



Revista Brasileira de Geografia Física

Homepage: www.ufpe.br/rbgfe



Análise da Distribuição Espacial do Conforto Térmico na Cidade de Belém, PA no Período Menos Chuvoso

João de Athaydes Silva Junior¹, Antonio Carlos Lôla da Costa², Juarez Carlos Brito Pezzuti³, Rafael Ferreira da Costa⁴, David Galbraith⁵

¹ Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Campus Profissional, Rua Augusto Corrêa, nº 01, Guamá, Belém, PA, Brasil, e-mail: athaydes@ymail.com;

² Universidade Federal do Pará, Instituto de Geociências, Faculdade de Meteorologia, Campus Básico, Rua Augusto Corrêa, nº 01, Guamá, Belém, PA, Brasil, e-mail: lola@ufpa.br;

³ Universidade Federal do Pará, Núcleo de Altos Estudos Amazônicos, Campus Profissional, Rua Augusto Corrêa, nº 01, Guamá, Belém, PA, Brasil;

⁴ Universidade Federal do Rural da Amazônia, Centro Universitário de Parauapebas, Rua A, s/n, Cidade Nova, Parauapebas, PA, Brasil;

⁵ School of Geosciences, University of Edinburgh, Drummond Street, Edinburgh EH8 9XP, UK.

Artigo recebido em 18/02/2012 e aceito em 13/04/2012

RESUMO

As pesquisas sobre o conforto térmico surgiram devido às preocupações com a melhoria das condições de trabalho e da qualidade de vida da população. Neste estudo se analisaram as condições de conforto térmico a qual a população da cidade de Belém está submetida, através de medidas de campo e aplicação do Índice de Calor (IC). Os resultados encontrados indicaram que na maior parte do período diurno a cidade é desconfortável termicamente, com base nos valores encontrados do IC. Os bairros com maior porcentagem de impermeabilização do solo e menos cobertura vegetal apresentou maior desconforto térmico, indicando que os elementos urbanos contribuem para o clima da cidade.

Palavras-chave: clima urbano, conforto térmico, meteorologia, vegetação.

Analysis of the Spatial Distribution of the Thermal Comfort in the City of Belém, PA in the Less Rainy Season.

ABSTRACT

Research into thermal comfort has started due to concerns about the improvement of work conditions and the quality of life of the population. In this study we analyzed thermal comfort conditions in the city of Belém through field measurements and application of the Heat Index (HI). Our results indicated that the city is thermally uncomfortable throughout most of the daytime period. The neighborhoods with the highest percentage of impermeable soils and lowest vegetation cover had the highest thermal discomfort, indicating that urban elements contribute to the climate of the city.

Keywords: urban climate, thermal comfort, meteorology, vegetation.

1. Introdução

No decorrer da história da humanidade

sempre houve a interação sociedade-clima, independente da forma que ocorreu, positivamente ou não. Quando essa interação

* E-mail para correspondência: athaydes@ymail.com
(Silva Júnior, J. A.).

se configurou de forma positiva, ocorreu a consolidação de inúmeras civilizações pelo planeta e, na segunda hipótese, a história amarga inúmeros casos de desgraças, fome, crises da humanidade, restando só a adaptação ao meio ou a migração em massa para outras regiões devido às condições climáticas que os povos foram expostos (Monteiro & Mendonça, 2001). O surgimento das questões ambientais no decorrer da história está diretamente ligado a esses fenômenos que assolaram e continuam assolando a humanidade, alguns eventos de origens climáticas como as secas, as enchentes, os furacões, os efeitos dos fenômenos ENOS (El Niño/La Niña) e outros de causas naturais, como terremotos, erupções vulcânicas, tsunamis e etc. As ocorrências desses eventos extremos deveriam servir para advertir a humanidade para os complexos problemas socioambientais gerados por esses fenômenos, tentando assim, descobrir maneiras para abrandá-los, quando for possível, e adaptar-se aos seus efeitos.

Os primeiros estudos relacionados ao conforto térmico datam do início do século XIX na Europa, quando teve início o movimento para melhoria das condições de trabalho nas indústrias de metalúrgicas e têxteis, em vista dos frequentes acidentes e enfermidades devido à influência do calor.

As condições de conforto térmico são funções das atividades desenvolvidas pelo indivíduo, das suas vestimentas e das

variáveis ambientais que proporcionam as trocas de calor entre o corpo e o ambiente (Fanger, 1972). A identificação e quantificação dos fenômenos climáticos urbanos e das características térmicas de uma cidade, assim como, a sua correlação com diversos outros fatores, são de grande importância no sentido de dar subsídio a projetos de planejamento urbano, favorecendo a melhoria da qualidade de vida de seus habitantes (Oke, 1987).

2. Material e Métodos

A Cidade de Belém, a capital do estado do Pará, que faz divisas ao oeste com a Baía do Guajará, ao sul com o rio Guamá, ao norte com a Baía de Santo Antônio e a leste com o município de Ananindeua, possui uma população de 1.393.399 habitantes (IBGE, 2010). O município possui uma área territorial de 1.065 km², em que estão compreendidas 39 ilhas. A cidade de Belém está sob influência do regime de marés, possui uma altitude média de 10 metros acima do nível médio do mar, com um relevo predominantemente plano, com 60 % de sua área acima da cota de 4 metros em relação ao nível médio do mar. O clima em Belém, segundo a classificação de Köppen (1900-1936) é do tipo Am, ou seja, clima tropical chuvoso de monção (Silva Junior *et al.*, 2011). A média anual climatológica da temperatura do ar é de 26,0 ± 0,4°C, com máximas e mínimas variando de 31,5 ± 0,7 a 22,0 ± 0,3°C, respectivamente. A

pluviosidade média anual é de $2.858,7 \pm 76,6$ mm ano⁻¹ com maior volume no período chuvoso (dezembro a maio), correspondendo a 71,2% do total anual, enquanto que os 28,8% restantes são distribuídos nos meses de junho a novembro, Costa, (1998).

Para a coleta dos dados meteorológicos foram utilizados 08 microloggers modelo HOBO U10, (Onset, EUA) que realizaram registros a cada 30 minutos, no período das 06 às 19 horas, além de uma Estação Meteorológica Automática (EMA) (Campbell Sci, EUA) com datalogger modelo CR-1000 e sensores de temperatura do ar (°C) e de umidade relativa do ar (%) modelo HMP45C, que registraram as informações a cada 30 minutos. A EMA está localizada em uma área central da cidade, no bairro de São Brás (P-07). Na Figura 1 está ilustrado o mapa da cidade de Belém, com a localização dos bairros. A coleta dos dados ocorreu entre os dias 17 e 19 de novembro de 2010, no horário das 06 às 19 horas devido à falta de segurança nos bairros durante o período noturno impossibilitando o registro durante as 24 horas, na maioria dos os pontos. As medidas foram realizadas simultaneamente, em locais previamente selecionados, de forma a contrastar suas características de cobertura do solo, sociais e ambientais, conforme ilustrado na Tabela 1. Esses três dias foram escolhidos

devido os mesmos serem bastante representativos da época menos chuvosa na região. Os microloggers foram aferidos junto com a EMA antes de serem utilizados em campo, e foram instalados no interior de abrigos adequados para proteger os sensores da radiação solar direta. Foram utilizados dados das estações meteorológicas (automática e convencional) do Instituto Nacional de Meteorologia - INMET e do aeroporto internacional de Belém Júlio Cezar Ribeiro/Val-de-Cães.

Na a descrição física do entorno dos locais de medidas, adotou-se um raio de influência de aproximadamente 800 metros.

Neste estudo foi utilizado o Índice de Calor (IC), derivado do índice humidex desenvolvido por Winterling no ano de 1978 e adaptado com base nos trabalhos de Steadman (1979). O IC foi elaborado a partir de medidas subjetivas de quanto calor se sente para determinados valores de temperatura e umidade relativa do ar, nas situações em que as temperaturas estão elevadas, estando à pessoa à sombra em condições de vento fraco. Este índice foi testado na cidade de Belém por Silva Junior *et. al.*, (2010), onde o índice apresentou uma boa correlação com a percepção térmica dos indivíduos entrevistados durante uma campanha de coleta de dados.

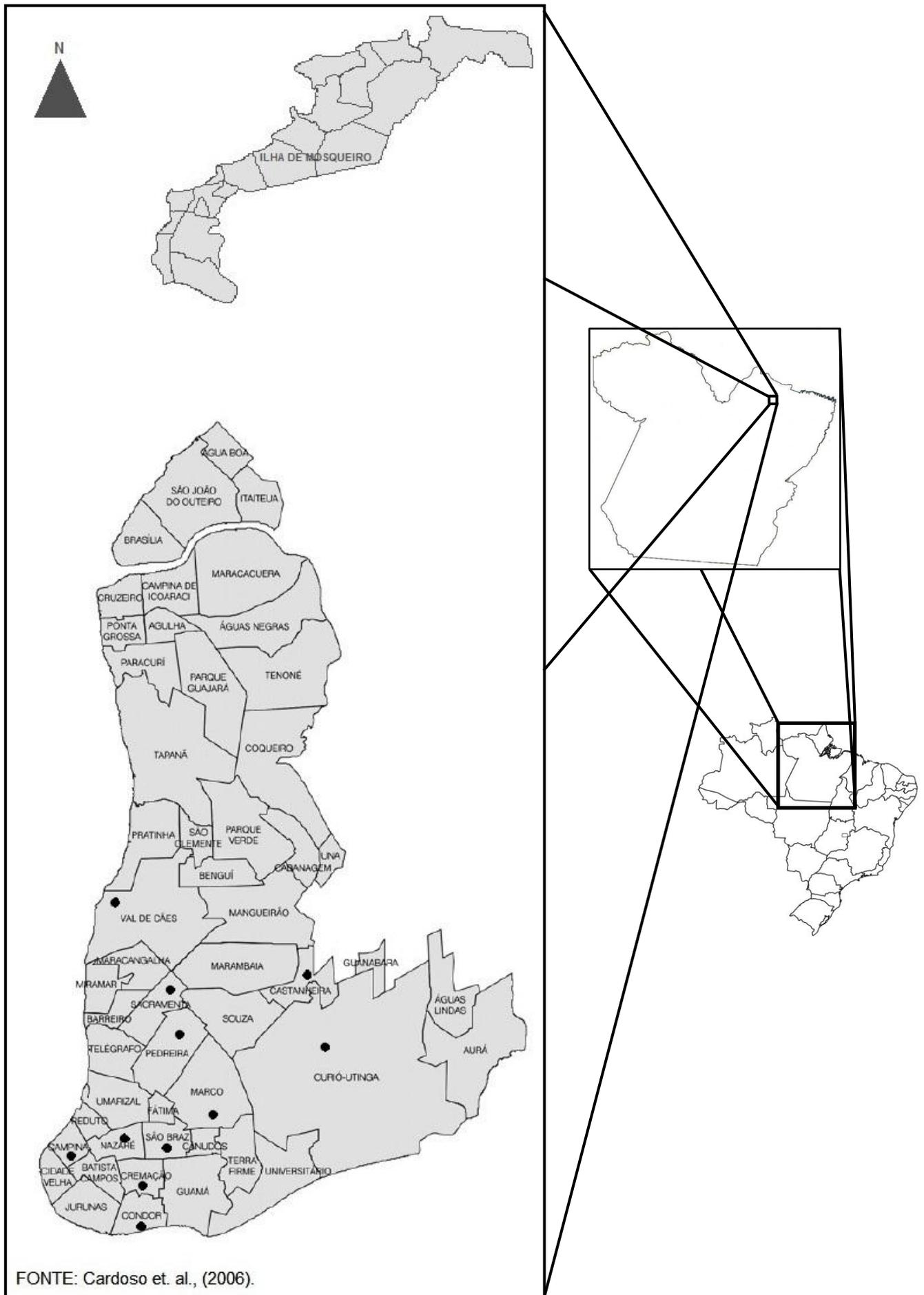


Figura 1. Mapa ilustrativo da cidade de Belém com a localização dos bairros.

Tabela 1. Localização e caracterização dos pontos de coleta de dados na cidade de Belém.

Ponto	Localização	Descrição física do local
P-01	Travessa Quintino Bocaiuva, no cruzamento com a Avenida Nazaré, no bairro de Nazaré.	Situado na zona central da cidade, possui grande número de edificações, o solo é coberto basicamente por asfalto nas ruas e concreto nas calçadas, que são bastante sombreadas por mangueiras, sendo o trânsito de veículos nesta área bastante intenso.
P-02	Travessa Padre Eutíquio, no cruzamento com a Avenida Alcindo Cacela, no bairro da Condor.	Situado na zona sul da cidade, sendo uma área periférica, onde as edificações são, predominantemente, baixas com no máximo dois andares. Existe pouca vegetação nesta área, o solo é coberto por asfalto nas ruas e cimento nas calçadas, sendo o trânsito de veículos não muito intenso.
P-03	Avenida Conselheiro Furtado, no cruzamento com a Avenida Alcindo Cacela, no bairro da Cremação.	Situado na zona sul da cidade, onde existe pouca vegetação, o solo é coberto basicamente por asfalto e cimento, o trânsito de veículos é intenso, as edificações são, predominantemente, altas compostas por edifícios, existindo também edificações menores.
P-04	Avenida Almirante Barroso, no cruzamento com a Travessa Humaitá, no bairro do Marco.	Situado em uma área central da cidade, onde a cobertura do solo é, predominantemente, composta por asfalto e cimento, possui poucas áreas com vegetação, o trânsito de veículos é bastante intenso e as edificações são, predominantemente, baixas, com poucos edifícios altos.
P-05	Avenida Pedro Miranda, no cruzamento com a Travessa Mauriti, no bairro da Pedreira.	Situado na zona oeste da cidade, a cobertura do solo predominante é o asfalto e o cimento, possui algumas áreas com vegetação, as edificações são predominantemente baixas, com três andares no máximo, o trânsito de veículos e pedestres são altos.
P-06	Rua Gaspar Viana, na Praça das Mercês, no bairro da Campina.	Situado na zona central da cidade, onde está localizado o centro comercial, com edifícios históricos com no máximo três andares e alguns edifícios altos mais novos, a área vegetada é pequena devido as ruas serem estreitas. A cobertura do solo é composta por calçamentos de paralelepípedo, asfalto e cimento, e o trânsito de pedestres é mais intenso que o de veículos, nas ruas centrais, mas nas ruas do entorno, o fluxo de veículos é intenso.

continuação

P-07	Avenida José Bonifácio, no bairro de São Brás, na área da Companhia de Saneamento do Pará.	Situado na zona central da cidade, onde a cobertura do solo predominante é o calçamento por asfalto e cimento, possui poucas áreas arborizadas, apresentam edificações altas e baixas, o trânsito de veículos é intenso.
P-08	Avenida Julio Cesar, Aeroporto Internacional de Belém, no bairro de Val-de-Cães.	Situado na zona oeste da cidade, e um pouco afastada do centro urbano, onde o calçamento predominante é asfalto (pista do aeroporto) e concreto (estacionamento e as edificações dos terminais). A vegetação é composta, basicamente, por gramíneas nas laterais das pistas e algumas espécies arbóreas no entorno do aeroporto, não existindo muitas edificações na região.
P-09	Avenida Senador Lemos, no cruzamento com a Avenida Doutor. Freitas, no bairro da Sacramenta.	Situado na zona oeste da cidade, a cobertura do solo é composta por asfalto e cimento, há pouca vegetação, as edificações são baixas devido à proximidade do aeroclube e o trânsito de veículos é bastante intenso.
P-10	Estrada da Ceasa, no bairro do Curió - Utinga, Estação Meteorológica Convencional do INMET.	Situado na zona leste da cidade, possui uma área bastante vegetada, com poucas edificações e vias pavimentadas, e um baixo trânsito de veículos. A Área de Preservação Ambiental (APA) de Belém é vizinha a esta estação.
P-11	Avenida Almirante Barroso, no bairro da Castanheira, Estação Meteorológica Automática do INMET.	Situado na zona leste da cidade e possui pouca pavimentação, as edificações são predominantemente baixas com altura média de dois pavimentos, o solo é coberto por grama e poucas espécies arbóreas.

Após os valores da temperatura do ar serem convertidos para fahrenheit, foi calculado o IC com a Equação 1, e, foram aplicadas as suas correções quando necessárias e posteriormente, os valores de IC foram convertidos em graus Celsius. Quando a umidade relativa do ar é inferior a 13% e a temperatura encontra-se entre 26,66°C e

44,44°C, então subtrai-se o valor encontrado na Equação 2 do valor da Equação 1. No entanto, se a umidade relativa do ar for superior a 85% e a temperatura estiver entre 26,66°C e 30,55°C, o valor encontrado na Equação 3 é somado ao valor da Equação 1. Quando os valores da temperatura e umidade relativa do ar não se enquadrarem nas duas

opções de ajuste é porque não existe a necessidade de fazê-los. Os níveis de alerta e suas prováveis consequências para a saúde

humana são apresentados na Tabela 2. O cálculo do IC é obtido pela expressão:

$$IC = -42,379 + 2,04901523 \times T + 10,14333127 \times UR - 0,22475541 \times T \times UR - 6,83783 \times 10^{-3} \times T^2 - 5,481717 \times 10^{-2} \times UR^2 + 1,22874 \times 10^{-3} \times T^2 \times UR + 8,5282 \times 10^{-4} \times T \times UR^2 - 1,99 \cdot 10^{-6} \times UR^2 \quad \text{Eq. 1}$$

Onde, T é a temperatura do bulbo seco (°F) e UR é a umidade relativa do ar (%).

$$AJUSTE = [(13 - UR)/4] \times \sqrt{\{[17 - |(T - 95)|]/17\}} \quad \text{Eq. 2}$$

$$AJUSTE = [(UR - 85)/10] \times [(87 - T)/5] \quad \text{Eq. 3}$$

Tabela 2. Níveis de alerta do IC e suas prováveis consequências para a saúde.

Nível de Alerta	Índice de Calor	Sintomas
Perigo Extremo	54°C ou mais	Insolação; risco de acidente vascular cerebral (AVC) iminente.
Perigo	41,1°C a 54°C	Câimbras, insolação, esgotamento físico. Possibilidade de danos cerebrais (AVC) para exposição prolongada com atividades físicas.
Cautela Extrema	32,1°C a 41°C	Possibilidade de câimbras, de esgotamento físico e insolação para exposições prolongadas e atividades físicas.
Cautela	27,1°C a 32°C	Possível fadiga em casos de exposições prolongadas e prática de atividades físicas ao ar livre.
Não há alerta	Menor que 27°C	Não há problemas

Fonte: Adaptado de National Weather Service, Weather Forecast Office, NOAA.

Com os resultados obtidos após o cálculo do IC, foi utilizado um software para interpolar os valores para o restante da cidade através do método de kriging que é baseado em equações lineares. Para minimizar os efeitos de borda, foram utilizadas informações de estações meteorológicas situadas nos municípios de Barcarena, Soure e Castanhal, que são vizinhos a Belém. A interpolação espacial dos pontos pelo método da kriging foi adotada por produzir melhores estimativas, pois é embasada na não tendenciosidade do estimador e na variância

mínima das estimativas, além de apresentar uma ótima qualidade estatística, Mello *et. al.*, (2003). Segundo Reichardt & Timm (2012), o método de kriging é a melhor técnica de interpolação linear, pois durante a execução dos cálculos são atribuídos pesos aos valores dos pontos amostrais, e estes pesos variam em função da distância que separa o ponto a ser estimado do ponto de valor conhecido.

A caracterização do tipo de cobertura do solo foi realizada com o uso de uma imagem do satélite SPOT em alta definição da cidade de Belém, com auxílio da ferramenta de

classificação supervisionada do software de interpretação e análise de imagens orbitais. Esta metodologia é um processo que leva pontos (pixels) ou partes de uma imagem a serem atribuídas a uma classe de um conjunto de classes. Esse procedimento usa as propriedades estatísticas dos dados da imagem (valores dos pixels) para estabelecer as fronteiras entre os conjuntos de dados que se agrupam naturalmente, gerando a porcentagem de cada classe. Havia nessas análises três classes denominadas: urbanização, vegetação e outras. Na classe urbanização se considerou os tipos de pavimentação (asfalto, concreto, e ruas não pavimentadas) e as edificações (edifícios, residências e etc.) e na classe vegetação levou-se em consideração todos os tipos de vegetações (gramados, árvores e etc.). A terceira classe, “outros” foi desprezada neste trabalho, pois tratava de pixels classificados nas duas classes anteriores (vegetação e urbanização).

3. Resultados e Discussão

Foram analisados os mapas (Figura 2 e Figura 3) gerados a partir de Índices de Calor (IC), calculados no turno diurno, intervalo das 06 às 19 horas, no período de 17 a 19 de novembro de 2010. Possibilitando determinar as áreas com maior e menor conforto térmico da cidade de Belém do Pará. Na Figura 2a, para o intervalo das 06 às 08 horas, se observou que a área menos confortável termicamente é a região central da cidade,

onde a cobertura da superfície é composta basicamente por áreas edificadas e asfaltadas (área sudoeste do mapa), e que está na faixa de cautela da escala do IC (27,1 a 32°C). Esta área central apresenta esse comportamento devido ser uma área mais verticalizada, e possuir a capacidade de armazenar mais calor que a região adjacente, fazendo com que o calor absorvido durante o dia seja liberado de forma mais lenta após o pôr do sol, mantendo-se aquecida por mais tempo. Uma particularidade na área central da cidade foi observada no bairro de Nazaré (P-01) no intervalo das 06 às 08h. Pois, apesar de elevada urbanização do bairro, acima de 77%, foi observado um IC de 26,6°C, dentro da faixa de conforto pleno. Isto decorre do enorme sombreamento provocado pelas edificações de grandes prédios residenciais e comerciais na área. O que não permite que os raios solares atinjam a superfície nas primeiras horas da manhã, provocando uma sensação térmica confortável neste horário. O bairro que se apresentou mais confortável termicamente, no início da manhã, foi o Curió - Utinga (P-10) com IC=25,2°C, Este bairro contém a Área de Preservação Ambiental (APA) de Belém. Os tipos de vegetação e de cobertura do solo exercem papel fundamental nas características térmicas de uma região. Nas áreas menos confortáveis termicamente, os bairros do Marco (P-04), Campina (P-06), São Brás (P-07) e, Val-de-Cães (P-08), o valor máximo do IC encontrado foi de 27,7°C (faixa de cautela). A diferença térmica foi

causada pela presença da vegetação e pouca cobertura do solo por asfalto e concreto no P-10, comparativamente aos outros bairros. Em média, o IC para a cidade de Belém, nesse horário, foi de 26,7°C.

Na Figura 2b, para o intervalo das 09 às 11 horas, se observou que a toda a cidade está dentro da faixa de cautela, sendo que a área menos confortável termicamente está situada no bairro da Sacramenta (P-09), onde o valor do IC foi de 30,8°C, seguido pelo bairro do Marco (P-04) onde o valor do IC encontrado foi de 30,7°C. Nos bairros da Sacramenta e do Marco as suas características físicas associadas à baixa quantidade de cobertura vegetal, proporcionaram zonas termicamente menos confortáveis. O bairro do Curió-Utinga (P-10) foi o que apresentou a área mais confortável termicamente, com o menor valor

do IC que foi de 27,6°C, neste horário. A média do IC para a cidade, entre 09 e 11 horas, foi de 29,6°C.

Na Figura 2c, no intervalo das 12 às 14 horas, observou-se que toda a cidade está na faixa de cautela do IC, com exceção de duas áreas que estão na faixa de cautela extrema (32,1°C a 41°C). Uma no bairro da Campina (P-06) e outra no bairro do Marco (P-04), onde os valores do IC foram de 32,2°C e 32,4°C, respectivamente. No bairro do Marco, tanto o trânsito intenso, como a baixa cobertura vegetal contribuem para que este seja o local menos confortável termicamente da cidade, nesse horário. Novamente, o bairro do Curió – Utinga (P-10) apresentou a área mais confortável termicamente, com o valor do IC de 29,1°C. A média do IC para a cidade nesse horário foi de 31,0°C.

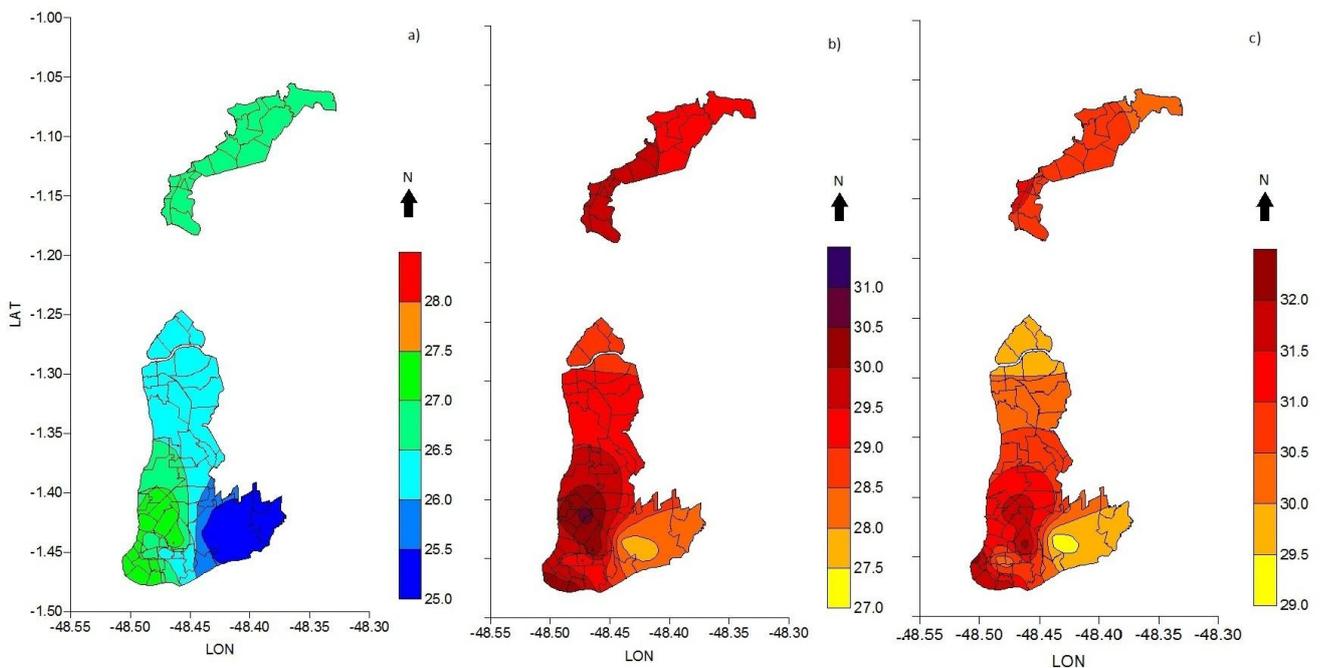


Figura 2. Variabilidade média horária espacial do índice de calor (°C) na cidade de Belém do Pará, no período de 17 a 19 de novembro de 2010. Das 06 às 08 horas (a), das 09 às 11 horas (b), das 12 às 14 horas (c),

Na Figura 3a, para o intervalo das 15 às 17 horas, as variações dos valores do IC são similares ao intervalo do horário anterior. Estando toda a cidade dentro da faixa de cautela, no entanto, observa-se o início da desintensificação dos valores do IC. O bairro de Val-de-Cães (P-08), que apresentava IC acima dos 31°C, no intervalo das 12 às 14 horas, agora já registra valores de IC abaixo dos 30°C. No entanto, o bairro da Castanheira (P-11), apresentou uma pequena área que foi a menos confortável durante este horário com o IC atingindo 31,6°C, ou seja, 0,9°C acima da média registrada para a cidade nesse horário. Já as regiões mais confortáveis foram a Ilha de Outeiro, o bairro de Maracacuera e a área ao nordeste da Ilha de Mosqueiro, que registraram valores do IC entre 28,5°C a 29,0°C.

Na Figura 3b, no intervalo das 18 às 19 horas, se observou que, com a maior inclinação solar para o poente, os valores do IC reduziram, e criaram-se três áreas distintas, onde os valores do IC continuaram elevados. A menor no bairro do Marco (P-04), outra na área sul da cidade (bairros do Jurunas, Condor (P-02) e Guamá, próximos à beira de um grande rio), bairros estes predominantemente de edificações baixas. A outra área está situada nos bairros da Sacramento (P-09), Marambaia e Souza, mais ao norte da cidade, que são bairros com pouca vegetação e bastante cobertura do solo por pavimentação e casas residenciais. Em todas as figuras analisadas, observou-se que a área que

apresentou o valor mais baixo (IC=26,3°C) foi o bairro do Curió – Utinga (P-10).

Na Figura 3c, se observaram os valores médios diurnos (intervalo das 06 às 19 horas) do IC. Onde se destacaram as áreas mais e menos confortáveis termicamente, na cidade de Belém, no período de 17 a 19 de novembro de 2010. As regiões menos confortáveis foram o bairro do Marco (P-04), no cruzamento da Avenida Almirante Barroso com a Travessa Humaitá e o bairro da Sacramento (P-09), no cruzamento das Avenidas Senador Lemos e Dr. Freitas, Ambos locais possuem características superficiais parecidas de urbanização e vegetação. As áreas mais confortáveis termicamente foram os bairros do Curió - Utinga (P-10), Val-de-Cães (P-08) e Mangueirão.

Costa, (1998) estudando as variações termo-higrométricas na cidade de Belém na década de 90, detectou que no horário das 07 às 09 horas a área mais aquecida era a região do centro da cidade enquanto que a menos aquecida foi à região do bairro do Curió-Utinga. Já no horário das 10 às 12 horas a área de mais aquecida aumentou e continuou sendo a central, no horário das 13 às 15 horas a área mais aquecida foi o bairro do Marco e da Sacramento, e no horário das 16 às 18 horas houve uma leve redução das temperaturas e a mesma tendeu a ser mais homogeneia espacialmente sobre a cidade, permanecendo a área menos quente o bairro do Curió-Utinga, na área da APA da cidade, o

que corrobora com as medidas de conforto térmico realizadas neste estudo. Pezzuto (2007) estudando o ambiente térmico em Campinas encontrou que as áreas com maior impermeabilização do solo e densidade populacional apresentou maiores valores na

temperatura do ar indicando que a urbanização influencia na formação de áreas termicamente mais aquecidas, enquanto que nas áreas com solos mais permeáveis e com menor densidade de habitantes, a temperatura do ar foi menor.

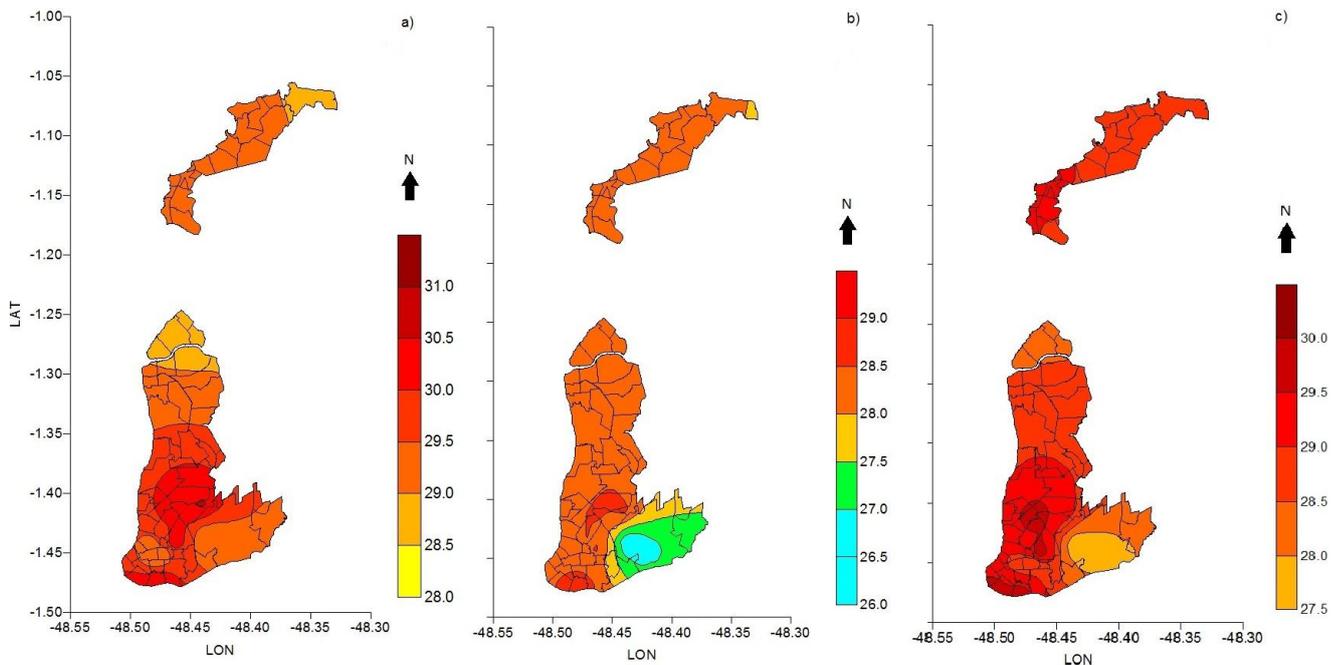


Figura 3. Variabilidade média horária espacial do índice de calor ($^{\circ}\text{C}$) na cidade de Belém do Pará, no período de 17 a 19 de novembro de 2010. Das 15 às 17 horas (a), das 18 às 19 horas (b) e da média das 06 às 19 horas (c).

Na Tabela 3 apresentam-se as caracterizações das superfícies em diversos pontos de medidas e a variabilidade horária do IC em cada ponto. As localidades estudadas que apresentaram as maiores porcentagens de urbanização, acima de 93%, foram os bairros do Marco (P-04), São Brás (P-07), Sacramento (P-09). Os bairros com os menores percentuais de urbanização foram, Curió - Utinga (P-10), com menos de 18% da área, e Val-de-Cães (P-08) já com 60% da área urbanizada. Na área do bairro do Curió -

Utinga encontra-se a maior parte da Área de Preservação Ambiental de Belém e a presença de instituições públicas com grandes áreas, e no bairro de Val-de-Cães tem-se o aeroporto internacional e várias áreas militares, o que retém a expansão da cidade nestas direções, ficando mais preservadas as áreas verdes do entorno da cidade.

A localidade menos confortável termicamente é o bairro do Marco (P-04), no cruzamento da Travessa Humaitá com a Avenida Almirante Barroso, onde todos os

valores do Índice de Calor foram superiores a 30°C, ficando dentro da faixa de Cautela. Sendo que, no horário das 12 às 14 horas esse valor atingiu a faixa de Cautela extrema, com 32,4°C. Por outro lado, a área mais confortável da cidade foi no Bairro do Curió - Utinga (P-10), onde os valores do IC estiveram na faixa de Cautela nos horários de 09 horas até às 17 horas, e para o restante do dia não houve alerta, apresentando conforto térmico pleno, segundo as faixas de conforto térmico, apresentados na Tabela 2.

O bairro da Castanheira (P-11), apesar de registrar elevada urbanização (83,6%), também apresentou índices de calor que representam plenamente o conforto térmico. No início da manhã, das 06 as 08h, apresentou IC = 25,7 °C, o menor dentre todos os pontos amostrais, e durante o período das medidas apresentou uma amplitude de 5,64°C. Também no intervalo das 06 às 08h, há uma situação interessante no bairro de Nazaré (P-01), já na área central de Belém.

Apesar de possuir grande urbanização (77%), o bairro de Nazaré apresentou o IC=26,6°C, dentro da faixa de conforto pleno neste horário. Isto se deve ao sombreamento produzido por grandes prédios localizados na região, que não permite a incidência dos raios solares na superfície do solo nas primeiras horas da manhã. Como houve perda radiativa considerável durante a noite, a superfície se mostra relativamente fria logo ao amanhecer. Um maior aquecimento será observado somente quando o ângulo zenital, formado pelos raios solares e o zênite local, diminuir, isto somente mais próximo ao meio-dia. No bairro da Condor (P-02) a média do IC no período diurno (06 às 19h) foi de 29,7°C, sendo que o horário menos confortável foi das 12 às 14 horas (IC = 31,7°C), e nesta localidade ocorreu uma amplitude diurna de 4,6°C do IC. O bairro da Campina (P-06) foi o segundo menos confortável no horário das 12 às 14 horas, e apresentou uma amplitude diurna de 4,5°C no valor do IC.

Tabela 3. Características da cobertura do solo, Urbanização e Vegetação (%) e Índices de Calor (°C) nos 11 pontos de coletas na área urbana de Belém do Pará.

Ponto	Urbanização (%)	Vegetação (%)	Índice de calor (°C)					
			06-08h	09-11h	12-14h	15-17h	18-19h	06-19h
-	(%)	(%)						
01	77,05	22,79	26,6	29,2	30,4	29,0	28,3	28,7
02	88,84	10,87	27,1	30,2	31,7	30,6	28,9	29,7
03	88,84	10,87	27,2	29,4	30,3	28,8	28,4	28,8
04	96,00	03,38	27,7	30,8	32,4	30,4	28,6	30,0
05	87,26	12,72	27,0	30,2	31,3	29,9	28,5	29,4
06	84,90	04,41	27,7	30,1	32,2	29,8	28,1	29,6
07	93,74	05,92	27,7	28,7	30,6	29,4	28,1	28,9

continuação								
08	60,01	39,99	27,8	29,0	30,1	28,7	28,2	28,8
09	93,42	05,92	27,5	30,8	31,9	30,3	28,6	29,8
10	17,61	79,65	26,8	27,6	29,1	28,8	26,3	27,8
11	83,65	16,28	25,7	29,3	31,1	30,6	28,5	29,0

A Figura 3 apresenta a correlação entre a temperatura do ar e a porcentagem de urbanização na Cidade de Belém. Observou-se que há uma correlação linear entre a urbanização e a elevação da temperatura do ar no local. À medida que aumenta a urbanização, a temperatura do ar também aumenta, indicando que quanto mais urbanizadas as áreas, maiores temperatura

irão ocorrer. O coeficiente de determinação foi $R^2=0,6575$, o que significa que cerca de dois terços da variância da temperatura do ar podem ser explicados pela quantidade do percentual de área urbanizada. O coeficiente de correlação entre a temperatura do ar e a porcentagem de área urbanizada foi de $R=0,81$, indicando uma boa correlação direta entre essas variáveis.

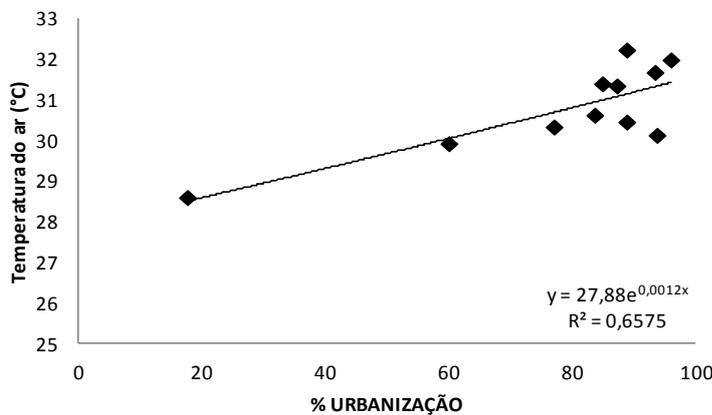


Figura 3. Correlação entre a temperatura do ar a porcentagem de urbanização para a Cidade de Belém do Pará

Na Figura 4 é apresentada a correlação entre a temperatura do ar e a porcentagem de vegetação na cidade de Belém. À medida que a cobertura de vegetação é reduzida, a temperatura do ar aumenta, como esperado. O coeficiente de correlação entre a temperatura do ar e a porcentagem de área vegetada foi de $R=0,82$, indicando uma boa correlação entre

essas variáveis. O coeficiente de determinação encontrado entre essas variáveis foi $R^2=0,6766$, o que significa que 67,66% da variância da temperatura do ar pode ser explicada pela quantidade do percentual de área vegetada. Quanto mais áreas vegetadas no espaço urbano, mais amena a tende ser a temperatura naquele local, pois a vegetação

intercepta a maior parte dos raios solares, impedindo que os mesmos atinjam a superfície, reduzindo assim o seu aquecimento. Santos *et al.*, (2011) ao estudar

o campo térmico em João Pessoa, também detectou que as áreas mais vegetadas dentro do campus da UFPB registraram as menores temperaturas.

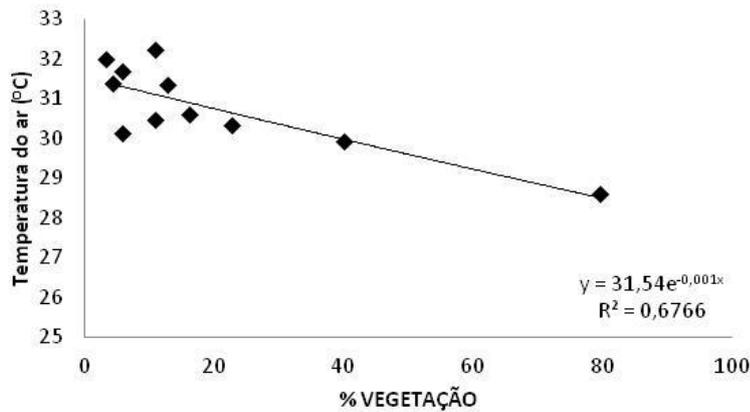


Figura 4. Correlação entre a temperatura do ar a porcentagem de vegetação para a Cidade de Belém do Pará

4. Conclusão

Na análise dos valores do Índice de Calor (IC) para a Cidade de Belém do Pará durante o período que os dados foram coletados, em parte do período diurno, a cidade encontra-se dentro da faixa de Cautela com relação ao conforto térmico, (27,1°C a 32°C). O bairro do Marco (P-04), com a maior quantidade de impermeabilização da superfície por asfalto e cimento, caracterizando uma urbanização de 96%, e menor arborização (menos de 4% da área), apresentou o maior valor do IC (32,4°C das 12 às 14h) e menor conforto térmico, com IC sempre acima dos 27°C, mesmo ao amanhecer. Em contraste, o bairro do Curió - Utinga (P-10) que apresentou baixa urbanização (17,6%) e quase 80% de vegetação na área, registrou IC abaixo de

27°C (condição de pleno conforto) no início da manhã e no final da tarde e, um IC máximo de 29,1°C das 12 às 14 horas. As correlações entre a temperatura do ar e as porcentagens de urbanização (R=0,81) e de vegetação (R=0,82), foram fortes, demonstrando a grande contribuição destes elementos urbanos nas condições predominantes de conforto térmico de Belém do Pará.

5. Agradecimentos

Agradeço ao CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico pelo financiamento desta pesquisa, ao professor e aos alunos da UFPA/IG/FM da disciplina de Meteorologia Ambiental e aos demais colaboradores. Ao INMET pela disponibilização dos dados na internet.

6. Referências

Cardoso, A. C. D. (2007). O espaço alternativo: Vida e forma urbana nas baixadas de Belém. Belém: EDUFPA, 265p.

Costa, A. C. L. (1998). Estudo de Variações Termo-Higrométricas de Cidade Equatorial devido ao Processo de Urbanização. O caso de Belém – PA, EESC-USP. São Carlos, SP. 232p.

Fanger, P. O. (1972). Thermal Comfort. McGraw-Hill, New York, 245p.

IBGE. (2010). Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística, Cidades.

Maia, J. A.; Gonçalves, F. L. T. (2002). Uma análise do conforto térmico e suas relações meteorotrópicas na cidade de SÃO PAULO – Parte 1. Anais do XII Congresso Brasileiro de Meteorologia, Foz de Iguaçu-PR, 307-314 p.

Mello, C. R.; Lima, J. M.; Silva, A. M.; Mello, J. M.; Oliveira, M. S. (2003). Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas. Revista Brasileira de Ciências do Solo, v.27, 925-933p.

Monteiro, C. A. F., Mendonça, F. (2001). Clima urbano. Editora Contexto, São Paulo, SP, 192 p.

NOAA. (2010). National Weather Service Weather Forecast Office, Jackson, KY.

Oke, T. R. (1987). Boundary layer climates. 2nd Ed. 460p.

Reichardt, K.; Timm, L. C. (2012). Solo Planta Atmosfera: Conceitos, processos e aplicações. 2ªEd., Barueri-SP, 500p.

Pezzuto, C. C. (2007). Avaliação do ambiente térmico nos espaços urbanos abertos. estudo de caso em campinas, SP. 197p.

Silva Júnior, J. A.; Costa, A. C. L.; Mercês, S. S. S.; Souza, E.B; Silva, S. N. R; Costa, R. F; Portela, B. T. T.; Taques, M. M, Borges, L. S.; Oliveira, M. C. F.; Braga, A. P., Gonçalves, P. H. L, Feitosa, J. R. P., Metcalfe, D. B.; Sousa, J. R. A. (2010) Análise de índices de conforto térmico na cidade de Belém, PA durante a época menos chuvosa. XVI Congresso Brasileiro de Meteorologia, Belém-PA.

Silva Júnior, J. A.; Costa, A. C. L.; Pezzuti, J. C. B.; Costa, R. F.; Carvalho, S. P.; Sousa, A. J. S. (2011). Estudo do Conforto Térmico e o Fenômeno da Ilha de Calor na Cidade de Belém-PA durante o ano de 2010. IV Simpósio Internacional de Climatologia, João Pessoa.

Steadman, R. G. (1979). The Assessment of Sultriness. Part I: A temperature-Humidity Index Based on Human Physiology and Clothing Science. Journal of Applied Meteorology, v.18, 861-873p.