

ANÁLISE CLIMÁTICA DA VARIABILIDADE NATURAL E ANTRÓPICA PARA UMA METRÓPOLE AMAZÔNICA

CLIMATE ANALYSIS OF NATURAL VARIABILITY AND ANTHROPOIC FOR AN AMAZON METROPOLIS

ANÁLISIS CLIMÁTICA DE LA VARIABILIDAD NATURAL Y ANTRÓPICA PARA UNA METRÓPOLI AMAZÓNICA

Luciana dos Santos Cirino¹

Maria Isabel Vitorino²

Bruno Silva de Holanda³

Resumo: O estudo visa a analisar as alterações da temperatura máxima e mínima do ar, a partir do crescimento populacional e eventos climáticos naturais (El Niño e La Niña) ao longo dos anos em Belém, identificando os extremos climáticos de temperatura do ar nas escalas mensal e anual para a cidade. Foram utilizados dados atmosféricos fornecidos pelo INMET e dados populacionais disponibilizados pelo IBGE, aplicados para obtenção da variabilidade socioambiental. Os valores anuais de temperatura máxima e mínima demonstram tendência de aumento ao longo dos anos, principalmente a partir década de 90, corroborando com o período de aumento populacional e redução de áreas vegetadas na cidade.

Palavras-chave: Variabilidade. Temperatura. Metrópole.

3

Abstract: The study aims to analyze the changes in maximum and minimum air temperature, by identifying the city's climatic extremes of air temperature on monthly and annual scales, considering the population growth and natural climatic events (El Niño and La Niña) over the years in Belém. We used atmospheric data provided by Inmet and population data made available by IBGE, later applied to obtain the socio-environmental variability. The annual values of maximum and minimum temperature show a tendency of increase over the years, mainly since the 90's, corroborating with the period of population increase and reduction of vegetated areas in the city.

Keywords: Variability. Temperature. Metropolis.

Resumen: El estudio tiene como objetivo analizar los cambios en la temperatura máxima y mínima del aire, desde el crecimiento poblacional y los eventos climáticos naturales (el niño y la niña) a lo largo de los años en Belém, identificando los extremos climáticos de la temperatura del aire en las escalas mensuales y Anual a la ciudad. Se utilizaron datos atmosféricos proporcionados por Inmet y datos poblacionales disponibles por IBGE, aplicados para obtener la variabilidad socioambiental. Los valores anuales de temperatura máxima y mínima muestran una tendencia de aumento a lo largo de los años, principalmente a partir de la década de 90, corroborando con el período de aumento de la población y la reducción de las áreas vegetadas en la ciudad.

Palabras-clave: La variabilidad. Temperatura. Metropolis.

Envio 03/04/2018 Revisão 04/04/2018 aceite 27/12/2018

¹ Graduada em Meteorologia - Universidade Federal do Pará. lucycirino2@gmail.com

² Doutora em Meteorologia - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. vitorino@ufpa.br

³ Graduado em Engenharia Florestal - Universidade Federal Rural da Amazônia.

bruno.s.holanda@gmail.com

Introdução

Com maior frequência estudos vêm mostrando que o Brasil é vulnerável às mudanças climáticas, especialmente quanto aos extremos climáticos de precipitação e temperatura, os quais vêm se destacando no mundo devido as consequências causadas por eles, tanto para o ramo econômico quanto social. Sendo abordado pelos autores Nobre, Sampaio e Salazar (2007), que as diversas formas no uso e cobertura do solo associados as atividades antrópicas são responsáveis pelas prováveis alterações no clima, como: o aumento de temperatura do ar, mudanças nos padrões do vento, redução ou aumento da precipitação em algumas localidades, redução da umidade do ar e do solo, e variações na incidência de radiação solar.

Desta forma, as regiões que demonstram maior vulnerabilidade compreendem a Amazônia e o Nordeste brasileiro, como mostrado nos estudos de Marengo et al., (1996); Marengo et al., (2008), afirmando que 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 no clima global, além disso, um fator importante a destacar é o processo de urbanização de uma cidade, onde o crescimento urbano, através de atividades humanas são capazes de provocar alterações meteorológicas de pequena e média escala, e 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., 2011; GARTLAND, 2010).

4

Neste sentido, o município de Belém vem demonstrando aumento populacional e urbano nos últimos anos, resultando em transformações na paisagem e consequentemente alterações nas variáveis meteorológicas, onde de acordo com o Anuário Estatístico do Município (2011) foram observadas alterações da cobertura vegetal através de imagens do satélite LANDSAT - TM, onde em 1996 era de 54,73%. Tornando-se uma situação preocupante, quando se considera a velocidade do desmatamento, a crescente ocupação urbana e a diminuição das florestas remanescentes, restando florestas secundárias, com funções e estruturas alteradas. Moreira (2017) também ressalta que é possível notar o

aumento populacional no município de Belém através de dados da Pesquisa Nacional por Amostra de Domicílio – PNAD (IBGE, 2016), onde o ano de 2016 apresentou uma população estimada 1.446.042 habitantes, e que a crescente ocupação e transformações da paisagem dentro do cenário urbano modificam os elementos naturais, como solo, temperatura, umidade, nebulosidade, mecanismos do vento, pluviosidade, flora e fauna, os quais, na maioria das vezes, são responsáveis pelas condições de conforto ambiental.

Pesquisas constataram que as áreas de maior adensamento da cidade apresentam uma maior concentração de gases e materiais particulados, lançados principalmente pelos automóveis, indústrias e demais fontes poluentes, colaborando para um possível aumento da temperatura da superfície (JAUREGUI, 1997), além disso, em um período longo de alterações das propriedades químicas da atmosfera pode-se observar alterações no clima. Um dos principais fatores que contribui para formação de ilhas de calor foi observado por Oke (1987), onde nas cidades que apresentam materiais de diferentes propriedades térmicas, que somado a redução da vegetação, maiores quantidades de áreas pavimentadas, concentração de gases e materiais particulados, podem alterar o padrão de absorção, e a taxa de albedo de um corpo (capacidade de refletividade), que são fatores antrópicos capazes de alterar o padrão de temperatura de um local.

5

Variabilidade Natural na região

Estudos de Weickmann (1983); Rasmusson; Akin (1995) e Vitorino (2002) mostram que não só as ilhas de calor são responsáveis por alterações na temperatura e mudanças do clima urbano, havendo relação também com a climatologia atmosférica (natural) nas escalas interanuais e intrazonais, como exemplo do fenômeno El Niño Oscilação Sul (ENOS) e Zona de convergência Intertropical (ZCIT), respectivamente, que atuam em Belém. Neste sentido, havendo a possibilidade de mudanças climáticas globais, geradas pela ação antropogênica, juntamente com a variabilidade natural, tem motivado a realização de pesquisas climáticas contemporâneas (MITTERSTEIN, 2007).

Um exemplo disto são as projeções de diversos modelos, que indicam eventos ENOS mais intensos, havendo evidências observacionais para essa projeção (BOER et al.,

2000) e através de simulações há o aumento das temperaturas em torno de 1,7 ° C em 2050 e 2,7 ° C em 2100, onde o ENOS está associado com algumas das mais pronunciadas variabilidades interanuais dos padrões climáticos em muitas partes do mundo.

E importante salientar, que El Niño/La Niña são as fases positiva/negativa do fenômeno ENOS que representam o aquecimento/resfriamento, respectivamente, de forma 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), e segundo TRENBERTH (1997) define-se a presença do evento El Niño quando a anomalia de temperatura das águas da região 3.4 (5°N 5°S, 120° 170°W) excede a 0.4°C de magnitude e uma duração superior a 6 meses, com intervalos de 2 a 7 anos. Esse fenômeno alteram as condições climáticas em diversas partes do mundo, 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, e maiores valores de temperatura do ar, estando associados com a estação menos chuvosa na Amazônia (MARENGO, 1992; HASTENRATH, 1993; LOPES, 2013). E La Niña intensifica a atividade convectiva, 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.

6

Kousky et al. (1984) e Kousky e Ropelewski (1989) sugeriram que a maioria das secas no Norte-Nordeste do Brasil, quando associado a El Niño, são manifestações de alterações da célula Walker, situada de forma anômala sobre o Atlântico Norte, incluindo a Amazônia oriental e norte do Nordeste brasileiro.

Neste sentido, o objetivo deste trabalho é investigar as alterações da temperatura máxima e mínima do ar, a partir do crescimento populacional e eventos climáticos naturais (El Niño e La Niña) ao longo dos anos em Belém, identificando os extremos climáticos de temperatura do ar.

Metodologia

Dados climatológicos

Para seleção e identificação dos eventos de extremos climáticos de temperatura do ar (máxima e mínima) foram utilizados dados mensais das temperaturas máximas; mínimas, e precipitação, utilizando o banco de dados de 1973 a 2015, obtidos da estação meteorológica do INMET (Instituto Nacional de Meteorologia). Para isso, foi calculada a média climatológica das temperaturas para os dados de 43 anos; média do primeiro e segundo semestre de cada ano, e anomalias anuais ($X_i - X$), sendo X_i a variável observada anual e X a média climatológica, para mostrar os quantitativos anuais, se os valores se afastam da média climatológica e se os desvios são negativos (ano seco) ou positivos (ano úmido) para a região.

Os dados de IOS (Índice de oscilação sul) foram obtidos no site CPC/NOA, utilizando o período de 1973 a 2015, afim de identificar as variabilidades naturais (anos de El Niño e La niña)

Análise dos dados populacionais e correlações

7

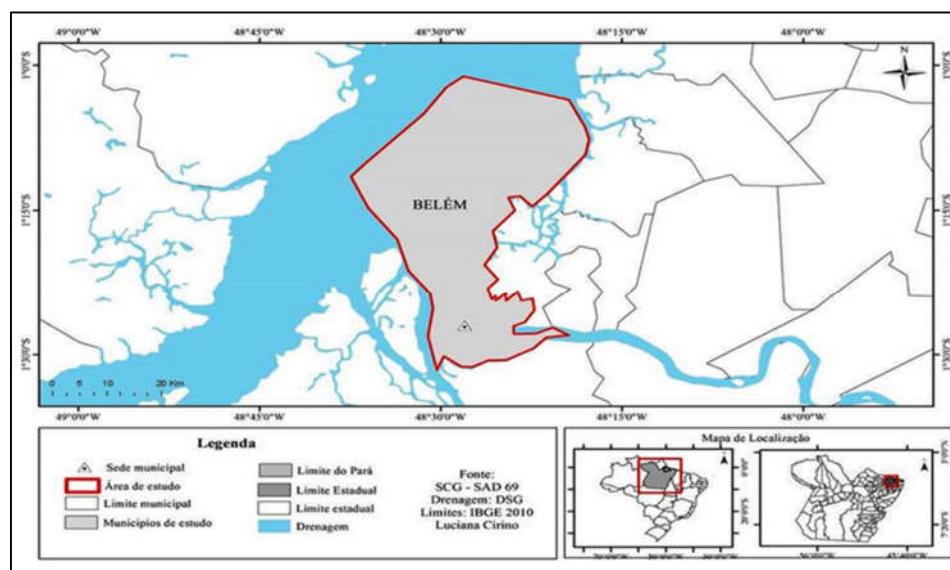
Foram utilizados dados populacionais anuais (1955-2015) do IBGE (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) para quantificar o aumento populacional na cidade de Belém durante os últimos anos. Com os valores obtidos, foram confeccionados gráficos e que posteriormente foram analisados, utilizando o editor de planilha EXCEL, para observar as alterações nos valores encontrados, comparando as temperaturas máximas e mínimas anuais e semestrais para selecionar os eventos de El Niño e de La Niña associados ou não aos anos denominados de extremos climáticos; e dados populacionais com intervalo de 5 anos (1975, 1980 e 1985), após isto, dados de anos consecutivos (1991 a 2015) para relacionar com as temperaturas máximas e mínimas. Sendo utilizado a técnica estatística de análise de regressão linear simples, correlação, tendência e gráficos de dispersão, afim de verificar as tendências positivas ou negativas e possíveis correlações entre crescimento populacional e variação temporal das temperaturas do ar.

Geoprocessamento e determinação do Índice de Vegetação

Foi utilizado a ferramenta NDVI (Normalized Difference Vegetation Index), que é uma técnica resultante da combinação dos diferentes níveis de refletância de bandas em imagens de satélites, e suas respostas espectrais do vermelho e infravermelho, para possibilitar a visualização de áreas com redução de vegetação. Os mapas foram elaborados com imagens de Landsat dos anos de 1989 e 2015, manuseados com software ArcGIS.

Área de Estudo

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



Fonte: Da autora

A cidade de Belém, localizada no estado do Pará, nas coordenadas de latitude 01° 23' S, longitude 48° 29' W, às margens do Rio Guamá e da Baía do Guajará (Figura 1), possuindo 1 059,458 km², considerada uma cidade de clima quente e úmido - clima equatorial (Af) de acordo com a classificação climática de Köppen-Geiger, sofrendo influência direta da floresta amazônica presente; do sistema meteorológico ZCIT (Zona

de convergência intertropical) e fenômeno de interação oceano-atmosfera ENOS (RASMUSSON; AKIN 1995; VITORINO, 2002).

A região metropolitana de Belém, que nas últimas décadas vem apresentando um grande aumento populacional e econômico, de acordo com Costa e Mattos (1998); Oliveira (2007), com população de aproximadamente 1.439.561 habitantes baseado nos dados do IBGE (2015).

Luz (2013), cita que Belém é conhecida como a “Cidades das Mangueiras”, mas nas últimas décadas pode - se constatar mudanças na geografia da cidade. As alterações na qualidade ambiental urbana de Belém podem ser constatadas pela expansão horizontal da cidade com o aumento das áreas construídas, pavimentação asfáltica, crescimento da verticalização na área central, aumento da frota de veículos com congestionamento das vias públicas, poluição do ar, poluição sonora e retração da vegetação urbana. Nesta ótica, com a redução da vegetação, há um impacto significativo na vida dos habitantes e ecossistemas em geral, uma vez que Belém situa-se próxima da linha do equador, recebendo uma grande quantidade de insolação por um período anual, e com a perda da cobertura vegetal reduz-se a umidade relativa do ar, elevando a temperatura da cidade.

9

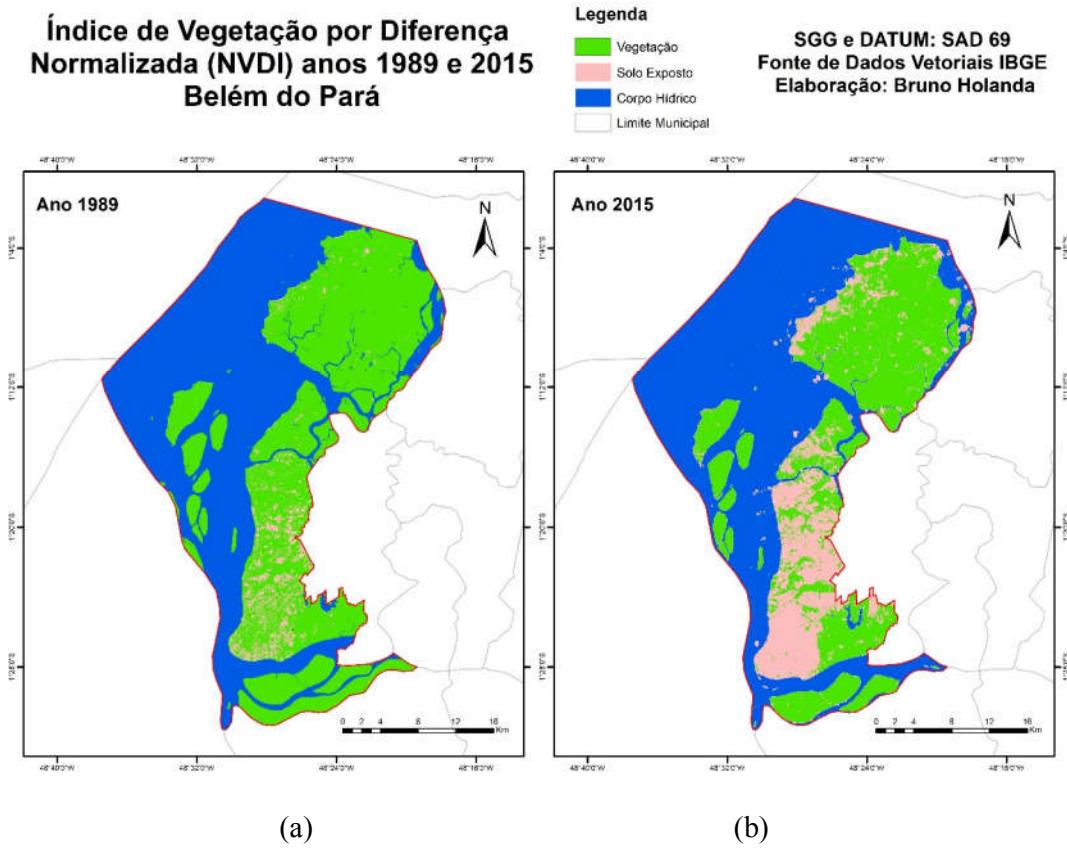
É importante ressaltar que um aumento populacional é presente na cidade de Belém, e consequentemente há uma expansão da malha urbana, onde Nobre, Sampaio e Salazar (2007) abordam que os riscos dos impactos das mudanças climáticas na Amazônia podem aumentar ainda mais quando somados ao aquecimento global, as alterações de vegetação, resultantes das mudanças dos usos da terra, como: o desmatamento das florestas tropicais e de cerrados, o efeito de urbanização associado ao crescimento populacional, remoção de áreas verdes naturais e substituição por áreas pavimentadas e superfícies escuras, 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, como relatado no estudo de Oliveira e Souza Júnior (2016), onde as fortes chuvas que ocorrem na região são principalmente no período mais chuvoso, influenciados pela ZCIT e no período menos chuvoso a precipitação observada na região é devido, principalmente, aos efeitos locais, como

aquecimento da superfície, que por sua vez provoca a formação de nuvens na região e chuvas abundantes.

Resultados e discussões

Segundo dados do INPE, em 2000 a área de desmate foi de 216 mil km², e no ano de 2015 com área de 249 mil km². Este desmate pode estar associado a fatores de dinâmicas na cobertura vegetal da área de estudo. Na figura 2 visualiza-se o Índice da Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) e a maior presença de solo exposto de 1989 a 2015. Comparando as imagens (a) e (b), é possível observar que no ano de 1989 (a), onde a urbanização na cidade ainda não havia se consolidado, sendo presente maior quantidade de áreas vegetadas, enquanto que em 2015 (b), há maior quantidade de solo exposto, desta forma, podendo contribuir para o surgimento de ilhas de calor na cidade, corroborando com Souza (2015), onde os processos de urbanização e mudanças nos usos da terra na cidade de Belém se apresenta como um dos fatores responsáveis pela mudança de seu microclima.

Figura 2- Mapa de NDVI de 1989 e 2015 do município de Belém do Pará.



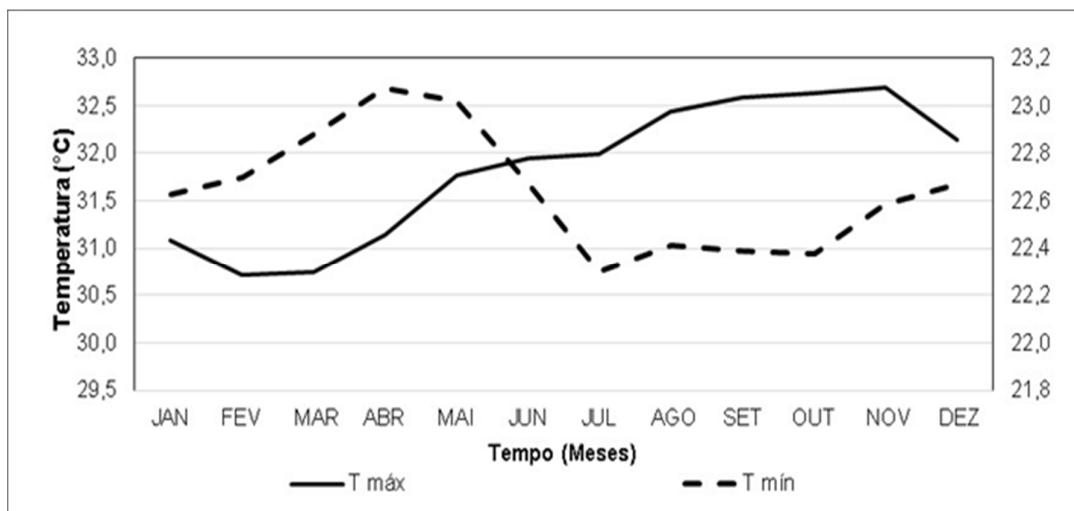
Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

A temperatura do ar média anual para Belém (Figura 3) é em torno de 26,5 °C, com temperatura média mensal de março em torno de 25,7 °C e outubro 27,9 °C, máximas e mínimas variando entre 32° e 23 °C, com média de precipitação anual em torno de 3.112 mm (INMET, 2016). Observa-se que ao longo dos anos, utilizando médias de temperaturas máxima e mínima, e de acordo com a climatologia da cidade de Belém, as temperaturas máximas são menores durante os meses de janeiro a maio (período chuvoso/inverno amazônico) 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. Estando de acordo com o estudo de Oliveira e Souza Júnior (2016), onde em

Belém, em média, o mês de novembro é o mais quente, e fevereiro é mais frio, onde as máximas temperaturas do ar são observadas durante o mês de novembro, e mínimas em outubro, enquanto os dados pluviométricos mostram que o mês de março apresentam maiores valores, e novembro menores.

E em relação ao altos valores de temperatura máxima (T máx) no segundo semestre do ano (período menos chuvoso) de junho a dezembro, e mínimos de temperatura mínima (T mín), se devem a redução de nebulosidade (céu com poucas nuvens) durante esses meses, facilitando a perda da radiação de onda longa para o espaço, principalmente durante a noite, corroborando com o estudo de Costa (2001), onde os menores valores de T 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). Nota-se uma evidente relação entre a temperatura média mínima e o período chuvoso, que ocorre durante o mês de março, dentro do quadrimestre chuvoso (JFMA). Este comportamento mostra-se diretamente relacionado às mudanças no balanço de radiação em superfície (resfriamento radiativo) e consequentemente resfriamento da atmosfera (OLIVEIRA E SOUZA JÚNIOR, 2016). Onde, Oke (1987) cita que a perda de calor para a atmosfera e para o espaço ocorre durante a noite, por radiação infravermelha, sendo parcialmente compensada nas cidades pela liberação de calor das fontes antropogênicas, tais como veículos, indústrias e construções em geral.

Figura 3 - Climatologia das temperaturas máximas, e mínimas 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.



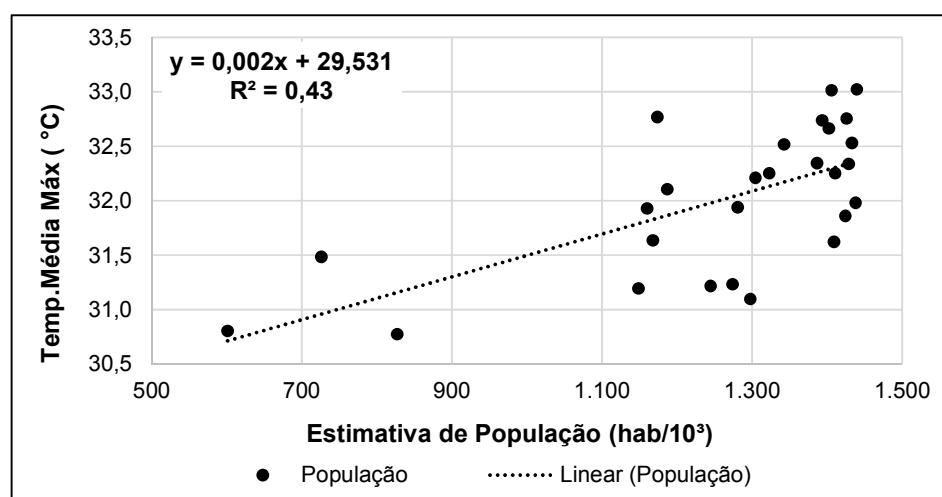
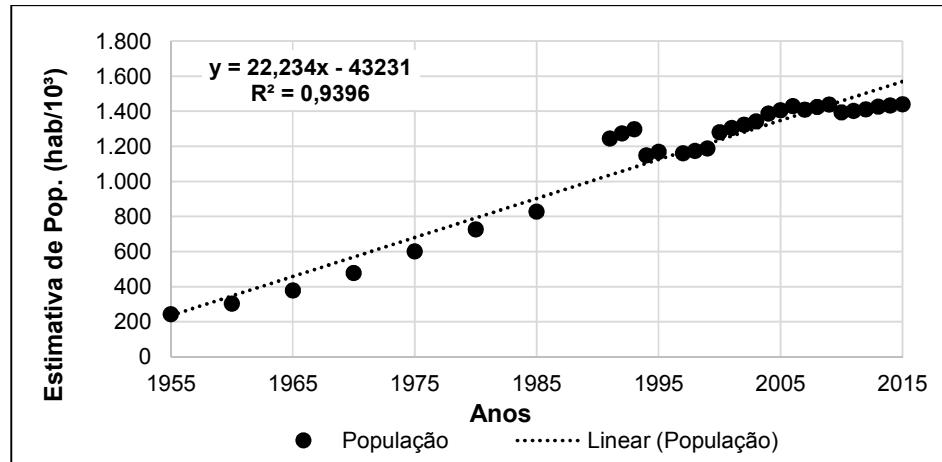
Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

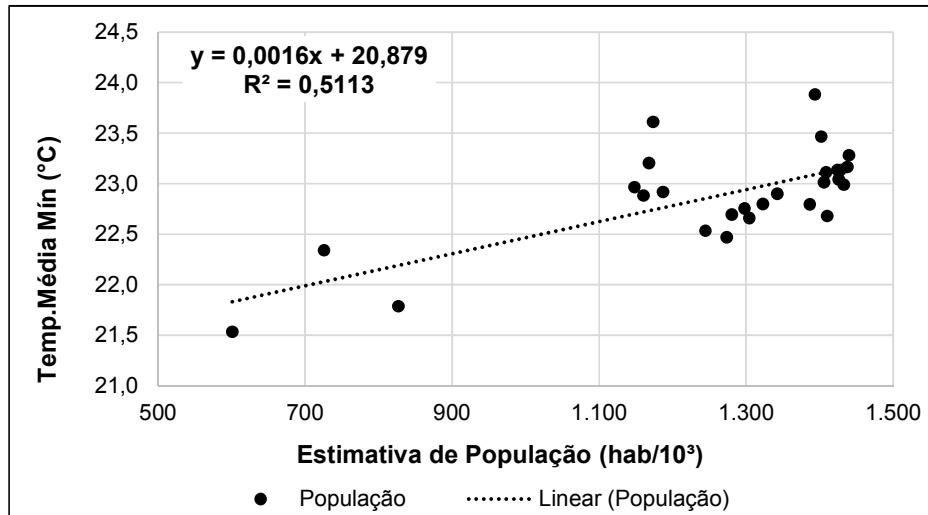
Por meio da regressão linear simples na figura 4, entre estimativa de população e anos (a); temperatura máxima e mínima versus população (b e c), foram obtidos os coeficientes de correlação (r) igual a 0,96; 0,65 e 0,71, respectivamente, indicando uma relação positiva entre as variáveis, que tendem a aumentar no mesmo sentido. Além disso, o coeficiente de determinação (r^2) foi equivalente a 0,94 (Estimativa populacional e anos), 0,43 e 0,51 entre as variáveis temperatura do ar máxima e mínima com aumento populacional, respectivamente. Significando que essa tendência de aumento nas temperaturas máximas e mínimas em Belém, em parte, podem ser justificadas pelo aumento populacional com o passar dos anos, devido as maiores demandas por moradia, logo, são observados como consequências das diferentes formas de ocupação: mudanças na cobertura vegetal, como o desmatamento, implantação de áreas pavimentadas, impermeabilização do solo, construções) adicionando materiais condutivos de calor e diminuindo o albedo (capacidade de refletividade de um corpo) que podem implicar em alterações nas variáveis meteorológicas, como o aumento da temperatura do ar na superfície, corroborando com as abordagens de Oke (1987) e Lombardo (1997).

Conforme o estudo observacional de Oliveira e Souza Junior (2016), observou-se para Belém, tanto para a temperatura máxima quanto para a mínima, existe uma forte

tendência de aquecimento nas duas últimas décadas de $0,53\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,18\text{ }^{\circ}\text{C}$ (99%) na década de 1991-2000 e de $0,66\text{ }^{\circ}\text{C} \pm 0,22\text{ }^{\circ}\text{C}$ (99%) na década de 2001-2010.

Figura 4 - Distribuição temporal da projeção populacional; tendências e correlações da temperatura máxima e mínima média para Belém.



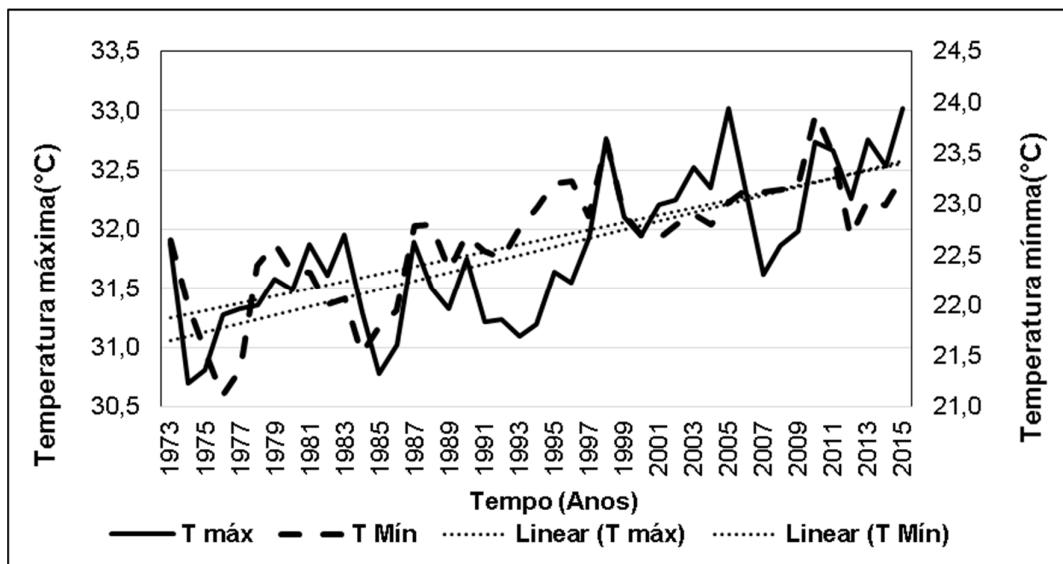


(c)

Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Na figura 5, as temperaturas máxima e mínima média anual observada para Belém, demonstram tendência de aumento ao longo dos anos, e este aumento é nítido no período de 1980 e 1985, o qual também mostrou aumento populacional no município. Sendo importante salientar que a Amazônia foi 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 demonstra Souza (2003), essa política de integração pensada pelo governo militar, trouxe uma perturbação na estrutura urbana da capital paraense formada desde o período da borracha, onde, o fluxo migratório se intensificou com a vinda de vários migrantes de algumas regiões do Brasil em busca de novas oportunidades, causando inchaço demográfico. É importante considerar que o Pará recebeu um grande contingente de população na década de 80 (figura 4a), e 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 estímulo para o deslocamento da população. Justificando desta forma o aumento populacional, nas estimativas populacionais em Belém, realizada pelo IBGE (BARROS,2008).

Figura 5 - Temperaturas máxima e mínima anual observadas para Belém baseados nos dados de temperatura do INMET, para o período de 1973 a 2015. Legenda: **T máx**: Temperatura máxima média; **T mín**: Temperatura mínima média.



Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

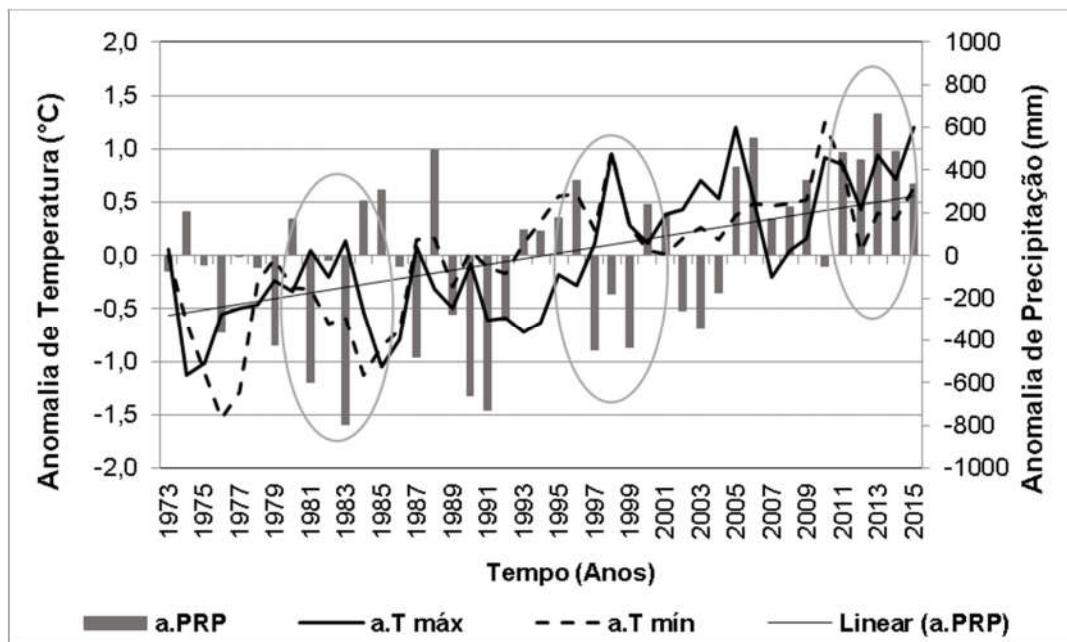
Na Figura 6 observa-se as anomalias de precipitação anual de 1973 a 2015, totalizando 42 anos de estudo para Belém, revelando um maior número de anos com precipitações acima da média anual, principalmente a partir da década de 90.

16

Segundo Oke (1987), as atividades antrópicas presentes em um meio urbano podem alterar o balanço de radiação e consequentemente o padrão de nebulosidade, causando mudanças no ciclo hidrológico de uma região, onde destaca-se um valor máximo em 2013, com 3773 mm, um excedente de 663 mm acima em relação à média climatológica. Observa-se também um valor mínimo no ano de 1983 com 2315 mm, déficit de 798 mm, estando este ano sobre efeito de um intenso El Niño, reportado por Halpert et al (1996). Neste sentido é importante citar que em anos desses eventos (El Niño), ocorre a diminuição nos totais anuais de chuvas nas regiões Norte e Nordeste brasileiro, trazendo como consequências, secas. Logo, em anos de La Niña, ocorrem elevações nos totais pluviométricos, gerando grandes enchentes e transtornos para a sociedade nestas regiões, estando de acordo com Oliveira e Souza Júnior (2016), além disto, através de análises realizadas em Souza (2015), mostram que os registros de temperatura entre 1961-2010 foram afetados por mudanças no microclima local,

principalmente durante as duas últimas décadas, período este que foi caracterizado por intensa urbanização. O intenso crescimento urbano resultou em tendências positivas da temperatura do ar em superfície, como também influenciaram sistemas precipitantes sobre a área de estudo.

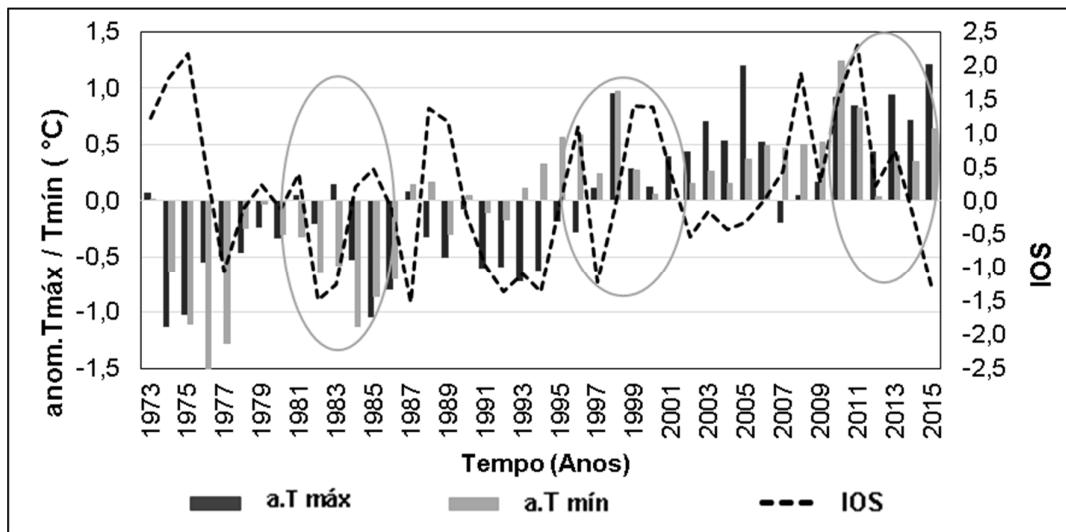
Figura 6 - Distribuição temporal das anomalias de precipitação, temperaturas máximas e mínimas para o período de 1973 a 2015, com a seleção de extremos climáticos de precipitação e temperaturas (82/83, 84/85; 97/98 e 11-15) (círculo cinza). Legenda: **a.PRP** (Anomalia de precipitação), **a.T máx** (Anomalia de temperatura máxima), **a.T mín** (Anomalia de temperatura mínima).



Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

A Figura 7 e 8 mostram 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. De acordo com o INMET (2015) mudanças na circulação da atmosfera podem causar alterações significativas na temperatura global, principalmente quando há alterações na frequência de ocorrência dos eventos El Niño. 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).

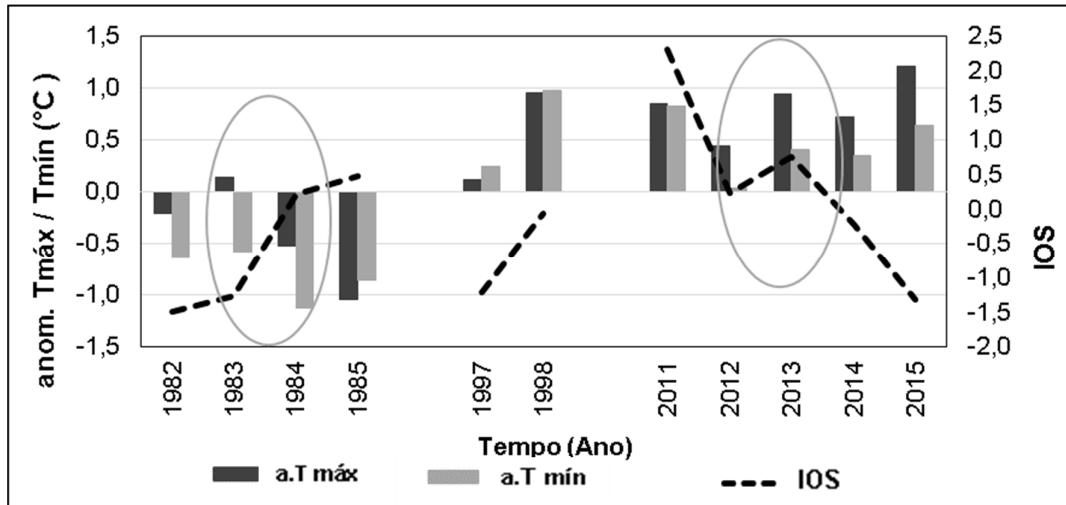
Figura 7 - Anomalia de temperaturas máximas e mínimas versus Índice de oscilação Sul para o período de 1973 a 2015. Legenda: **a.T máx**: Anomalias de temperatura máxima; **a.T mín**: Anomalias de temperatura mínima, **IOS**: índice de oscilação Sul.



Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

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).

Figura 8 - Eventos de extremos climáticos de anomalias de temperaturas máxima e mínima associados ao índice de oscilação sul. Legenda: **a.T máx**: Anomalia de temperatura máxima; **a.T mín**: Anomalia de temperatura mínima; **IOS**: Índice de oscilação Sul; círculo cinza indica anos que tiveram maiores anomalias de temperatura.



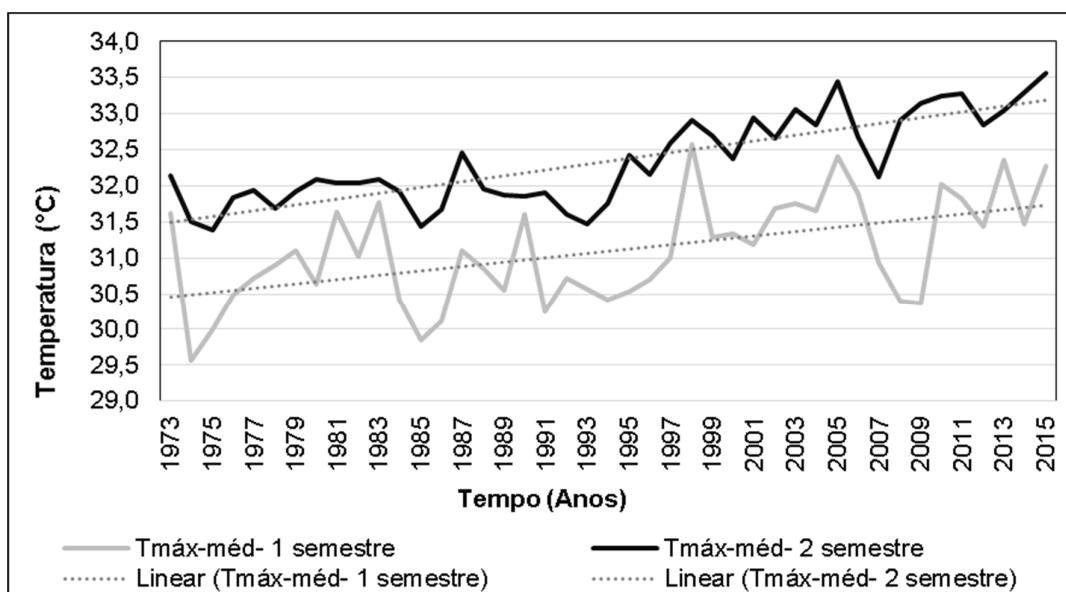
Fonte: Elaborado pelos autores (2016).

Analisando as figuras 9 e 10, comparando as variáveis, temperatura máxima e mínima do primeiro e segundo semestre dos anos, a tendência foi de aumento ao decorrer dos anos, onde as temperaturas máximas do primeiro (1) mantiveram-se menor que as temperaturas do segundo (2), e as temperaturas mínimas do primeiro semestre são maiores comparado com as temperaturas do segundo semestre, devido à presença de nebulosidade no primeiro semestre (jan a junho), por ser considerado o período de maiores quantitativos pluviométricos, os efeitos combinados da grande nebulosidade e precipitação pluvial proporcionam menores contrastes térmicos, corroborando com o estudo de Costa e Mattos (1998) e Brandão (2003), onde 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, oriundas da ação humana.

Nesta lógica, é importante citar que a temperatura do ar apresenta um ciclo diário, passando por um máximo e um mínimo. Em situações normais, as temperaturas máximas ocorrem, em geral, entre 14 e 15 horas do dia e as mínimas acontecem pouco antes do

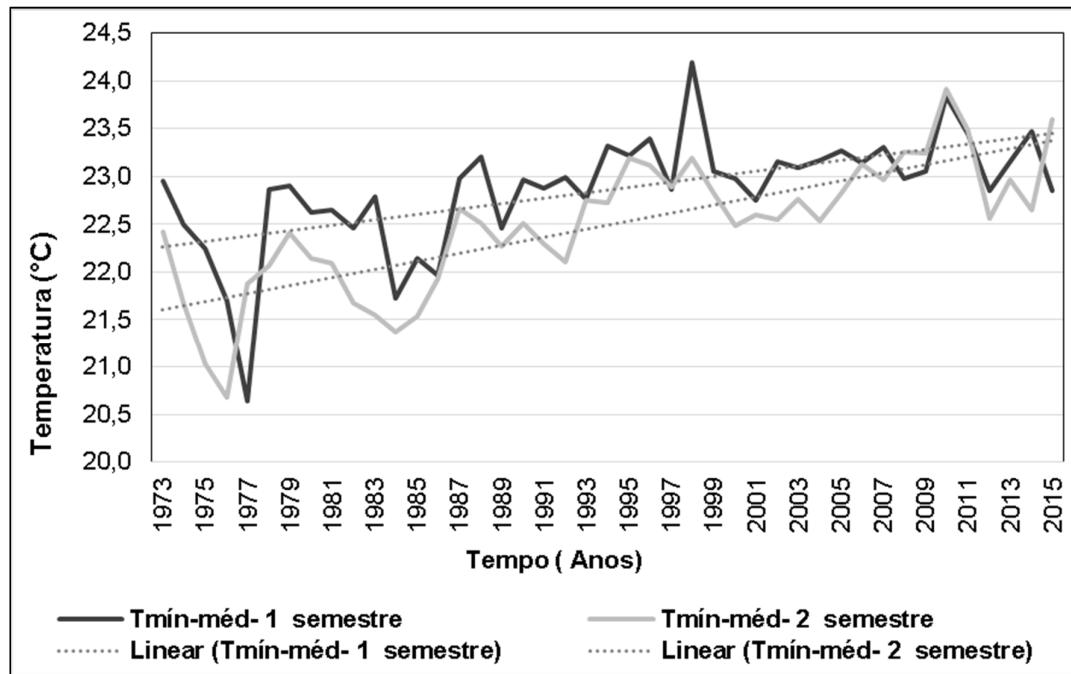
nascer do sol (HARTMAN, 1994) e de acordo com Novo (2008), a variação diária da temperatura do ar está relacionada com a chegada de energia solar pela manhã e o consequente aquecimento da superfície do solo (temperatura da superfície), enquanto que, a temperatura da superfície da terra estimada com imagens de satélite é um parâmetro importante no entendimento dos processos físicos da superfície da terra.

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



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

Figura 10 - Comparação das temperaturas mínimas do 1º e 2º semestre de cada ano, baseados nos dados de temperatura do INMET, durante os anos de 1973 a 2015. Legenda: **Tmáx méd**: Temperatura máxima média, **Tmín méd**: Temperatura mínima média.



Fonte: Elaborado pelos autores (2018).

21

Conclusões

Com o crescimento urbano, impulsionado desde a época do ciclo da borracha na Amazônia, mas intensificado, principalmente, a partir da década de 90, Belém-PA obteve um grande aumento populacional, com isso, houve uma maior demanda de procura por moradia e ocupação, e como consequência, as alterações das características do ambiente natural: construção, pavimentações de vias, redução de áreas verdes, que colaboraram para o aumento da temperatura, além disso, foi demonstrado dos fatores naturais (ENOS) também contribuíram. Desta forma, as principais conclusões são:

Aumento no crescimento populacional abrupto provoca alterações urbanas na cidade, como: construção de casas, vias e reduções de áreas verdes, o que

consequentemente aumenta as temperaturas máximas e mínimas anuais em Belém, principalmente a partir da década de 80 e 90;

Os anos de 1983 e 2015, ambos anos de El Niño demonstram mesmo valor de IOS: -1,3, porém com efeitos diferentes na precipitação, onde 1983 apresentou déficit de precipitação (-793 mm) e anomalias negativas de temperatura mínima (-0,6 °C) e máxima de (0,1°C); e em 2015 houve excedente de precipitação (333 mm), havendo anomalias positivas de temperaturas mínima e máxima de (0,6 °C), (1,2 °C), respectivamente.

As temperaturas máximas (mínimas) sazonais apresentam maior (menor) amplitude, a partir da década de 80;

Diante do exposto, o presente trabalho contribui para o conhecimento dos possíveis efeitos naturais do clima e da ação antrópica durante os últimos 43 anos em Belém, que influenciaram nas variáveis meteorológicas (temperatura e precipitação), neste sentido, através de análises de dados históricos observacionais, nota-se o papel da urbanização sobre o aquecimento urbano. Sendo importante levar em consideração políticas públicas mais eficazes no planejamento urbano, a fim de amenizar os possíveis riscos para a população, conhecendo a dinâmica das cidades e suas implicações com o meio ambiente é possível compreender os limites e adaptações que uma cidade irá necessitar futuramente.

Referências:

ANUÁRIO ESTATÍSTICO DO MUNICÍPIO DE BELÉM – 2011. Caracterização do Território. **Prefeitura municipal de Belém**. Acesso em: 15/06/ 2018.

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.

BOER, G.J.; Flato, G. and Ramsden, D. “A transient climate change simulation with greenhouse gas and aerosol forcing: projected climate for the 21st century”. **Clim. Dyn.** 16, 427-450. 2000

CORRÊA, L. V. Análise dos Efeitos Térmicos de Superfície na Cidade de Belém – Pará – Brasil Utilizando Imagens de Satélite. **Dissertação (Mestrado)**, Universidade Federal do Pará UFPA, 2011.

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.

DADOS CLIMATOLÓGICOS. **Dados sobre temperaturas máximas e mínimas**. Disponível em:< <http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=bdmep/bdmep>>. Acesso em 28 de outubro de 2016.

23

DADOS DE IOS (ÍNDICE DE OSCILAÇÃO SUL) - NOAA (National Oceanic and Atmospheric Administration). Disponível em :< <https://www.ncdc.noaa.gov/teleconnections/enso/indicators/soi/data.csv>>. Acesso em 28 de outubro de 2016.

DE SOUZA, DIEGO OLIVEIRA; ALVALÁ, REGINA CÉLIA DOS SANTOS; NASCIMENTO, MARÍLIA GUEDES DO. Urbanization effects on the microclimate of Manaus: A modeling study. **Atmospheric Research (Print)**, v. 167, p. 237-248, 2015.

E. JAUREGUI. Heat island development in Mexico City. **Atmospheric Environment**, 31 (22) (1997), pp. 3821-3831.

ETA CPTEC/HadCM3. climate change projections: Part 1. Climatology and regional analyses for the Amazon, São Francisco and the Parana River Basins. **Climate Dynamics**, 2010.

FISCH, G.; MARENGO, J. A.; NOBRE, C. A. Uma Revisão Geral sobre o Clima da Amazônia. **Acta amazônica**, v. 28, n.2, p. 101-126, 1998.

GARTLAND, L. Ilhas De Calor - Como Mitigar Zonas De Calor Com Áreas Urbanas, Editora Oficina De Textos, 2010.

GOLDREICH Y. Urban climate studies in Johannesburg, a sub-tropical city located on a ridge — a review. **Atmospheric Environment**. B 26: 407–420, 1992.

HARTMANN, D. L. *Global physical climatology*. London: Academic Press, 1994.

HASTENRATH, S., Nicklis, A. & Greischar, L. Atmospheric-hydrospheric mechanisms of climate anomalies in the western equatorial Indian Ocean. *J. Geophys. Res.* 98, 20219±20235 (1993).

HALPERT, M. S.; G.D.Bell; V.E. Kousky; C. Ropelewski. Climate Assessment for 1995. *Bulletin of the American Meteorological Society*, Vol.77(5), 1996.

IBGE - **Projeção Populacional** <<https://www.ibge.gov.br/estatisticas-novoportal/sociais/populacao/9109-projecao-da-populacao.html?=&t=downloads>>. Acesso em: 05/06/2018.

INPE- **ÁREA DE DESMATE POR MUNICÍPIO**, 2000 a 2015. Disponível em <<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodesmunicipal.php>>. Acesso em: 27/03/2018.

JAUREGUÍ, O. E. Aspects of heat-island development in Guadalajara, Mexico. *Atmospheric Environment*, v. 26B, n.3, p. 391-396. 1992.

KOUSKY, V. E.; ROPELEWSKI, C. F. Extremes in the Southern Oscillation and their relationship to precipitation anomalies with emphasis on the South American region. *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 4, n. 1, p. 351-363, 1989

KOUSKY, V. E; I. F. A.Cavalcanti. Eventos Oscilação Sul / El Nino. Características, evolução e anomalias de precipitação. *Ciência e Cultura*, Vol.36, 1984.

L.C.B. MOLION. Global Climate Impacts of Amazônia Deforestation. *Revista Geofísica*, MEXICO, v. 42, n.1, p. 90-101, 1995.

24

LOMBARDO MA. O clima e a cidade. In: **Encontro Nacional do Ambiente Construído - ANTAC**; 1997; Salvador.

LOPES, M. N. G.; DE SOUZA, EVERALDO BARREIROS; FERREIRA, Douglas Batista da Silva. Climatologia regional da precipitação no estado do Pará. *Revista Brasileira de Climatologia*, v. 12, p. 84-102, 2013.

LUZ, L. M.; RODRIGUES, J. E. C. Atlas de áreas verdes da cidade de Belém. 1º. ed. Belém: GAPTA/UFPA. v. 01. 41p, 2013.

MAITELLI, G. T.; ZAMPARONI, C. A. P. G.; LOMBARDO, M. A. Ilha de calor em Cuiabá-MT: Uma abordagem de clima urbano. **Encontro Nacional de Estudos sobre Meio Ambiente**, p. 561-571, Londrina - PR. 1991.

MARENGO, J. A.; Chou, S. C.; Betts, R.; Kay, G.; Alves, L. M.; Torres, R.; Santos, D. Marengo, J. Interannual variability of surface climate in the Amazon basin. *International Journal of Climatology*, 12 (8), 853-863, 1992.

MARENGO, J. Nobre, C.A., Culf, A.D. Climatic impacts of "Friagens" in forested and deforested areas of the Amazon Basin. **Submetido ao Journal of Climate**, 1996.

MARENGO. J.A. Água e mudanças climáticas. *Estud. av.* vol.22 no.63 São Paulo, 2008.

MITTERSTEIN MR, Severo DL. Análise de variabilidade intrasazonal e interanual da precipitação no vale do Itajaí com a transformada de ondaletas. Vol.13, n.1,:1-10. **Dynamis** 2007.

MOREIRA, Fernanda da Silva de Andrade. Vitorino, M. I. Relação de áreas verdes e temperatura da superfície para a cidade de Belém. **PAPERS DO NAEA (UFPA)**, v. 369, p. 1-25, 2017.

NOBRE, C. A., Sampaio, G., Salazar, L. Mudanças climáticas e Amazônia. **Ciência e Cultura**. 59(3), 21-27, 2007.

NOVO, E. M. M. Sensoriamento Remote: princípios e aplicações. 3^a ed. **Ed. Blucher**. São Paulo, 2008.

OKE, T. R. **Boundary layer climates**. Second Edition. London & New York: Routledge. 435 p., 1987.

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.

RASMUSSON, E.M; ARKIN, P.A. Interannual climate variability associated with the El Niño/Southern Oscillation. **Coupled Ocean-Atmosphere Models**, J.C.J.Nihoul, Ed. Elsevier, 1985. p. 289-302.

25

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. Manaus: TPetro, 2006.

SANTOS, J. S; SILVA, V, P, R; ARAÚJO, L, E; LIMA, E, R, V; COSTA, A, D, L. Análise das Condições do Conforto Térmico em Ambiente Urbano: Estudo de Caso em Campus Universitário. **Revista Brasileira De Geografia Física**. V. N. 2:336-353. 2011.

SOUZA, Celina. “**Políticas Públicas: Questões Temáticas e de Pesquisa**”, Caderno CRH 39: 11-24. 2003.

SOUZA, E. B.; AMBRIZZI, T. Modulation of the Intraseasonal rainfall over tropical Brazil by the Madden-Julian oscillation. **International Journal of Climatology**, v. 26, p. 1759-1776, 2006.

SOUZA, E.B.D., Lopes, M.N., Da Rocha, E.J., Souza, J.R.S., Cunha, A.C.D., Silva, R.R.D. and Guimarães, P.L. (2009) Seasonal Precipitation in Eastern Amazon during Rainy Season: Regional Observations and RegCM3 Simulations. **Revista Brasileira de Meteorologia**, 24, 11-124.

TRENBERTH, K. E. The definition of El Niño. **Bulletin of the American Meteorological Society**, v.78, p.2771-2777, 1997.

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.

VITORINO, M.I. Análise das oscilações intrasazonais sobre a América do Sul e Oceanos Adjacentes utilizando a análise de ondeletas. 2002. **Tese (Doutorado em Meteorologia)**, INPE, 2002.

VITORINO, M.I.; SILVA DIAS, P.L.; FERREIRA, N.J. Observational study of the seasonality of the submonthly and intraseasonal signal over the tropics. **Meteorology and Atmospheric Physics**, 94, p.17-35. 2006.

WEICKMANN, K.M.: Intraseasonal circulation and outgoing long wave radiaton modes during northern winter. **Mon. wea. Rev.**, n. 111, p.1838-1858. 1983.