



Brazilian Geographical Journal: Geosciences and Humanities research medium



ARTICLES/ARTIGOS/ARTÍCULOS/ARTICLES

Variações termo-higrométricas e influências de processo de expansão urbana em cidade equatorial de médio porte

Doutor Antonio Carlos Lôla da Costa

Instituto de Geociências, Faculdade de Meteorologia, Universidade Federal do Pará. Rua Augusto Corrêa, s/n, Campus Básico, Guamá, Belém, PA, CEP 66075-110. E-mail: lola@ufpa.br

Mestre Paulo Wilson Uchoa

Secretaria de Estado de Educação – SEDUC. Endereço: Travessa Curua-Una, s/n, Santarém, PA, CEP: 68100-000. E-mail: pwuchoa@gmail.com

Doutor João de Athaydes Silva Junior

Secretaria de Estado de Meio Ambiente, Diretoria de Recursos Hídricos. Endereço: Travessa Lomas Valentinas, n 2717, Marco, Belém, PA, CEP 66095-770. E-mail: athaydes@ymail.com

Doutor Alan Cavalcanti da Cunha

Universidade Federal do Amapá, Departamento de Meio Ambiente e Desenvolvimento. Laboratório de Modelagem de Sistemas Ambientais (LAMSA). Endereço: Rodovia Juscelino Kubitschek, s/n, Marco zero, Macapá, AP, CEP 68903-970. E-mail: alancunha@unifap.br

Doutor João Roberto Pinto Feitosa

Universidade Federal do Oeste do Pará. Endereço: Rua Vera Paz, s/n, Bairro Salé, Santarém, PA, CEP 68035-110. E-mail: jrpfetosa@ufpa.br

RESUMO

ARTICLE HISTORY

Received: 20 July 2013

Accepted: 15 December 2013

PALAVRAS-CHAVE:

Clima urbano

Ilhas de calor

Conforto térmico

Compreender como ocorre a associação entre as variáveis meteorológicas e os elementos do microclima local de áreas urbanas é um questionamento atual. O objetivo desta pesquisa foi estudar a variação média horária da temperatura e da umidade relativa do ar em função de percentuais de áreas arborizadas na cidade de Santarém, PA, no período seco de 2009. A metodologia consistiu em coleta de dados das variáveis temperatura e umidade relativa do ar ao longo de um período de uma semana com estações meteorológicas automáticas. As séries de dados foram analisadas e suas médias foram comparadas com base em testes de hipóteses com significância $p < 0,05$. Os resultados de regressões mais

significativos indicaram taxas negativas da variação das temperaturas média e mínima do ar ($\approx -0,003$ e $-0,0051$, respectivamente) em relação ao nível de arborização e não houve variações significativas da umidade relativa do ar em função da percentagem de arborização.

KEY-WORDS:
Urban climate
Heat islands
Thermal comfort

ABSTRACT: TERM-HYGROMETRIC VARIATIONS AND INFLUENCES OF PROCESS OF URBAN EXPANSION IN A CITY OF EQUATORIAL MIDSIZE. Understanding how the association between meteorological variables and elements of the local microclimate in urban areas is a challenge today. The objective of this research was to study the variation of hourly average temperature and relative humidity to the percentage of wooded areas in the city of Santarém, PA during the dry period of 2009. The methodology consisted of collecting data on the variables temperature and relative humidity over a period of a week with automatic weather stations. The data sets were analyzed and their means compared for purposes of testing hypotheses with significance $p < 0.05$. The most significant results of regressions showed negative rates of change in average temperatures and minimum air (≈ -0.003 and -0.0051 , respectively) compared to the level of afforestation and there were no significant variations in relative humidity as a function of the percentage afforestation.

RESÚMEN:
Clima urbano
Islas de calor
Confort térmico

RESÚMEN. Variaciones e influencias termohigrométricas de proceso de expansión urbana en la ciudad de mediano ecuatorial. La comprensión de cómo la asociación entre las variables meteorológicas y elementos del microclima local en las zonas urbanas es un reto hoy en día. El objetivo de esta investigación fue estudiar la variación de la temperatura promedio por hora y la humedad relativa al porcentaje de áreas boscosas en la ciudad de Santarém, PA durante el período seco del año 2009. La metodología consistió en la recogida de datos sobre la temperatura de las variables y la humedad relativa durante un período de una semana con estaciones meteorológicas automáticas. Los conjuntos de datos se analizaron y compararon sus medios para fines de pruebas de hipótesis de significación $p < 0,05$. Los resultados más significativos de regresiones mostraron tasas negativas del cambio de la temperatura media y mínima del aire (≈ -0.003 y $-0,0051$, respectivamente) en comparación con el nivel de forestación y no hubo variaciones significativas en la humedad relativa en función del porcentaje forestación.

Introdução

Com o início da Revolução Industrial, as cidades ao redor do mundo mudaram drasticamente seu estilo de desenvolvimento, tornando-se em pouco tempo, grandes centros industriais polarizadores de atividades socioeconômicas. Nesse período, final do século XIX, o crescimento acelerado da população, impulsionado por um forte êxodo rural, resultou entre outros fatores, em mudança na dinâmica urbana, provocando deterioração da qualidade de vida da população (UCHÔA, 2010).

No Brasil, entre as décadas de 1940 a 1990, o aumento da população das cidades provocou uma inversão nos percentuais entre a população residente no campo, em relação à residente na zona urbana. O fenômeno da urbanização brasileira iniciou na década de 1940, estimulado pela modernização da economia e o incremento do setor industrial (NASCIMENTO, 1985). O novo paradigma de desenvolvimento econômico adotado, caracterizado pela propriedade privada dos meios de produção, mercados livres e trabalho assalariado, proporcionou ao longo das últimas décadas, centralização de atividades industriais, comerciais e financeiras, prioritariamente nas áreas urbanas, atraindo cada vez mais expressivas massas populacionais à procura de trabalho, educação, saúde, entre outros benefícios. Em contrapartida, também ocorreu o início da intensificação da degradação do meio físico natural.

Uma das principais conseqüências da urbanização das cidades foi também a alteração do seu microclima, devido a substituição dos espaços naturais por ambientes fisicamente construídos, em função do aumento das superfícies de absorção térmica, impermeabilização dos solos, alteração da cobertura vegetal, concentração de edificações, que interferem na circulação dos ventos e da contaminação do ar atmosférico pela emissão de gases, resultando na formação de ilhas de calor, poluição do ar, chuvas intensas e inundações, que interagem ao cotidiano urbano, criando grandes dificuldades e desconforto aos moradores (LOMBARDO, 1985; COSTA, 1998; SILVA JUNIOR et al., 2012).

Portanto, o aumento da temperatura do ar nas cidades, em relação ao seu ambiente rural não edificado, é gerado por alterações das características térmicas das superfícies, ou seja, substituição de áreas verdes por edificações e pavimentação. Esse diferencial térmico entre a cidade e o campo é conhecido como o efeito da "ilha de calor urbana". Deste modo, a ilha de calor é uma das mais acentuadas modificações atmosféricas atribuídas ao processo de urbanização (COSTA, 1998; OKE, 1987; SANTOS et al., 2012).

De forma geral, o crescimento das cidades tem proporcionado transformações meteorológicas em nível local, notadamente no aumento da temperatura e diminuição da umidade relativa do ar (SILVA JUNIOR, 2012). Assim como o crescimento desordenado das cidades, as atividades humanas, o aumento da frota automobilística, a industrialização, a impermeabilização do solo, além da rápida substituição das áreas verdes, são fatores que influenciam no clima urbano (GARTLAND, 2010). É fundamental, portanto, que a intervenção humana no ambiente natural, gerador de desequilíbrios ambientais, seja debatido pelas entidades governamentais e pela sociedade civil organizada, haja vista que podem incorrer em conseqüências negativas graves ao meio ambiente e à saúde pública.

A importância crescente das áreas urbanas de médio porte, em termos demográficos, socioeconômicos e culturais, faz com que seus problemas ambientais sejam cada vez mais uma prioridade e tema central de investigações em diferentes áreas científicas. O conhecimento dos fatores climáticos, associado às características do sítio urbano, tais como, a geomorfologia, disposição de áreas verdes e corpos d'água, é de fundamental importância para elaboração de planejamentos urbanísticos que visem à melhoria das condições climáticas, em contrapartida às elevadas taxas de crescimento demográficas na Amazônia.

A cidade de Santarém-PA, apesar de se localizar em uma região pouco desenvolvida do Brasil, nas últimas décadas, vem apresentando acelerado crescimento urbano, com aumento populacional em torno de 7% nos últimos três anos (IBGE, 2010). De acordo com Pereira (2004), Santarém desponta entre as cinco cidades com maior arrecadação de impostos, sendo um dos pólos de escoamento de soja no Estado do Pará.

Do ponto de vista político-administrativo, Santarém funciona como centro sub-regional e serve de referência para um conjunto significativo de municípios da mesorregião do Baixo Amazonas. Entretanto, o núcleo urbano atual é caracterizado por um aumento acentuado de áreas periféricas, carente de infraestrutura, e com planejamento urbano inadequado. Segundo Oliveira (2008), no ano de 2006, apenas 26 bairros, de um total de 48, eram oficialmente legalizados. Os demais se encontravam em processo de legalização ou eram considerados áreas de invasão.

Tendo em vista que tal crescimento urbano de Santarém é um dos principais fatores que contribuem para as alterações do clima urbano, e considerando-se ainda a existência de lacunas de conhecimento sobre o tema na região, torna-se evidente a importância do desenvolvimento da presente pesquisa, que tem como objetivo estudar o padrão de variabilidade média horária da temperatura e umidade relativa do ar na cidade de Santarém-PA, em especial durante um período crítico, ou menos chuvoso, para compreender como as variáveis micrometeorológicas locais estão relacionadas com os elementos físicos do processo de urbanização da cidade de Santarém.

Revisão Bibliográfica

A deterioração do ambiente físico natural vem se agravando à medida que o processo de urbanização avança. Cada novo núcleo urbano, com o passar do tempo, enfrenta uma série de dificuldades estruturais, tornando as condições de vida da população, em muitos casos, eminentemente precária. Portanto, o estudo da climatologia urbana tem atraído a atenção de vários pesquisadores de diferentes áreas do conhecimento, uma vez que as características de desenvolvimento do sítio urbano podem influenciar diretamente nas condições térmicas, hidrológicas e aerodinâmicas da região.

Landsberg (1981) comenta que as alterações no balanço de energia são um dos primeiros sintomas das modificações que o processo de urbanização gera na superfície, especialmente em relação aos componentes térmicos e aerodinâmicos.

O diferencial térmico entre o ambiente urbano e rural representa o feito mais expressivo do clima urbano.

A primeira documentação sobre clima urbano aconteceu em 1818, quando o estudo sobre o clima de Londres realizado por Luke Howard detectou um aumento do calor artificial na cidade, em comparação ao campo (HOWARD, 1833 apud GARTLAND, 2010). A partir deste estudo pioneiro houve um crescimento das pesquisas sobre essa temática, principalmente na França e Alemanha, em virtude da expansão das redes de observações meteorológicas.

Após a segunda guerra mundial, muitos trabalhos foram desenvolvidos em países da América do Norte e no Japão, sendo que a principal variável de estudo foi a temperatura do ar. Nesse período de pós-guerra, destacam-se os estudos de Landsberg e Chandler (1956; 1965). O primeiro representa o marco histórico nos estudos climatológicos, pois é a primeira síntese sobre estudos dos climas urbanos. Já o trabalho de Chandler, faz referência às modificações climáticas da cidade de Londres.

No Brasil, os estudos relacionados ao clima urbano surgiram a partir da década de 60, impulsionados com o surgimento de uma nova concepção ambiental. As cidades de grande porte, sobretudo, foram alvo das investigações; a maioria delas, localizada na região Centro-Sul, tendo se intensificado e distribuído pelo território nacional na década de 90. Segundo Monteiro e Mendonça (2003), variados recursos têm caracterizado a prospecção da atmosfera das cidades brasileiras, que conta atualmente com importante base teórico-metodológica para o estudo do clima urbano, elaborada na perspectiva de contribuir para o planejamento das cidades.

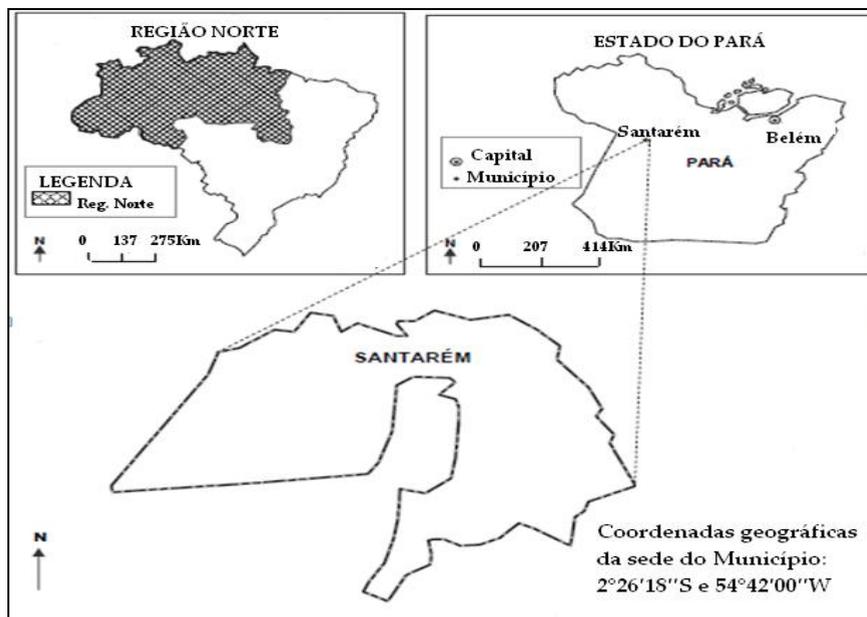
Do ponto de vista analítico, a cidade pode ser considerada como um "volume de controle" sobre o qual é possível expressar algumas das mudanças do clima impostas pelas atividades humanas. Para Lombardo (1895), "o clima das cidades se altera, portanto, a partir do seu centro em direção à sua circunvizinhança que, uma vez alterada, sofre influências microclimáticas derivadas destas modificações dos espaços urbanos".

As alterações dos elementos meteorológicos em relação às atividades humanas deve ser abordado em nível de escala. Portanto, considerando os níveis micro, meso e macroclimático, torna-se fundamental estudos para desvendar as conseqüentes interferências da ação do homem sobre o clima. As investigações sobre as peculiaridades do clima das cidades amazônicas, principalmente, as medidas em escala espacial-temporal são raras. Algumas das generalizações ou tentativa de sintetizar o funcionamento do clima local é ainda um desafio científico da área. Por exemplo, Andrade (2003) procurou definir de forma mais precisa alguns conceitos, indicando dimensões típicas para as categorias "Fenômenos de microescala" (dimensão típica de até 2 km de extensão), "mesoescala" (2 a 2000 km) e "macroescala" (acima de 2000 km). Categoricamente, Lombardo (1985) considera que os fenômenos urbanos se restringem ao espaço e tempo entre a microescala (para elementos individuais) e a mesoescala, para grandes áreas metropolitanas.

Material e métodos

Descrição da área de estudo

O município de Santarém (02°26'18"S e 54°42'00"W), de acordo com a atual divisão política administrativa estadual, localiza-se na mesorregião do Baixo Amazonas e na microrregião de Santarém, na região Oeste do Estado do Pará (Figura 01). Segundo o IBGE (2010) o município possui uma área de 22.887 km² e uma população total de 294.774 habitantes.



Fonte: Jacinto et al. (2005). Modificado pelo autor.
FIGURA 01 - Localização geográfica da área de estudo.

Quanto aos aspectos climáticos, a precipitação anual varia entre 1.900 a 2.100 mm, com frequência de 126 a 150 dias com ocorrência de chuva ao longo do ano. A temperatura média do ar oscila entre 25,9 e 26,0°C. A umidade relativa do ar média anual é elevada, com valores em torno de 86,0%. A insolação total anual varia entre 1.900 a 2.000 horas e a nebulosidade média anual oscila entre 5 a 6 décimos. Segundo a classificação climática de Köppen, a cidade de Santarém enquadra-se no grupo (Am), apresentando estação seca moderada, com ocorrência de no mínimo um mês com valor de precipitação média inferior a 60 mm. Pelo fato da temperatura do ar apresentar pequena variabilidade anual, a caracterização climática desta região é feita em função da distribuição de sua precipitação. Sendo assim, costuma-se dividir o ano em duas estações distintas: uma estação chuvosa, que se estende entre janeiro a maio e outra menos chuvosa, com o trimestre mais seco entre agosto a outubro (ZEE-PA, 2009).

Principais características climáticas da região

A Região Norte é caracterizada por apresentar valores médios anuais elevados de temperatura e umidade relativa do ar, além de elevado total pluviométrico anual, embora com grandes variações em termos mensais. Os principais mecanismos que explicam estas características são a atuação da Zona de Convergência Intertropical (ZCIT), das brisas marítimas, da grande fonte de vapor d'água atmosférico oriundo das florestas e corpos hídricos e, principalmente, das atividades convectivas (NIMER, 1979). O principal sistema meteorológico atuante na determinação do clima desta região é a Zona de Convergência Intertropical - ZCIT, formada pela confluência dos ventos alísios dos anticiclones semipermanentes do Atlântico Sul, e do Atlântico Norte. A ZCIT é caracterizada por um cinturão de Nuvens cumuliformes que oscila latitudinalmente ao longo do ano, porém as suas posições extremas não são simétricas em relação ao Equador terrestre. Esta diferença se dá devido às diferentes distribuições entre os oceanos e os continentes em ambos os hemisférios. Em janeiro a ZCIT localiza-se entre 5°S e 8°N. No mês de julho a sua variação é entre 2°N e 17°N. Deste modo, a sua posição média em janeiro é de 4°S, ao passo que em julho é de 13°N RIEHL (1964). A ZCIT é uma das principais responsáveis pelo regime pluviométrico da Região Norte, uma vez que, geralmente, a época mais chuvosa da região está associada com a sua passagem ou permanência sobre o local.

Locais de coleta dos dados meteorológicos

Para a seleção dos locais de coleta de dados meteorológicos (Tabela 01) os critérios adotados foram: a representatividade da área de estudo, a facilidade de operação, além da segurança dos equipamentos e dos observadores meteorológicos. Na realização desta pesquisa foram selecionados sete sítios amostrais, sendo dois localizados em bairros centrais, dois em bairros residenciais, um em área urbana com alta porcentagem de vegetação, um em bairro considerado periférico e um local representativo das condições rurais, conforme localizações especificadas na Tabela 01.

Sítios Amostrais	Localização
01	Centro - Avenida São Sebastião (central)
02	Aldeia - Avenida Tapajós (central)
03	Parque Municipal - Avenida Sérgio Henn (área verde urbana)
04	Santíssimo - Avenida Prof. José Agostinho (residencial)
05	Caranazal - Avenida Coaracy Nunes (residencial)
06	Nova República - Avenida Tancredo Neves (periférico)
07	Fazenda Paraíso - Rodovia BR- 163, Km-23(rural)

TABELA 01 - Localização dos sítios amostrais de dados meteorológicos

Dados utilizados

Foram utilizados dados médios horários e diários de temperatura e umidade relativa do ar, obtidos de forma simultânea em oito sítios amostrais dotadas de estações meteorológicas automáticas da Campbell Scientific, (com dataloggers modelos CR10X, CR23X e CR1000), dotadas de sensor Vaissala HMP45C, capacitivo para medição de temperatura do ar, com intervalo de (-40°C a 60°C) e umidade relativa do ar com intervalo de (0 a 100%). Os equipamentos foram instalados, preferencialmente, em ambientes de piso natural, a uma altura aproximada de 1,50m do solo, protegidos da radiação solar direta através de abrigos meteorológicos com entrada de ventilação natural. As leituras dos dados foram registradas automaticamente a intervalos horários. Os dados foram obtidos no período de 22 a 29 de setembro de 2009, mês inserido na estação seca da região.

Quanto aos elementos referentes à tipologia de uso e ocupação do solo urbano, bem como a ocorrência de áreas verdes urbanas, estes foram levantados em campo, durante um período de três meses (setembro a novembro de 2009), considerando-se uma área com raio igual a 500m em volta do local de observação meteorológica. Esta metodologia foi utilizada por Costa (2008). Estes dados constaram, basicamente, das porcentagens de cada elemento urbano potencialmente capaz de proporcionar alterações no comportamento das condições meteorológicas, tais como, pavimento (asfalto e calçamento), edificações e arborização.

Resultados e discussão

Elementos urbanos

As principais características de uso e ocupação do solo na área urbana da cidade de Santarém, nas proximidades dos locais de coleta de dados meteorológicos, são apresentadas nas Tabelas 02 e 03.

Sítio	Altura (%)			Utilização (%)			Material (%)		Cobertura (%)		
	Te	2 Pa	>3 Pa	Re	Co	Mi	Alv.	Mad.	Ba.	Am.	Ou
01	57,6	25,6	16,8	14,2	58,5	27,3	99,2	0,8	13,6	65,6	21,8
02	70,3	25	4,7	49,1	29,4	21,5	95,5	4,5	40,1	58,1	1,8
03	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	100	0,0	100	0,0	0,0
04	71,2	27,2	1,8	72	12,5	15,5	87,5	12,5	33,5	56,3	10,2
05	68,5	27	4,5	59,5	15,2	25,6	81,9	18,1	35,5	59,4	5,3
06	96,2	3,2	0,6	64,9	13,7	21,4	72,5	27,5	14,9	83	2,1
07	100	0,0	0,0	100	0,0	0,0	0,0	100	0,0	100	0,0

Te = Casas térreas / 2 Pa = dois pavimentos / >3Pa = Edificações maiores que 3 pavimentos / Re = Residencial / Co = Comercial / Mi = misto / Alv. = Alvenaria / Mad = Madeira / Ba = Barro / Am = Amianto / Ou = Outros (metálica).

TABELA 02 – Distribuição dos principais elementos urbanos nas proximidades dos locais de observação meteorológicas.

Sítio	Edificação	Pavimentada	Vegetada	Outros
01	67,3	26,9	5,8	0,0
02	61,9	21,7	11,0	5,4
03	2,6	1,3	46,1	47,6
04	59,4	25,7	12,7	2,2
05	65,7	15,3	13,5	5,5
06	56,9	13,1	12,5	17,5
07	0,5	0,0	75,0	24,95

(*) Outros = terreno baldio, campos de futebol e espaços livres sem vegetação.

TABELA 03 – Distribuição (%) de calçamento, edificações e vegetação nas proximidades dos locais de observação meteorológica.

Observou-se que o sítio amostral 01 (bairro Centro) e o sítio amostral 02 (bairro da Aldeia), ambos localizados em bairros centrais, também foram os que apresentaram maior porcentagem de verticalização. As estruturas em geral são de alvenaria com cobertura de telhas de amianto. São bairros considerados nobres onde a população, geralmente, possui alto poder aquisitivo.

Quanto ao uso do solo, esse mostrou-se espacialmente variável, concentrando-se nos bairros centrais, onde há maior frequência de estabelecimentos comerciais e bancários. Nesses bairros o trânsito é intenso durante a maior parte do dia, com pavimentação asfáltica na maioria das vias e bom calçamento em ambos os lados. Estes bairros apresentam baixo percentual de arborização urbana, sendo esta representada, na maioria dos casos, por indivíduos arbóreos isolados.

O sítio amostral 04 (bairro do Santíssimo) e o sítio amostral 05 (bairro do Caranazal), ambos bairros residenciais, são considerados de uso residencial. Uma de suas características é a predominância, quase que absoluta, de edificações térreas de alvenaria, além de uma frequente ausência de arborização. São bairros com concentração populacional elevada e de médio poder aquisitivo. Nestes bairros ocorrem novas zonas de comércio, formados por construções em alvenaria com telhas de barro e uso comercial misto.

O bairro de Nova República (sítio amostral 06), considerado zona periférica de Santarém, distante aproximadamente 06 km do centro comercial, apresenta como característica o predomínio de construções térreas, de alvenaria, cobertas de telhas de amianto e uso residencial. É um bairro populoso, porém sem verticalização. Apresenta como particularidade “manchas verdes” em suas proximidades. Em seu entorno há populações com poder econômico relativamente baixo, cujo principal problema é a falta de moradia, ou quando ocorrem são ocupações espontâneas cujas condições sanitárias são precárias.

O sítio amostral 03 (área urbana com alta porcentagem de vegetação) e sítio amostral 07 (área rural) estão localizados em áreas com maior porcentagem de vegetação em relação aos demais sítios amostrais. O sítio amostral 03 está localizado no ambiente urbano, enquanto que o sítio amostral 07 localiza-se integralmente em ambiente rural.

De modo geral, observou-se mínima verticalização das áreas analisadas. A maioria apresenta edificações térreas, do tipo alvenaria e com cobertura de telhas de amianto. Ou seja, áreas com predominância de emprego de materiais como concreto, amianto e asfalto, reconhecidos pelas suas propriedades físicas de alteração do albedo natural da superfície por serem bons absorvedores de calor e conseqüentemente importantes emissores de radiação de ondas longas, o que explica a elevação das temperaturas (GARDLAND, 2010).

Elementos meteorológicos

Temperatura do ar

A temperatura média horária do ar apresentou, em todos os locais, comportamento padrão para a Região Equatorial, isto é, com um aumento gradativo desde as primeiras horas da manhã até atingir um máximo, oscilando entre 13 e 15 horas. A partir desse momento, ocorreu o início um declínio gradativo, culminando com valores mínimos por volta das 6 horas (Figura 01). Evidenciou-se a característica das menores temperaturas observadas sempre nas áreas com maior porcentagem de arborização, em contraste com os demais locais estudados.

Neste caso, a partição do saldo de radiação solar em calor latente e calor sensível, ocorrem menores disponibilidades energéticas para o aquecimento do ar urbano em ambientes fortemente arborizados, resultando em ambientes com menores temperaturas do ar.

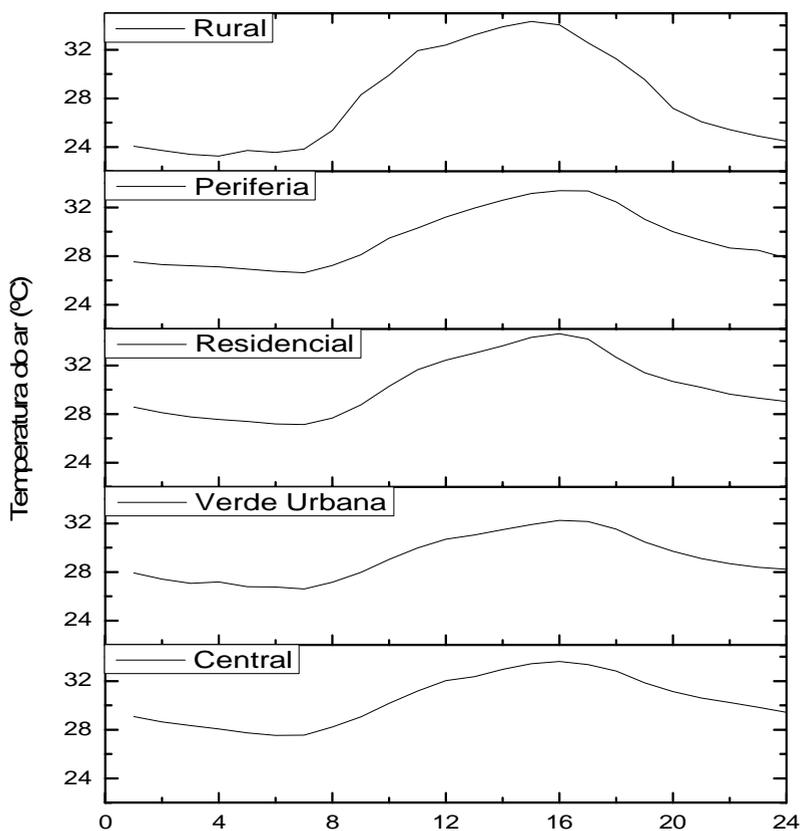


Figura 01 - Distribuição média horária da temperatura do ar nos sítios amostrais.

Em relação às temperaturas médias diárias, ocorreram pequenas variações, apesar da diversidade tipológica de uso e ocupação do ambiente urbano. Deste modo, embora os maiores valores frequentemente fossem observados nos locais com características de pouca cobertura vegetal e elevada porcentagem de calçamento e edificações, com intensa atividade antrópica, os mínimos ocorreram em locais próximos de áreas com alta porcentagem de arborização e menor fração de áreas com atividade antrópica.

Ao contrário do observado em relação às temperaturas médias do ar, as temperaturas máximas absolutas encontradas nos diversos ambientes urbanos foram sensivelmente distintas, variando desde um máximo de 36,1°C (bairro residencial) caracterizado por apresentar arborização urbana deficiente e significativa atividade antrópica, até um mínimo de 33,4°C na área urbana com alta porcentagem de vegetação, onde a arborização resultou na ocorrência de temperaturas máximas mais amenas.

Em relação às temperaturas mínimas absolutas, essas variaram de 26,7°C, verificada no bairro central, área tipicamente horizontal e com elevada densidade de edificações, até um valor mínimo de 22,3°C, observado na área rural, com baixa porcentagem de edificações associada à elevada porcentagem de vegetação, contribuiu para este maior resfriamento noturno.

As amplitudes térmicas urbanas sofreram expressivas variações, sendo que os menores valores foram observados nos bairros centrais e na área verde urbana, com valores de 7,7 e 7,6°C, respectivamente. Este comportamento justifica-se pela área central apresentar maior massa urbana construída, o que proporciona a absorção de grande quantidade de energia térmica durante as horas diurnas, liberando-as para o ambiente urbano durante as horas noturnas, o que torna este ambiente mais aquecido termicamente que os demais locais circunvizinhos. Em relação a área verde urbana, apesar de apresentar amplitude térmica praticamente igual aos valores observados nos bairros centrais, em termos absolutos, os valores extremos apresentam-se relativamente menores, em função, principalmente, da grande porcentagem de arborização existente neste ambiente. A maior amplitude térmica absoluta foi observada na área rural, associada certamente, com os baixos valores de temperaturas mínimas ocorridas durante os horários noturnos, uma vez que a ausência de estrutura urbana nas proximidades deste local facilita o seu rápido resfriamento. Os valores diários das temperaturas médias, máximas e mínimas, assim como, do desvio padrão, coeficiente de variação e amplitudes térmicas dos diferentes ambientes estudados são apresentados na Tabela 04.

Bairros	T _{ar} (°C)	DP (°C)	CV (%)	T _{máx} (°C)	T _{mín} (°C)	Amp(°C)
Central	30,4	2,1	6,8	34,4	26,7	7,7
Verde urbana	29,2	1,9	6,6	33,4	25,8	7,6
Residencial	30,2	2,5	8,4	36,1	25,9	10,2
Periférico	29,9	2,4	8,0	34,4	26,3	8,1
Rural	28,4	4,2	14,8	35,9	22,3	13,6

T_{ar} (temperatura média do ar); DP (Desvio padrão); CV (Coeficiente de variação); T_{máx} (Temperatura máxima absoluta do ar); T_{mín} (Temperatura mínima absoluta do ar); Amp (amplitude térmica absoluta).

TABELA 04 - Valores médios diários de temperatura do ar média, máxima absoluta, mínima absoluta, desvio padrão, coeficiente de variação e amplitude térmica absoluta.

Umidade relativa do ar

Em relação à variação média horária da umidade relativa do ar, esta apresentou um padrão característico da Região Equatorial, alcançando os menores valores entre 13 e 16 horas em todos os ambientes estudados. A partir

deste horário, apresentou um aumento gradativo, atingindo os valores mais elevados por volta das 6 horas da manhã (Figura 02).

Devido às características de alta disponibilidade energética e de umidade atmosférica, os valores médios diários de umidade relativa do ar foram também elevados em todos os locais estudados, oscilando entre um mínimo de 60,6% no bairro central até um máximo de 71,9% no ambiente rural. Apesar desta característica geral, foram observadas maiores amplitudes no comportamento horário da umidade relativa do ar, tendo alcançado no ambiente rural o valor absoluto de 94,2%, durante o período de estudo.

Durante o período entre 1 e 6 horas a umidade relativa do ar apresentou-se bastante elevada, com valores máximos absolutos de 94,2% observado no ambiente rural, onde a falta de edificações, associada a proximidade de áreas verdes, proporcionaram um maior resfriamento noturno. O menor valor absoluto também foi observado entre 11 e 16 horas, na área rural, em função das características mencionadas anteriormente.

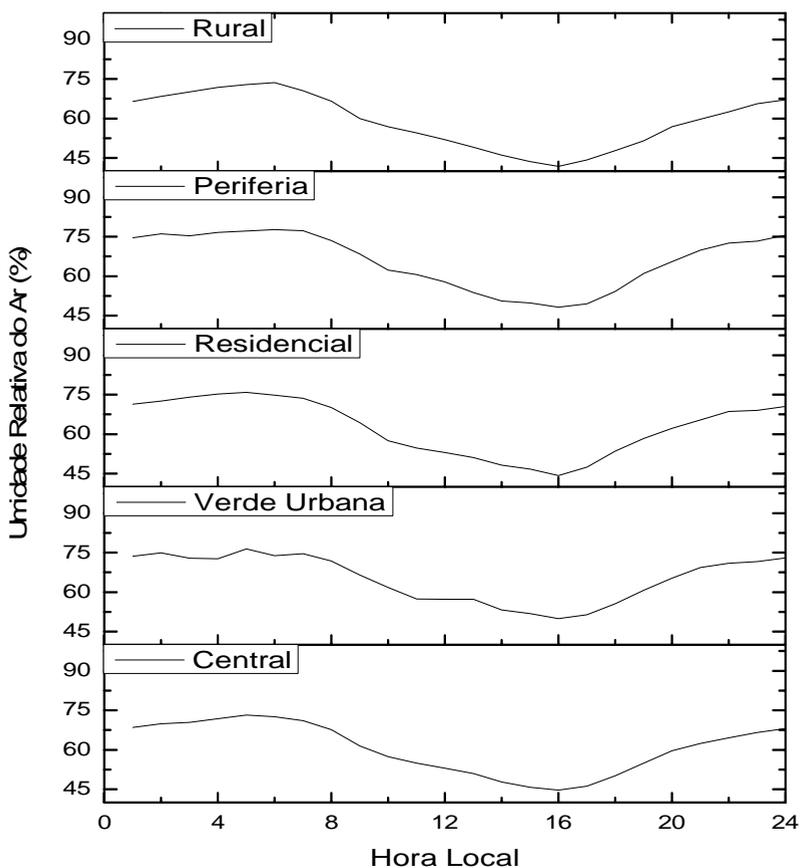


Figura 02 - Distribuição média horária da umidade relativa do ar nos sítios amostrais.

Em relação às umidades relativas médias diárias, ocorreram pequenas variações, apesar das diferenças encontradas na tipologia de uso e ocupação do ambiente urbano, embora os maiores valores sempre ocorressem nos locais com características de maior cobertura vegetal e menor porcentagem de calçamento e edificações, além de baixo nível de atividade antrópica, enquanto que os mínimos ocorreram em locais próximos de áreas muito urbanizados. Este comportamento também foi observado quando analisados os valores extremos deste elemento meteorológico.

As amplitudes diárias absolutas apresentaram valores bem elevados, sendo o maior valor registrado na área rural, certamente associado com ao forte resfriamento noturno alternado com o forte aquecimento diurno, o que pode ser justificado pela melhor qualidade do ar neste ambiente. Os valores diários da umidade relativa do ar média, máxima e mínima absoluta, assim como, do desvio padrão, coeficiente de variação e amplitude absoluta nos diferentes ambientes estudados são apresentados na Tabela 05.

Bairros	UR (%)	DP (%)	CV (%)	UR _{máx} (%)	UR _{mín} (%)	Amp (%)
Central	60,6	10,5	17,6	81,2	38,0	43,1
Verde urbana	66,2	9,6	14,5	87,1	44,1	43,0
Residencial	62,8	11,1	17,6	81,2	33,0	48,2
Periférico	66,0	10,7	16,3	83,4	44,2	39,2
Rural	71,9	18,9	26,2	94,2	36,5	57,8

UR (Umidade relativa média do ar); DP (Desvio padrão); CV (Coeficiente de variação); UR_{máx} (Umidade relativa máxima absoluta do ar); UR_{mín}(Umidade relativa mínima absoluta do ar); Amp (amplitude absoluta da umidade relativa do ar).

TABELA 05 - Valores médios diários de umidade relativa do ar média, máxima absoluta, mínima absoluta, desvio padrão, coeficiente de variação e amplitude absoluta.

Relações entre a temperatura do ar e elementos da estrutura urbana

Dentre as análises de regressões realizadas entre as temperaturas médias, máximas e mínimas do ar e a porcentagem de calçamento, edificações e arborização, foi verificado que o melhor ajuste de regressão linear ocorreu entre os valores de arborização e os valores de temperaturas médias e mínimas do ar, sendo que os valores de regressão linear simples entre a porcentagem de vegetação e as temperaturas máximas não foram significativos, com um coeficiente de determinação da ordem de 0,1 ($p > 0,05$). Deste modo, a relação entre percentual de arborização e temperaturas médias e mínimas do ar, apresentaram coeficientes de determinação (R^2) de 0,81 e 0,80, respectivamente (Figuras 03 e 04). Estes coeficientes sugerem que a variação ou taxa de diminuição das temperaturas (médias e mínimas) decresce na proporção de -3,3% (para cada grau de aumento percentual de arborização). Além disso, somente a

variação da percentagem da arborização explica 80%, em média, a variação da temperatura urbana em Santarém-PA, com uma significância $p < 0,05$, altamente confiável. Em termos de variação horária estes foram os resultados mais importantes.

Quando testadas as regressões entre as temperaturas médias, máximas e mínimas do ar e os demais elementos da estrutura urbana, como o percentual de calçamento, edificações e asfalto, verificou-se que, na maioria dos casos, este ajuste foi fraco ou razoável, apresentando coeficientes de determinação (R^2) variando entre 0,22 a 0,55. Apesar destes valores encontrados, novamente as temperaturas médias e mínimas do ar foram as que apresentaram melhores significâncias.

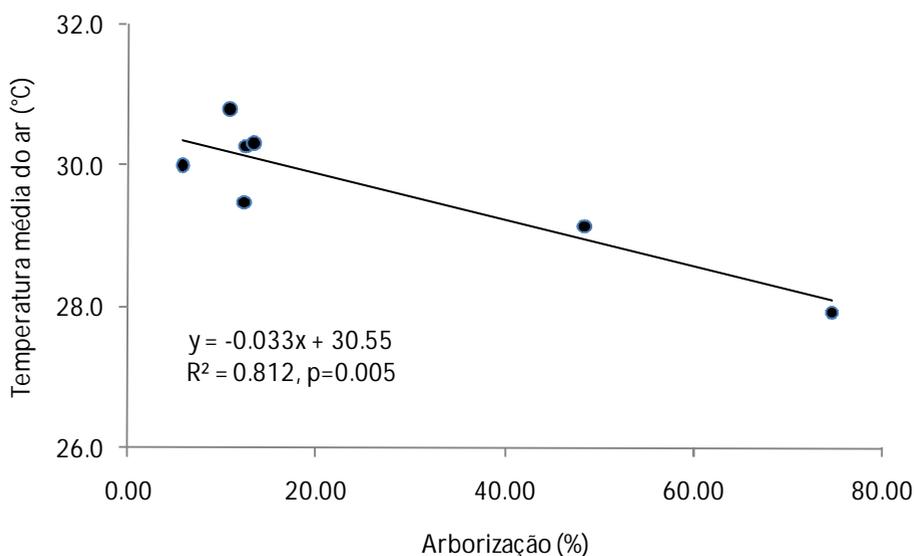


Figura 03 - Curva de regressão entre a temperatura média diária do ar e a porcentagem de vegetação cidade de Santarém-PA.

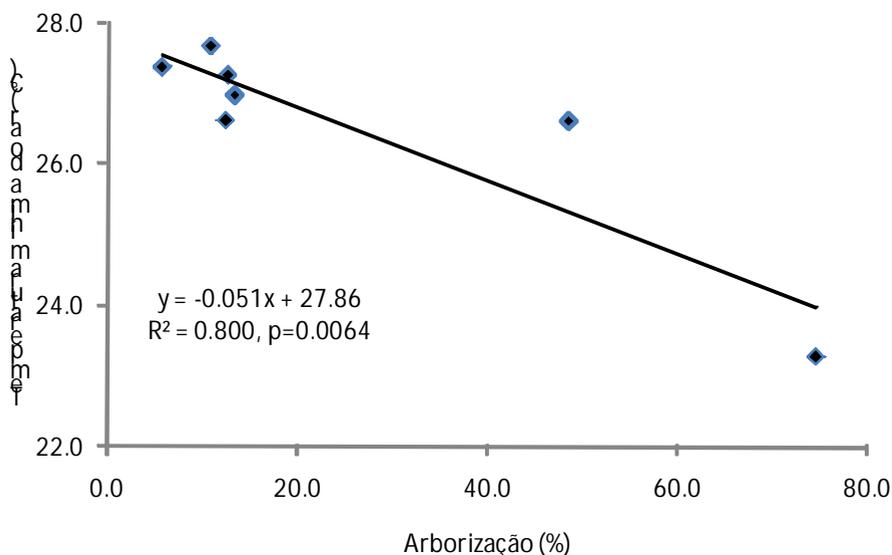


Figura 04- Curva de regressão entre a temperatura mínima média diária do ar e a porcentagem de vegetação na cidade de Santarém-PA

Os resultados obtidos mostram que as temperaturas do ar sofreram influência dos diversos padrões de uso do solo urbano. Quanto aos elementos da estrutura urbana de Santarém que são capazes de proporcionar variações meteorológicas significativas, a vegetação apresentou um papel fundamental no sentido de proporcionar temperaturas mais amenas. Em todos os locais analisados, observou-se que a maior influência foi atribuída a vegetação, no sentido de amenizar as temperaturas do ar, pelo efeito combinado do sombreamento do local e reflexão da radiação solar incidente, diminuindo deste modo a energia disponível para o aquecimento do ar nestes ambientes, tornando-os menos desconfortáveis termicamente.

Análises Estatísticas

Como as distribuições de temperatura do ar nos diversos sítios amostrais não foram normais foi utilizado testes de hipóteses não paramétricos, cujos resultados do Teste de Kruskal-Wallis resultou em $p = 0,0518$, muito próximo do limite de rejeição da igualdade das médias). Neste caso, para nível de significância de 0,05, não houve significativa diferença entre as os valores médios de temperatura do ar. Apesar deste surpreendente resultado estatístico, a explicação não é contraditória ao que foi apresentado no texto de análise pelos autores.

Com efeito, o teste de hipótese de Kruskal-Wallis sugeriu que, em face às escalas de distâncias envolvidas entre os bairros, ocorreram certamente diferenças esperadas entre as temperaturas do ar entre os sítios estudados, com destaque entre o sítio central e o sítio rural. Contudo, estas não puderam ser afirmadas como significativamente diferentes. A surpreendente "igualdade" entre as médias pode ser interpretada de diversas formas. Uma hipótese é quanto a insuficiente distanciamento da escala espacial entre os sítios amostrais. A segunda hipótese é que a natureza das mudanças espaciais do aparelho urbano

ainda não foi suficientemente forte para causar diferenças significativas nas respostas dos sensores dos equipamentos distribuídos espacialmente nos diversos sítios de monitoramento. A terceira hipótese é quanto ao efeito de sistemas convectivos nesta época do ano, cujas temperaturas tendem a se homogeneizar. Tais hipóteses nos remetem ao fato de que todas as temperaturas médias do ar tenderam a ser semelhantes entre si no horizonte temporal-espacial, sendo que tais diferenças podem ser acentuadas quando o tempo meteorológico se torna mais seco.

Esta mesma análise se aplicou também às distribuições da umidade relativa do ar. Neste caso também não houve significativa diferença entre os valores médios da umidade relativa do ar, o que sugere que não houve diferenças de intensidade das respostas higrométricas sob influência de horários ou elementos urbanos que as influenciam. As diferenças apresentadas foram, portanto, devidas ao acaso e não por influência de alterações físicas no ambiente urbano.

Conclusões

Concluiu-se que a estrutura urbana apresentou influência no padrão de variação médio horário e diário da temperatura e umidade relativa do ar nos diferentes locais estudados, mas estas diferenças não foram significativas. Portanto, considerando-se que as variáveis de interesse (temperatura e umidade relativa do ar) apresentaram variâncias desiguais e não-normalidade da distribuição dos dados, foi aplicado um teste de hipótese não-paramétrico de Kruskal-Wallis para inferir sobre esta conclusão.

Apesar da temperatura do ar ter se apresentado mais elevada no ambiente eminentemente urbano, quando comparadas ao ambiente rural, a perceptível diferença observada experimentalmente entre estas não foi considerada estatisticamente significativa. Isto é, manteve-se a hipótese de nulidade ou igualdade entre as médias, apesar do teste de Kruskal-Wallis praticamente se encontrar no limite desta significância ($p = 0,0518$) ao nível de 95% de confiança, muito próxima da rejeição (ou diferença entre as médias).

Por outro lado, as análises de regressão lineares mostraram que o percentual de arborização explica em média 80% da variação da temperatura média do ar (e mínima), corroborando a hipótese geral da literatura de que a vegetação é um dos elementos mais importantes para o estudo da variação térmica em um ambiente urbano.

Finalmente é possível afirmar, para o caso da cidade de Santarém-PA, que entre os principais elementos da estrutura urbana analisados no presente estudo, a vegetação urbana foi a variável ambiental de destaque que melhor explicou a influência do padrão de variabilidade média horária e diária na zona urbana estudada. Do ponto de vista das políticas públicas de planejamento ambiental, estes resultados são fundamentais para a recomposição ou reflorestamento de áreas degradadas.

Agradecimentos

Agradecemos ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo financiamento parcial desta pesquisa. Ao INMET – Instituto Nacional de Meteorologia pela

disponibilização dos dados climatológicos e ao Projeto de Grande Escala da Biosfera – Atmosfera da Amazônia - LBA, pela disponibilização dos equipamentos para a aquisição dos dados meteorológicos. Ao Programa de Pós-Graduação em Recursos Naturais da Amazônia – PPGRNA – UFOPA, pelo desenvolvimento da presente pesquisa.

Referências

- ANDRADE, H. J. N. Bioclima humano e Temperatura do ar em Lisboa. Dissertação de Doutorado em Geografia Física, Faculdade de Letras da Universidade de Lisboa: 435p., 2003.
- COSTA, A. C. L. Estudo de variações termo-higrométricas em cidade equatorial devido ao processo de urbanização: O caso de Belém-PA. Tese (Doutorado) - Escola de Engenharia de São Carlos. Universidade de São Paulo, 1998.
- GARTLAND, L. Ilhas de calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas. Tradução.: Silvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010.
- IBGE, INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. 2010. Cidades. Disponível em < <http://www.ibge.gov.br/cidadesat/default.php>> Acesso em julho de 2009.
- LANDSBERG, H. E. O clima das cidades. Tradução.: Prof. Dr. Tarik Rezende de Azevedo. Revista do Departamento de Geografia, n° 18, p. 95-111, 2006.
- LOMBARDO, M. A. A ilha de calor nas metrópoles - O exemplo de São Paulo. Ed. Huciteck. 1985, 224p.
- MONTEIRO, C. A. F. Teoria e clima urbano. São Paulo, 1975. Tese (Livre docência em Geografia). Instituto de Geografia da USP, São Paulo. Séries de Teses e Monografias, 1976.
- MONTEIRO, C. A. F.; MENDONÇA F. A. Clima urbano. São Paulo: Contexto, 2003. 192p.
- NASCIMENTO, C. C. Clima e morfologia urbana em Belém. Belém: UFPA. NUMA, 1995. 157p.
- OKE, T. R. Boundary Layer Climates. 2 ed. Londres: Ethuen& CO, 1978. 372 p.
- OKE, T. R. Boundary Layer Climates. 2ª Edição, 1987, p.460.
- OLIVEIRA, J. M. G. C. Expansão urbana e periferização de Santarém-PA, Brasil: questões para o planejamento urbano. Actasdel X Colóquio Internacional de Geocrítica. Barcelona: Univesitat de Barcelona, www.ub.es/geocrit/menu.htm, 2008.
- PEREIRA, J. C. M. Importância e Significado das cidades médias na Amazônia: uma abordagem a partir de Santarém-PA. Dissertação de mestrado. Belém: NAEA/UFPA, 2004.
- SANTOS, K. P. C; CUNHA, A. C; COSTA, A. C. L; e SOUZA, E. B. (2012). Índices de tendências climáticas associadas à "ilha de calor" em Macapá (1968-2010). Revista Brasileira de Ciências Ambientais, v.19, n.3, p.325-336.
- SILVA JÚNIOR, J. A. Avaliação de parâmetros micrometeorológicos, do conforto e da percepção térmica na área urbana da cidade de Belém- PA. 2012, 157f., Tese de Doutorado em Desenvolvimento Sustentável do Trópico Úmido, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Universidade Federal do Pará, Belém, 2012.
- SILVA JÚNIOR, J. A.et. al. Análise da Distribuição Espacial do Conforto Térmico na Cidade de Belém, PA no Período Menos Chuvoso. Revista Brasileira de Geografia Física, v.2, 2012, p.218-232.
- UCHÔA, P. W. S. Estudo do conforto térmico na cidade de Santarém - Pará.2010, 77f., Dissertação de Mestrado em Recursos Naturais da Amazônia, Universidade Federal do Oeste do Pará, Santarém, 2010.