foi de 69 % e 31 % no primeiro e segundo semestre respectivamente, e 83 onde se observou a redução da precipitação no primeiro semestre com 61% e 39% no primeiro e segundo semestre respectivamente, onde de fato houve a influência do El Niño. Nos

anos de 84/85 onde observou-se o evento de La Niña, em ambos os anos a porcentagem de precipitação nos primeiros semestres, ultrapassando a 70% como no ano de 83, com 29% no segundo semestre. Já no ano de 85 observou-se uma melhor distribuição da precipitação ao longo dos semestres, onde o primeiro contribuiu com 65% e 35% no primeiro e segundo semestre respectivamente. No ano de 97/98 houve pouca distribuição da precipitação ao longo dos semestres, com 74% e 26% no primeiro e segundo semestre respectivamente, essa falta de regularidade nas chuvas é possível que esteja associado a ocorrência de um evento El Niño forte, reduzindo a precipitação no segundo semestre.

Figura 8- Precipitação anual observada para o período chuvoso (Jan-Mai) e período menos chuvoso (Jun-Dez) para Belém.



Fonte: Da autora

Analisando as figuras 9 e 10, comparando as variáveis, uma de temperatura máxima e mínima do primeiro e segundo semestre dos 42 anos de dados, a tendência foi de aumento ao decorrer dos anos, onde as temperaturas máximas do primeiro semestre mantiveram–se menor que as temperaturas do segundo semestre sendo justificado igualmente para a análise da figura 10, onde as temperaturas mínimas do 1° são maiores, devido à presença de nebulosidade no primeiro semestre da cidade de Belém por ser considerado o período chuvoso da cidade, onde os efeitos combinados da grande nebulosidade e precipitação pluvial

proporcionam menores contrastes térmicos corroborando com o estudo de Costa e Mattos(1998).

Figura 9 - Comparação das temperaturas máximas do 1° e 2° semestre de cada ano, baseados nos dados de temperatura do INMET, durante os anos de 1973 a 2015. Legenda: T.Máx: Temperatura máxima média.

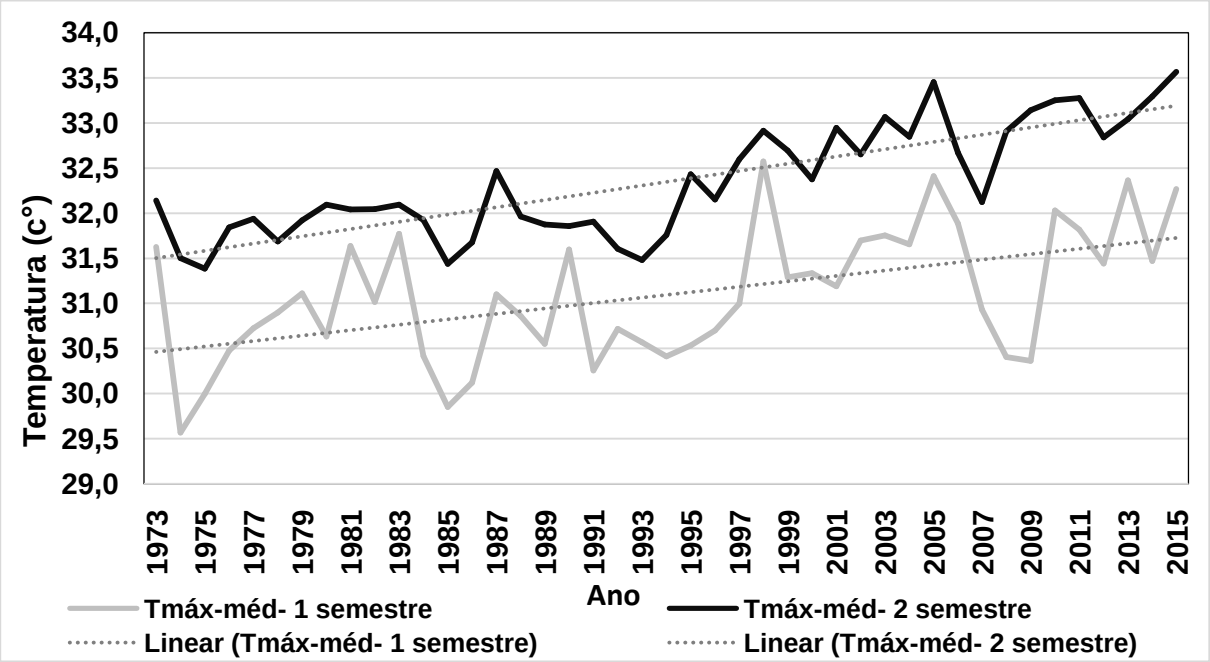
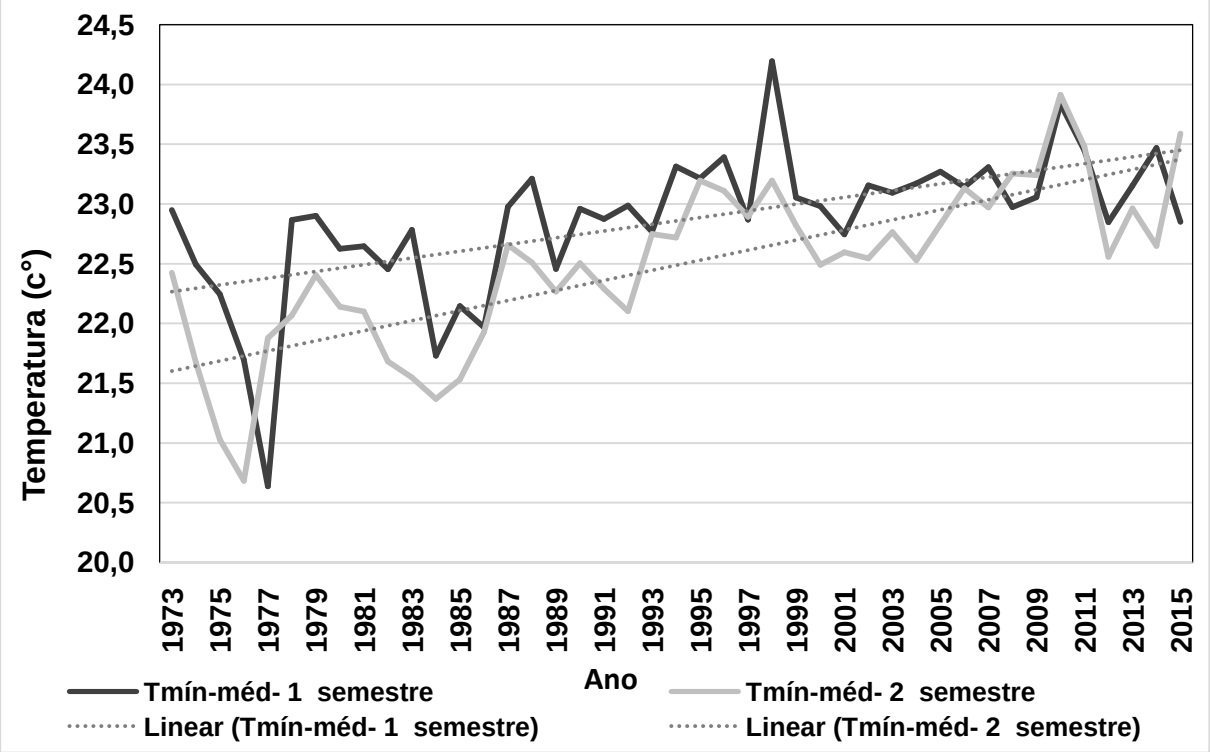


Figura 10 - Comparação das temperaturas mínimas do 1° e 2° semestre de cada ano, baseados nos dados de temperatura do INMET, durante os anos de 1973 a 2015. Legenda: T.Mín: Temperatura mínima média.

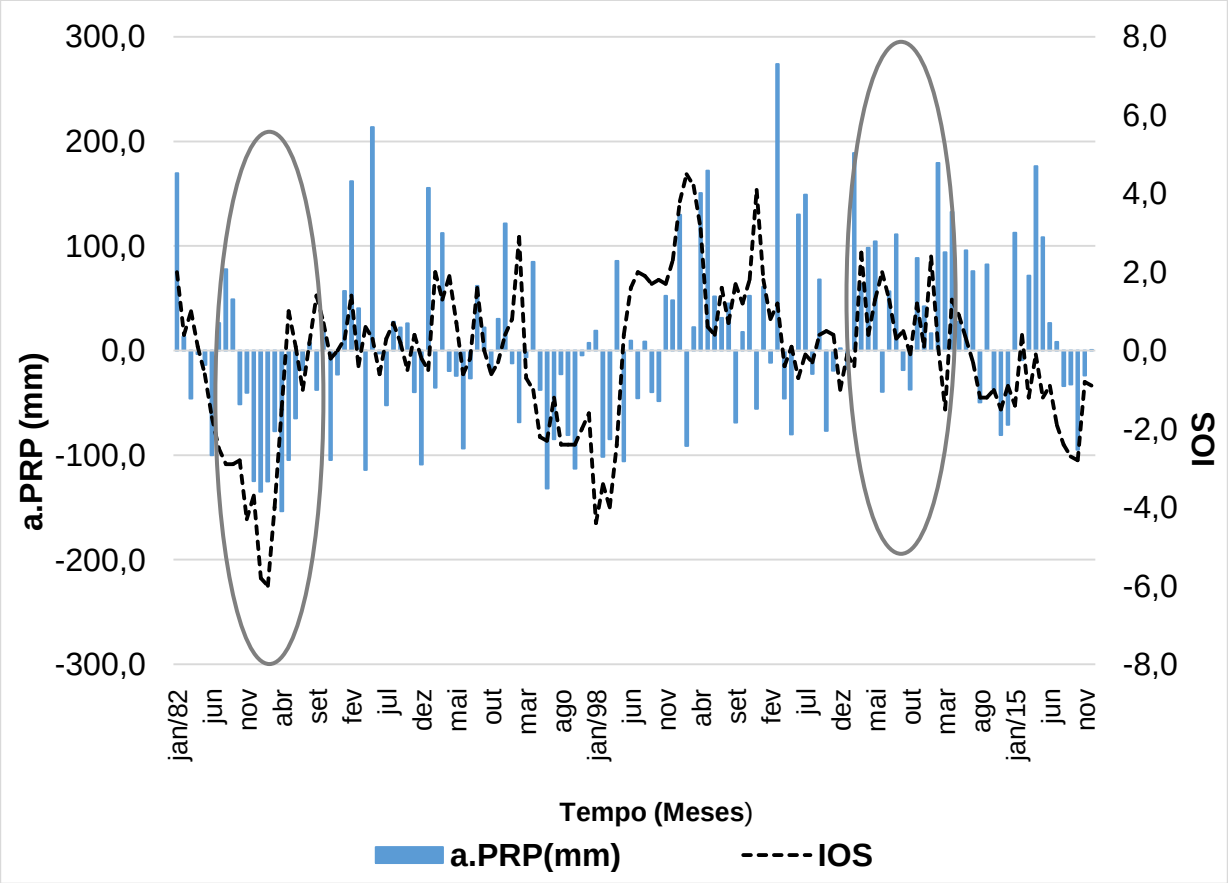


Fonte: Da autora

4.2.3 Análise mensal

Na figura 11 observa-se os anos de 82/83 na escala mensal, a influencia do El Niño atuando sobre a precipitação durante o segundo semestre do ano de 82 entrando para 83, causando anomalias negativas de precipitação, corroborando com o baixos valores de indice de oscilação sul. Enquanto que os anos de 2013, observa-se excedentes de precipitação tanto no primeiro semestre do ano, com influencia da La Ninã somado com sistemas meteorologicos de diferentes escalas que atuam em Belém neste periodo.

Figura 11- Anomalias de precipitação mensal para anos selecionados em relação ao Índice de oscilação sul, baseados nos dados de temperatura e precipitação do INMET e IOS da NOAA, durante os anos de 1982 a 2015. Legenda: a.PRP: Anomalia de precipitação; IOS: Índice de oscilação Sul.

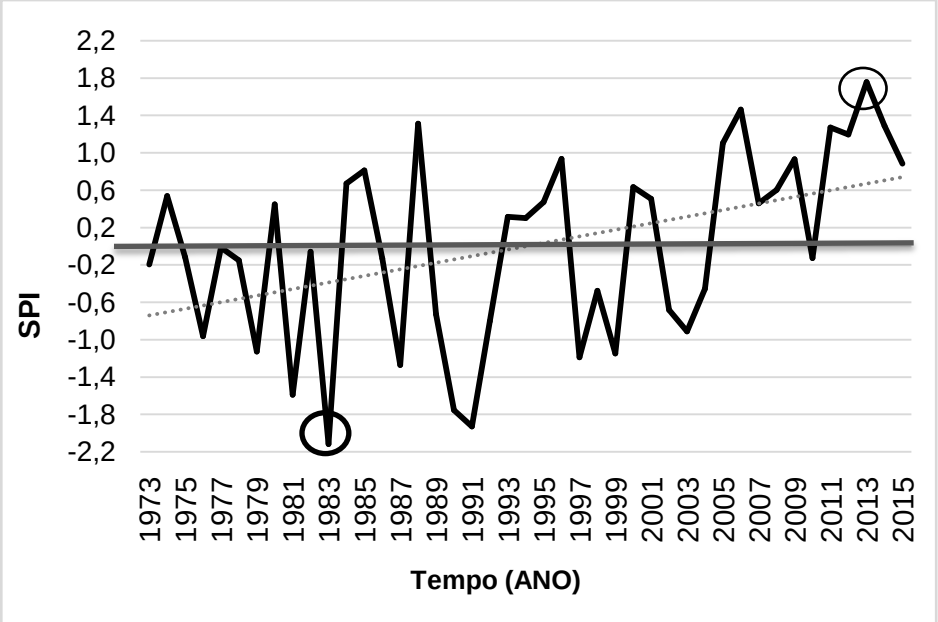


Fonte: Da autora

4.3 **Análise da Precipitação utilizando SPI**

Na Figura 12 encontram-se as séries temporais do SPI na escala anual para Belém, no período de 1973 a 2015.Percebe-se que o mínimo (máximo) valor observado foi em 1983 (foi em 2013), com SPI de -2,12 e déficit de chuva de 798 mm, 1,76 e excedente de 663 mm respectivamente, sendo 83 classificado como um ano de seca extrema e 2013 de chuva severa, visto que houve influência dos fenômenos El niño (La niña). Este ano de 1983 esteve associado a um forte El Niño. Em estudo sobre a importância da variabilidade do sinal entre eventos do ENOS, reportado por Souza e Ambrizzi (2002), sobre a América do Sul mostra que as tele conexões da fase quente/fria do ENOS indicam déficit/excesso de precipitação sobre a região amazônica e nordeste brasileiro.

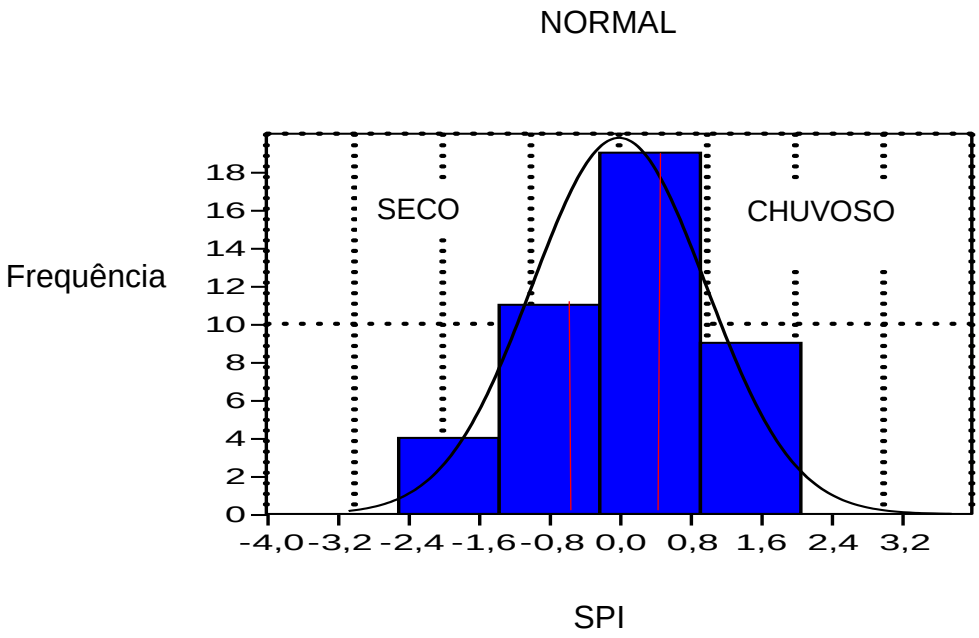
Figura 12 - Séries temporais do SPI na escala anual para Belém-PA, no período de 1973 a 2015.



Fonte : Da autora

A figura 13 mostra a classificação e distribuição de frequência para os dados de SPI, observa-se que os valores normais entre -0,49 e 0,49 demonstram maior frequência, os eventos de chuva demonstram a segunda maior frequência de acordo com a classificação de McKee,1993. Neste sentido, a partir dos resultados, pode ser dizer que a maior parte dos eventos estiveram classificadas na faixa do normal ao longo da série.

Figura 13 - Distribuições de frequência para o SPI-12 em Belém-PA



Fonte: Da autora

5 **CONCLUSÃO**

Com a explosão demográfica na cidade de Belém, em meados de 1985, devido a cidade ser considerada um grande centro urbano, os fatores antrópicos possivelmente contribuíram para alterações no padrão de nebulosidade e consequentemente de precipitação, aumento da temperatura do ar, devido a constante substituição das superfícies naturais por artificiais, mudanças no uso da terra, crescimento desordenado de forma vertical. Esses fatores antrópicos combinados com os fatores naturais, como os eventos de El Niño e La Niña, causam alterações nos padrões de chuvas, provocando secas e enchentes no norte e nordeste da Amazônia. Desta forma, as principais conclusões são:

- ✓ Aumento no crescimento populacional abrupto provoca aumento na precipitação e nas temperaturas máximas, e mínimas anuais em Belém, a partir da década de 80;
- ✓ Os anos de 1983 e 2013 (IOS: -1,3 (El Niño) e 0,8 (La Niña)) apresentam os maiores extremos climáticos seco e úmido, observados em Belém, desde 1973, porém não estão relacionados com os maiores IOS;
- ✓ A precipitação sazonal ocorre em média de 60% e 40% no período chuvoso, e menos chuvoso, respectivamente;
- ✓ As temperaturas máximas (mínimas) sazonais apresentam maior (menos) amplitude, a partir da década de 80;
- ✓ Os maiores extremos climáticos de precipitação, seco (1983) e úmido (2013) indicaram semelhança na persistência do padrão em escala mensal, mas com diferente magnitude do IOS. Em suma, o El Niño Oscilação Sul não pode ser considerado a principal forçante atmosférica na modulação do clima em Belém, mas, a sua combinação com diferentes escalas de processos atmosféricos.

REFERÊNCIAS

ALMEIDA JUNIOR, N. L. *Estudo de clima urbano*: uma proposta metodológica. Cuiabá. 2005. 94 f. Dissertação (Mestrado) - Departamento de Física, Instituto de Ciências Exatas e da Terra, Universidade Federal do Mato Grosso. 2005.

BARROS, S. S. *Precipitação no centro de lançamento de Alcântara*: aspectos observacionais e de modelagem. 2008. 112 f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2008. (INPE-15319-TDI/1362).

BARROS, D. M.; LOBATO, M. M.; CAMPOS, F. C.; PENHA, L. R.. Fluxos migratórios e seus processos de expansão e periferização na cidade de Belém e sua região metropolitana. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS POPULACIONAIS, 2008, Caxambu. *Anais*... Caxambu:APEB, 2008. v. 1. p. 1-8.

CAPISTRANO, V. B. *Precipitação na América do Sul associada às variabilidades de baixa frequência nas TSM dos oceanos Atlântico e Pacífico*. 2012. 169f. Tese (Doutorado em Meteorologia) – Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2012.

COHEN, J.C.P.; DIAS, M.A.F.S.; NOBRE, C.A. Aspectos climatológicos das linhas de instabilidade na Amazônia*.Climanálise,Boletim de Monitoramento e Analise Climatica,*v.4, p. 34-40,INPE/CPTEC,1989.

COSTA, A. C. L.da; MATTOS, A. Estudo da Ilha de calor urbana em cidade de grande porte na região Equatorial. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA; CONGRESSO DA FLISMET-CBMET., 7., 1998, Brasília, DF. *Anais...* Rio de Janeiro: SBMET, 1998. Disponível em: <http://www.cbmet.com/cbm-files/13-23b7611a153884eb5e91cb03ae2fb12c.pdf>. Acesso em : 20/02/1017

COSTA, A.C. da; MATTOS, A. Variações sazonais a ilha de calor urbana na cidade de Belém-PA.In: CONGRESSO LATINA AMERICANO E IBÉRICO DE METEOROLOGIA, 9., 2001, Buenos Aires, Argentina. *Anais...* Buenos Aires, Argentina: SBMET, 2001. p 2357-2365.

CORRÊA, L.V. *Análise dos efeitos térmicos de superfície na cidade de Belém-Pará-Brasil utilizando imagens de satélite*. 2011. 80 f. Dissertação (mestrado) - Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, 2011.

DIAS, M. B.; SILVA, M. J. B. O Bairro da Cidade Velha*:* as transformações em curso e seus desdobramentos para uma análise Urbana. In: REUNIÃO ANUAL DA SBPC, 59.*Amazônia:*desafio nacional*.*Belém:SBPC, 2007.

FEITOSA, S. M. R.; GOMES, J. M. A.; MOITA NETO, J. M; ANDRADE, C. S. P. Consequências da urbanização na vegetação e na temperatura da superfície de Teresina -Piaui. *Revista da Sociedade Brasileira de Arborização Urbana*, Piracicaba – SP, v.6, n.2, p.58-75, 2011.

GOLDREICH, Y. Urban climate studies in Johannesburg, a sub-tropical city located on a ridge - a review. *Atmospheric Environment*, v. 26B, n. 3, p. 407-420, 1992.

GARTLAND, L. *Ilhas de calor*: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. São Paulo-SP, Ed. Oficina de Textos, 2010.

GERSHUNOV, A.; BARNETT, T.P. Interdecadaloscillation of ENSO teleconnections. *Bulletinof American Meteorology Society*, v.79, p.2715-2725,1998.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE).*Cidades.* Disponível em:<http://www.ibge.gov.br/cidadesat>. Acessado em: 22/08/2016

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA (INMET).*Estações automáticas*. Disponível em: <http://www.inmet.gov.br>. Acessadoem: 20/03/2016.

KAYANO, M. T.; ANDREOLI, R. V.; SOUZA, R. A. F. Relations between ENSO and the South Atlantic SST modes and their effects on the South American rainfall. *International Journal of Climatology*,v. 33, n. 8, p. 2008-2023, 2013.

KOUSKY, V.E.; KAYANO, M.T. Principal modes of outgoing long wave radiation and 250-mb circulation for South American Sector. *J. Climate*, v.7, p. 1131-1143, 1994

MOURA, M.N.*Variabilidade atmosférica tempo-espaço da zona de convergência intertropical*: uma análise global.2010. 45 f. Trabalho de Conclusão de Curso (Graduação em Meteorologia) – Faculdade de Meteorologia, Instituto de Geociências, Universidade Federal do Pará, Belém, Terceiro Período de 2010.

MAITELLI, G. T.; ZAMPARONI, C. A. P. G.; LOMBARDO, M. A. Ilha de calor em Cuiabá-MT: uma abordagem de clima urbano. In: ENCONTRO NACIONAL E ESTUDOS SOBRE MEIO AMBIENTE, 3, Londrina-PR. *Comunicações...* Londrina - PR, 1991.p.561-571

MANTUA, N.J.; HARE, S.R.; ZHANG Y.; WALLACE, J.M.; FRANCIS R.C: A Pacific interdecadal climate oscillation with impacts on salmon production.*Bulletin of the American Meteorological Society*, v.78, n.6, p.1069-1079, 1997

MARENGO, J. A; NOBRE, C. A. Clima da região Amazônica. In: CAVACALTI, I. F. A. et al. (org.). *Tempo e clima no Brasil*. São Paulo: Ed. Oficina de Textos, 2009. p.197 - 212.

MASCARÓ, L; MASCARÓ, J. *Ambiência urbana* – urbanenvironment, 3. ed. Porto Alegre: MasquatroEditora, 2009. 200p.

NATIONAL OCEANIC AND ATMOSPHERIC ADMINISTRATION (NOAA).*Souther index oscilation (SOI)*. Disponível em: <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/soi/>.Acessado em 23/02/2017.

OLIVEIRA, M.C.F.; SOUZA JÚNIOR, J.A.; CRUZ, P.P.N.; SOUZA FILHO, J.D. Climatologia urbana da cidade de Belém-Pará, através das precipitações e temperaturas do ar, das normais climatológicas de 1941 a 1970, 1971 a 2000 e da

normal provisória de 2001 a 2015.*Revista Brasileira de Geografia Física*, v.09, n. 03, p. 803-819, 2016..

OKE,T. R. *Boundarylayerclimates*. 2ed. London: Routledge, 1987.

OLIVEIRA, J. M. G. C. A verticalização nos limites da produção do espaço: parâmetros comparativos entre Barcelona e Belém. COLÓQUIO INTERNACIONAL DE GEOCRÍTICA, 9., 2007, Porto Alegre-RS. *Anais*.... Porto Alegre-RS, 2007. p. 1-15

ROPELEWSKI, C. F.; HALPERT, M. Global and regional scale precipitation patterns associated with the El Niño/Southern oscillation. *Montlhy Weather Review*, v.115, p.1606-1626, 1997.

SILVA, J. de F.*El Niño*: o fenômeno climático do século.Brasília, DF: Thesaurus, 2000. 139p.

SOUZA JÚNIOR, J. A. *Estudo da temperatura nos períodos chuvosos e menos chuvosos no aeroporto de Belém-PA, em anos de LA Niña*. 2008. 47f. TCC (Graduação em Meteorologia) - FAMET, IG, UFPA, 2008.

SANTOS, S. R. Q.; VITORINO, M. I.; BRAGA, C. C. O efeito de brisas marítimas na cidade de Belém-PA: utilizando análise em multivariada. *Revista Brasileira de Geografia Física*v.05, n 05 (2012) 1110-1120.

SANTOS, S. R. Q.; BRAGA, C.C. ; SANTOS, A. P. P. ; BRITO, J. I. B.; CAMPOS, T. L. O. B. Classificação de eventos extremos de precipitação em múltiplas escalas de tempo em Belém-PA: utilizando o índice de precipitação normalizada. Revista Brasileira de Geografia Física, v. 7, p. 629-635, 2014.

SANTOS, D. M. Influência dos fenômenos El Niño e La Niña na precipitação do estado do Amazonas. In: WORKSHOP DE AVALIAÇÃO TÉCNICA E CIENTÍFICA DA REDE CTPETRO AMAZÔNIA, 2., 2006, Manaus. [*Anais...*] Manaus: TPetro, 2006.

SANTOS, F.A.A.; ROCHA, E.J.P. Alagamento e inundação em áreas urbanas. estudo de caso: cidade de Belém. *Revista Geoamazônia*, v. 2, p. 33-55, 2013.

SIQUEIRA, A. H. B.; SOUZA, L. O.; VAZ, J. C. M.; MOLION, L. C. B.; BERNARDO, S. O.; SALVADOR, M. A.; OLIVEIRA, J. P. P. Impactos do ENOS no Norte e Nordeste brasileiros e sua relação com a oscilação decadal do Pacífico. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 14., 2006, Florianópolis, SC. *Anais...*Rio de Janeiro, 2010. 1 CD-ROM.

TORRENCE, C.; COMPO, G. P. A practical guide to wavelet analysis. *Bulletin of the American Meteorological Society*, v. 79, n. 1, p. 61-78, 1998.

TOBIAS, A. J. S.Dinâmica migratória paraense no período 1980-1991. In: ENCONTRO NACIONAL DE ESTUDOS DE POPULAÇÃO,13.,2002, Outro Preto-MG, 2002. [*Anais...*]. Disponível em: <http://www.abep.nepo.unicamp.br/docs/anais/pdf/2002/GT_MIG_PO44_Tobias_texto.pdf>. Acesso em 10/03/2017.

UVO, C. B. *A Zona de convergência intertropical (ZCIT) e sua relação com a precipitação na região Norte do Nordeste brasileiro.* 1989. 88f. Dissertação (Mestrado em Meteorologia) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais –INPE, São José dos Campos-SP, 1989.

VERDON, D.C.; FRANKS, S.W. Long-term behavior of ENSO: interactions with PDO over the past 400 years inferred from paleoclimatic records. *Geophysical Research Letters*, v. 33, p. L06712 , 2006. DOI 10.1029/2005GL025052.