

Índices de tendências climáticas associados à “ilha de calor” em Macapá-AP (1968-2010)

Indices of climate trends associated with "heat island" in Macapá-AP (1968-2010)

RESUMO

O objetivo da pesquisa é analisar as tendências de variação climática urbana de Macapá com base nas variáveis meteorológicas diárias de temperatura do ar e precipitação pluviométrica. A metodologia consistiu de duas etapas: a) coleta, ordenamento e tabulação de dados no período de 1968 a 2010; b) uso do *aplicativo* RCLimDex 2.12.2/IPCC para estimar os parâmetros estatísticos indicadores de variação climática urbana. Os resultados acusam treze indicadores estatísticos significativos ($0,05 < p < 0,1$). Como conclusão, observa-se que o comportamento dos indicadores quantificados pode estar associado com o fenômeno de formação de “ilha de calor” urbana. Contudo, as características geográficas de Macapá parecem apresentar uma suavização deste efeito devido às brisas fluviais do rio Amazonas.

PALAVRAS-CHAVE: RCLimDex 2.12.2, Índices de Variação Climática, Ilha de Calor, Macapá, Amapá-AP.

ABSTRACT

The goal of this study is to analyze the urban climatic variation trends based on a daily historical series of meteorological variables, notably air temperature and rainfall obtained at the meteorological station of Macapá. The methodology comprised two steps: data collection and data statistical analysis with the RCLimDex *Software*. The first step comprised collection, ordering, and tabulation of data, from 1968 to 2010. In the second step, the RCLimDex 2.12.2/IPCC was used to estimate the statistical parameters that indicate local urban climatic variation trends. We concluded that these indices may be associated with the phenomenon known as the formation of urban “heat islands”. But, the geographic characteristics of Macapá seem to weaken this effect due to the fluvial breeze of the Amazon River.

KEYWORDS: RCLimDex 2.12.2, Climatic Variation Indices, Heat Island, Macapá, Amapá State.

Keila Patrícia Cambraia dos Santos
Bolsista de Iniciação Científica
PIBIC/UNIFAP/CNPq
Graduanda em Ciências Ambientais,
Universidade Federal do Amapá
(UNIFAP), Macapá, AP, Brasil
santos.kpc@gmail.com

Alan Cavalcanti da Cunha
Prof.º Dr. Adjunto II do Curso de
Ciências Ambientais - Programa de
Pós-graduação PPGBio / BIONORTE
PPGDAPP - UNIFAP, Macapá, AP,
Brasil
alancunha@unifap.br

Antônio Carlos Lola da Costa
Prof.º Dr. Associado IV da
Faculdade de Meteorologia da
Universidade Federal do Pará
(UFPA), Belém, PA, Brasil
lola@ufpa.br.

Everaldo Barreiros de Souza
Prof.º Dr. Adjunto III da Faculdade
de Meteorologia da Universidade
Federal do Pará (UFPA), Belém, PA,
Brasil
everaldo@ufpa.br

INTRODUÇÃO

A variabilidade climática, principalmente traduzida pelos seus extremos, é de relevante importância na vida dos habitantes da sociedade atual. Sua compreensão pode ser aplicada de diversas formas nas diversas atividades humanas, especialmente na agricultura, comércio, indústria, turismo, saneamento, saúde pública, ecologia, geração de energia e eficiência energética, dentre outras (SOUZA e AZEVEDO, 2009).

Assim, é de suma importância que as variações representadas pelas temperaturas máximas e mínimas, em nível local, sejam normalmente monitoradas e analisadas por intermédio de séries climatológicas disponíveis, com o objetivo de utilizá-las para diversas finalidades (ZHANG et al., 2005). No presente artigo, o estudo da análise da variabilidade climática está direcionado para o conforto ambiental em cidades tropicais, notadamente a capital amapaense, Macapá. Neste caso, o período de estudo compreendeu 42 anos utilizando-se uma série de dados diários de temperatura e precipitação pluviométricas.

De acordo com De Souza e Cunha (2010), na Amazônia, situada inteiramente na região tropical da América do Sul, as variáveis mais importantes do ponto de vista climatológico são: a atividade convectiva (formação de nuvens) e a precipitação pluviométrica. O regime de precipitação da Amazônia exhibe máximos anuais bem pronunciados durante os meses do verão (Dezembro, Janeiro e Fevereiro – DJF) e outono (Março, Abril e Maio – MAM). Por outro lado, os mínimos anuais ocorrem durante os meses de transição do período chuvoso (Junho, Julho e Agosto – JJA) e, principalmente, primavera (Setembro, Outubro e Novembro – SON). Portanto, considera-se a estação chuvosa do Amapá ocorrendo durante os períodos sazonais de DJF e MAM e a

estação seca durante os períodos sazonais JJA e SON. A Zona de Convergência Intertropical (ZCIT) é o principal sistema meteorológico indutor de chuva no Estado do Amapá, quando da sua posição climatológica mais austral, sendo que a sua atuação define a qualidade da estação chuvosa nestes estados da Amazônia Oriental, inclusive o Estado do Amapá.

A Organização Mundial Meteorológica (OMM) recomenda que o clima de uma dada região deva ser caracterizado com base no período mínimo de 30 anos de dados. Segundo Panofsky e Brier (1968), quanto mais longas as séries de dados, maior será a confiabilidade da caracterização climática. Contudo, os referidos autores afirmam que um dos maiores problemas nos estudos de tendências climáticas é justamente obter uma série histórica de dados, diária, suficientemente consistente para que ocorra uma real caracterização e confirmação da mesma, tanto de tendências positivas quanto negativas desses eventos.

As variações climáticas locais são medidas por meio de análise de séries históricas de variáveis meteorológicas. Para cada localidade específica é possível se observar tendências temporais das variações no clima com uso de ferramentas de análise estatística, as quais podem ser representadas por indicadores ou índices climáticos (SANTOS et al., 2009).

Por outro lado, porém, a maior dificuldade em se estabelecer a existência de tendência de variabilidade climática está na limitação temporal das séries de dados observacionais. Tal particularidade é ainda mais expressiva na Amazônia, cuja densidade de estações meteorológicas é muito baixa. Além disso, as séries observacionais podem conter falhas ou imprecisões que, por sua vez, também tendem a afetar a estimativa da variabilidade e, conseqüentemente, a

compreensão da natureza e as causas das flutuações da temperatura e da precipitação pluviométrica ao longo do tempo (De SOUZA et al. 2009). Neste contexto, esta pesquisa está relacionada essencialmente com o estudo da variabilidade climática urbana de Macapá. No entanto, o foco principal da análise são os indicadores de extremos de temperatura do ar e de precipitação e suas tendências, ambas fundamentadas em uma metodologia estatística com base em dados diários observados num período de 42 anos (1968 a 2010) e com uso do aplicativo RCLimDex/IPCC (ZHANG e YANG, 2004).

Portanto, este estudo objetiva contribuir com as ações de políticas públicas associadas ao planejamento, monitoramento e controle da qualidade ambiental em áreas urbanas de Macapá, especialmente disponibilizando análises de tendência de variáveis climáticas (temperatura do ar e precipitação pluviométrica) relacionadas ao fenômeno denominado de “ilha de calor urbana”, ambas já registradas em cidades da Amazônia e do nordeste brasileiro (COSTA, 1998, SOUZA et al., 2010; SOUZA e AZEVEDO, 2009).

2. REVISÃO DA LITERATURA

Costa (1998) afirma que nas últimas décadas a ocupação do território adquiriu novas características, que claramente entraram em conflito com a preservação do meio ambiente e a qualidade de vida das populações urbanas. A intensificação de atividades garimpeiras, mineradoras, somado às atividades pecuárias, provocou na região amazônica um rápido processo de crescimento de centros urbanos, cada vez mais numerosos, cujo resultado final foi também a rápida degradação ambiental e a formação das denominadas “ilhas de calor”.

Costa (2009) afirma também que a ocupação humana na região amazônica se intensificou na segunda metade do século XIX, durante o chamado “ciclo da borracha”. Naquele período esta ocupação não ameaçava diretamente o seu equilíbrio ecológico, uma vez que não era necessário retirar as árvores, pois as atividades dos seringueiros se harmonizavam com o meio ambiente. Essa economia combinava com a reduzida criação de gado nas áreas abertas e a existência de pouquíssimos centros urbanos importantes como Belém, Macapá, Santarém, Manaus. Contudo, à época, suas áreas geográficas eram consideradas pequenas em relação às atuais.

Portanto, o clima de uma região também sofre influência da maioria das atividades humanas que podem consequentemente contribuir com alterações diversas sobre o meio ambiente, que em muitos casos, podem ser prejudiciais ao homem e se tornar até irreversíveis. Dentre as potencialmente capazes de provocar alterações meteorológicas de pequenas e médias escalas, a urbanização é uma das que mais contribuem (MAITELLI et al., 1991; GOLDREICH, 1992; JAUREGUÍ, 1992).

Uma das mais marcantes modificações climáticas provocadas pela urbanização é o aumento da temperatura do ar em relação ao seu entorno rural adjacente. Este fenômeno é conhecido com o nome de “ilha de calor urbana”. Tais alterações térmicas são devidas a uma complexa interação de fatores, dentre os quais merecem destaque: a) a substituição de superfícies vegetadas por outros tipos de superfícies, de características térmicas distintas; b) as diferentes inclinações e orientações das superfícies urbanas; c) a geração de calor antrópico pelo complexo urbano; d) a reduzida quantidade de vegetação e e) a qualidade do ar atmosférico urbano (LOWRY, 1967; GARDLAND, 2010).

Apesar de muito se discutir sobre as variações do clima urbano, verifica-se que a maioria das pesquisas a este respeito foi desenvolvida em cidades de latitudes médias, sendo ainda, relativamente reduzido, o número dessas pesquisas em latitudes altas e baixas (OKE, 1982; COSTA, 2009; GARDLAND, 2010).

A identificação e dimensionamento do fenômeno da “ilha de calor”, bem como a sua correlação com outros fatores característicos de regiões urbanas, podem proporcionar importantes subsídios ao estudo do planejamento urbano, de maneira a possibilitar a melhoria da qualidade ambiental (COSTA, 2009). Por esta razão, a análise de indicadores de variabilidade climática pode ser extremamente útil em termos ambientais com vistas à avaliação dos níveis de interferências antrópicas nas cidades, a partir de medidas das tendências de temperatura e precipitação ao longo do tempo (ZHANG et al., 2005).

As inúmeras alterações físicas provocadas pelo processo de urbanização apresentam consequências ambientais importantes, modificando as características ecológicas do meio urbano, principalmente, nas cidades onde o crescimento se processa desordenadamente e sem um planejamento adequado. A primeira consequência é a perda da qualidade ambiental local, traduzida pela perturbação do equilíbrio térmico natural devido à expansão dos ambientes construídos urbanos, tais como a verticalização e a expansão horizontal indiscriminada, cujas superfícies naturais são rapidamente substituídas por construções e outros tipos de superfícies artificiais. Estas, por sua vez, formam gradientes de temperatura que tendem a serem máximos nos centros urbanos com decaimento em direção às áreas periurbanas e de fronteiras com as áreas rurais (COSTA, 2009; GARTLAND, 2010).

2.1 Clima urbano

Segundo Landsberg (1981) o termo “ilha de calor urbana” apareceu pela primeira vez na literatura de linguagem meteorológica inglesa em um trabalho de Gordon Manley (1958), no *Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society*. Mas, segundo Gartland (2010), a primeira documentação de calor urbano ocorreu em 1818, quando o estudo revolucionário sobre clima de Londres realizado por Luke Howard detectou um “excesso” de calor artificial na cidade, em comparação com o campo. Posteriormente, em Paris durante a segunda metade do século XIX, cientistas como Renou e Wilhelm Schmidt encontraram essas mesmas condições em Viena.

Alguns estudos sobre o clima urbano vêm sendo realizados principalmente em países desenvolvidos, desde o estudo pioneiro de Luke Howard (1818), citado por (MITCHELL, 1961). O bom exemplo do “antigo” clima de Londres foram os dados obtidos que indicaram uma maior temperatura do ar no centro da cidade, quando comparada com o seu entorno rural. A partir deste estudo pioneiro, e pesquisas realizadas posteriormente em outras regiões do mundo, constatou-se que o fenômeno da “ilha de calor urbana” é proporcional ao crescimento das cidades e às suas populações. Além disso, descrevem que as temperaturas são mais intensas durante os dias da semana, quando as atividades urbanas são máximas, e mínima no final da semana, quando a “máquina urbana” apresenta-se praticamente parada. Diferenças de temperatura entre o meio urbano e o meio rural são mais acentuadas durante as estações quentes, quando as maiores amplitudes térmicas são verificadas na área rural.

Duckwort e Sandberg (1954) estudaram o comportamento da temperatura do ar em cidades de diferentes tamanhos nos EUA e

verificaram que o comportamento vertical da temperatura do ar, tanto sobre a região urbana quanto na região rural, acusava variações em seus valores quando comparadas em diferentes alturas das construções, de 40 a 90 m. Estes valores foram considerados como sendo o limite dos efeitos do aquecimento da superfície, da ordem de aproximadamente três vezes o valor das alturas médias das construções.

Contrastes térmicos entre cidade e campo também foram estudados em Toluca-México, através de medidas móveis por Jaureguí (1979). Os resultados apresentaram contrastes da ordem de 5,0°C, sendo inferiores aos valores encontrados pelo mesmo autor para a cidade do México, o que mostra uma relação com o tamanho do sítio urbano. Esta "ilha de calor" mostra também uma variação estacional, sendo mais acentuada na época seca, diminuindo de intensidade com a época chuvosa, quando a umidade ambiente é aumentada e os contrastes térmicos entre a cidade e a área rural circundantes são reduzidos.

Por outro lado, a vegetação exerce uma influência positiva tanto sobre o clima como sobre a qualidade do ar. As áreas verdes proporcionam a redução da temperatura nos centros urbanos, pois parte da energia solar disponível para o aquecimento das estruturas urbanas é utilizada no processo de evapotranspiração (COSTA, 2009).

Estudos realizados por Stulpnagel et al. (1990) sobre a influência da vegetação no comportamento da temperatura do ar, em Berlim (Alemanha), mostraram que a temperatura média anual do ar apresentou consideráveis variações, sendo os maiores valores (12°C) encontrados no centro da cidade, enquanto os menores valores (7,5°C) ocorreram sobre áreas vegetadas na periferia da cidade. Estas diferenças

normalmente estão de acordo com a tipologia de uso e ocupação do solo.

Lombardo (1985), ao estudar o fenômeno da "ilha de calor urbana" na cidade de São Paulo, a partir de técnicas de sensoriamento remoto, verificou significativas diferenças horizontais na temperatura do ar entre o centro da cidade e a área rural adjacente. Além disso, afirmou que em condições de céu claro e vento calmo, tais diferenças superaram 10 °C. Mas a maior intensidade deste fenômeno tende a ocorrer a partir das 15 horas, estendendo-se até as 21:00 horas. No período da madrugada, quando as atividades urbanas são reduzidas e o balanço de radiação alcança o equilíbrio, o fenômeno da "ilha de calor" apresentou uma redução considerável de sua influência.

Hasenack e Becker (1991), estudando a distribuição da temperatura do ar no ambiente urbano de Porto Alegre (RS), com uso de método de medidas móveis, encontraram melhor correlação da intensidade da "ilha de calor" com a distribuição da vegetação e densidade de edificações. Embora tenham encontrado vários núcleos de temperaturas elevadas na cidade, a área de calor mais definida foi observada no centro. Este fato ocorreu em todas as noites, mas variando em forma e intensidade, mesmo em condições de tempo semelhante.

Segundo Costa (2009), por outro lado, em área com maior concentração de vegetação arbórea, no interior da área urbana tropical, foi observada a formação de "ilhas frias", também conhecida como efeito "Oásis", por apresentarem temperaturas inferiores às das áreas construídas, sendo destacada a dimensão das áreas verdes e o porte da vegetação.

Vidal (1992) estudou as relações entre a morfologia urbana e a distribuição espacial da temperatura do ar em Natal-RN. Os resultados mostraram que os elementos mais significativos na

determinação das características da temperatura do ar foram a proximidade com o oceano, a topografia, as características do tecido urbano e a presença de áreas vegetadas. Esse efeito também foi observado por Souza et al. (2010) quando comparadas as temperaturas médias horárias em Manaus, Belém, Macapá, Santarém e na Floresta Nacional de Caxiuanã-PA.

Segundo Costa (1998), durante o dia, as temperaturas mais elevadas são registradas nos espaços abertos, sem sombreamento e/ou arborização, onde os efeitos da radiação solar direta são mais intensos. O setor mais verticalizado, devido a sua localização e formação de sombras, tende a apresentar temperaturas mais amenas, assim como as ruas largas com canteiros centrais arborizados e áreas com intensa vegetação.

O rápido e desordenado crescimento das cidades, em especial na Amazônia brasileira, tem tornado difícil proporcionar condições ideais de vida a seus habitantes. As alterações climáticas resultantes do processo de urbanização figuram entre as mais profundas agressões sofridas ao meio ambiente e conseqüentemente ao próprio homem. As conseqüências são diversas, variando desde os problemas de conforto térmico até eficiência energética, gestão ambiental, economia de água, saúde pública, entre outras.

Em relação à saúde pública, com o aquecimento do clima, a população tende a utilizar condicionadores de ar que, além de aumentar o consumo energético, estimula o "enclausuramento" dos habitantes em ambientes fechados, tais como escritórios, apartamentos, residências, shoppings, escolas, etc (ROCHA et al., 2009). Se a tendência do fenômeno "ilha de calor urbana" se mantiver, há uma preocupação dos cientistas ambientais em enfrentar e minimizar esse

problema, iniciando pelo conhecimento de como funciona o clima local.

2.2 Ilha de calor urbana

De acordo com Gartland (2010), há tempos que se percebeu que as áreas urbanas e suburbanas possuem “ilhas de calor”, considerados como um “oásis inverso”. Nestes ambientes a temperatura do ar e as superfícies são mais elevadas do que em áreas rurais circundantes.

Gartland (2010) indica que as principais características das ilhas de calor são: a) em comparação com áreas rurais não urbanizadas, a ilha de calor é mais quente em geral, com padrões de comportamento distintos, principalmente após o por do sol, quando comparadas às áreas rurais, mais frescas após o amanhecer. Nestes casos, a temperatura do ar no “dossel urbano”, abaixo das copas das árvores e edificações, pode ser até 6 °C mais elevada do que o ar em áreas rurais; b) As temperaturas do ar são elevadas em consequência do aquecimento das superfícies urbanas, uma vez que as superfícies artificiais absorvem mais calor do que a vegetação natural; c) As diferenças nas temperaturas do ar e na superfície são realçadas quando o dia está calmo e claro; d) áreas com menos vegetação e mais desenvolvidas tendem a ser mais quentes, e ilhas de calor tendem a ser mais intensas conforme o crescimento das cidades; e) ilhas de calor também apresentam ar mais quente na camada limite atmosférica, de até 2.000 m de altura, onde as colunas de ar são geralmente mais quentes sobre as cidades. Deste modo, a energia que seria utilizada para evaporar a umidade presente na superfície, é diretamente absorvida pela superfície urbana, aquecendo-a mais que o seu entorno rural. O calor de origem antrópica, assim como a poluição atmosférica, também são

fatores fundamentais nestas alterações (LANDSBERG, 1981).

Kuhn et al., (2010), em simulações numéricas para todo o estado do Amapá, com uso do BRAMS (NHMET/IEPA), observaram nitidamente um gradiente de temperatura zonal no litoral (especialmente próxima de Macapá), evidenciado pelo contraste térmico entre as áreas continental e fluvial adjacente (rio Amazonas ou marítima). E este gradiente se manteve num ciclo diário que varia desde as primeiras horas da manhã estendendo-se até a noite, quando ocorre a inversão da brisa, o que permite perda radiativa do continente. Portanto, ocorrendo a diminuição da temperatura à superfície, retornando no dia seguinte. Esta característica faz com que o período do dia que ocorrerá chuva seja conhecido ou previsto, ou pelo menos seja bastante aproximado quando comparado entre dois dias consecutivos no período de estiagem.

A “ilha de calor urbana” é um fenômeno característico de todas as cidades e metrópoles. Contudo, a sua distribuição e intensidade são proporcionais ao crescimento das mesmas e de sua população, sendo mais intensa durante os dias da semana, quando as atividades urbanas são máximas, e mínima no final da semana. Acrescente-se a estas características a proximidade dos centros urbanos aos grandes corpos d’água, tais como o rio Amazonas ou o Oceano Atlântico (KUHN et al., 2010), por exemplo.

As diferenças de temperatura urbano-rural são mais acentuadas durante as estações quentes, quando as maiores amplitudes térmicas são verificadas na área rural. Estas variam também com o tipo de uso e ocupação do solo, com a situação geográfica, além da hora do dia e da estação do ano, sendo mais expressivo em condições de céu claro e vento calmo, e na estação seca, onde os efeitos amenizantes da umidade são reduzidos (De SOUZA et al., 2009;

LANDSBERG, 1981; KUHN et al., 2010).

Sabe-se que a “ilha de calor urbana” não resulta da ação de um simples fator, e sim, devido à interação de muitas características do sistema da atmosfera urbana. Incluídos entre estas características que são possíveis causas do desprendimento de calor antrópico, temos: a alta capacidade de calor dos materiais de construção; a redução da área de superfícies de evapotranspiração; a retenção de radiação de ondas longas devido ao aumento da poluição atmosférica, entre outras. Além disso, nas últimas décadas, grandes alterações têm ocorrido nas investigações dos balanços de radiação e energia nas áreas urbanas, e os estudos observacionais de vários elementos meteorológicos sejam todos de grande interesse, principalmente em cidades da Região Tropical e Equatorial (OKE e MAXWELL 1975).

Estudos sobre a “ilha de calor urbana” relacionada com o uso do solo foram realizados por Garcia Cueto et al., 2007, na cidade de Mexicali, B.C., México. Foram utilizados dados de temperatura do ar e imagens termais dos satélites NOAA e AVHRR e os resultados mostraram o desenvolvimento de uma ilha de calor urbana noturna, com intensidade de 4,5°C, durante o outono. Por outro lado, durante o dia, em todas as estações do ano, esta situação sofreu comportamento inverso, dando lugar a uma “ilha fria”. Esse comportamento foi atribuído ao tipo de uso e ocupação do solo urbano.

As cidades, embora diferentes entre si, apresentam algumas características comuns: áreas residenciais, comerciais, de lazer e arborizadas. Com o desenvolvimento dos centros urbanos, as áreas construídas se expandem, tomando lugar antes ocupado pela vegetação (BUENO, 1988). A substituição da cobertura vegetal pela pavimentação e construções tem trazido problemas, como o desconforto, estresse

relacionado ao conforto térmico e danos tanto para a saúde física quanto a mental dos habitantes, repercutindo na diminuição da qualidade de vida dos mesmos, produtividade laboral, principalmente nos centros urbanos maiores (ROMERO, 1988; ROCHA et al., 2009).

Por esta razão, a identificação do fenômeno da “ilha de calor urbana”, assim como a sua correlação com diversos outros fatores ambientais, é de grande importância no sentido de dar subsídio a projetos de planejamento urbano, favorecendo a melhoria da qualidade de vida de seus habitantes. No ambiente urbano, a presença de áreas vegetadas apresenta um papel fundamental no que se refere ao processo de amenização das temperaturas, uma vez que, além de proporcionar um sombreamento natural, também apresenta a função de proteger a superfície do solo contra os efeitos da erosão e manutenção da umidade (GARTLAND, 2010).

Portanto, a importância de análises de indicadores de mudanças de tendências de variabilidade climática em áreas urbanas também pode ser um parâmetro útil de avaliação das perturbações decorrentes dos impactos antropogênicos sobre o micro-clima local, principalmente ao longo de períodos significativos de séries históricas obtidas de estações meteorológicas. O interesse maior é devido à tendência das variáveis meteorológicas refletirem os impactos do crescimento urbano sobre o micro-clima local.

Portanto, a formulação principal do problema da presente pesquisa é: Macapá apresenta características microclimáticas de formação de “ilha de calor” ao longo do tempo? A principal hipótese é de que o micro-clima da área urbana de Macapá apresenta significativas alterações de seus indicadores de variabilidade climática que podem ser atribuídas ao crescimento urbano desordenado. Tal análise

será realizada com base nos dados de série histórica diária dos últimos 42 anos de observação meteorológica de superfície. De acordo com o IBGE (2010), o Estado do Amapá apresentou o maior aumento percentual de crescimento populacional do Brasil na última década.

Fundamentados nestas análises pretendemos dispor de informações meteorológicas e estatísticas para avaliar as tendências de variabilidade climática em Macapá para aceitar ou rejeitar esta hipótese. Assim, o objetivo principal da pesquisa é contribuir para o entendimento do contínuo processo de alteração da variação climática da área urbana de Macapá.

No contexto geral serão disponibilizados resultados de análises da variabilidade climática a partir de parâmetros estatísticos considerados significativos ou maiores do que 90% de confiança ($0,1 < p < 0,05$). Os resultados apresentadas nesta pesquisa poderão ser utilizados na formulação de políticas públicas ambientais, vez que grande parte da população e seus gestores desconhecem os potenciais reflexos negativos do fenômeno conhecido como “ilha de calor urbana”. Portanto, os resultados apresentam um cenário apropriado para ações preventivas nas diversas modalidades de políticas públicas setoriais que variam desde problemas ambientais como microclima, saúde pública, até problemas de gestão de eficiência energética e ecologia urbana.

3. MATERIAIS E MÉTODOS

3.1. Área de Estudo - Macapá-AP

A maior parte do território do Estado do Amapá, cerca de 73% do total, que corresponde a aproximadamente 97.000 km², está coberta pela Floresta Amazônica. Mas a região de estudo compreende a zona urbana do município de Macapá, capital do Estado do

Amapá, localizada no Nordeste da Amazônia (latitude de 0° 05'N, longitude 51°04'W, altitude de 14 m), a qual possui uma população de aproximadamente 387.539 habitantes. O clima predominante em Macapá é o equatorial, ou seja, quente e muito úmido, com pluviosidade superior a 2.500 mm anuais. As temperaturas médias anuais oscilam entre 25 e 30°C (IBGE, 2010).

3.2. Dados Utilizados e Indicadores de Variação de Tendência Climática

Os dados utilizados neste estudo consistem de 42 anos de registros diários de temperatura máxima e mínima e precipitação na estação meteorológica da Fazendinha, distrito urbano de Macapá/AP. A série de dados foi obtida da rede de estações meteorológicas convencionais do Instituto Nacional de Meteorologia (INMET), gentilmente cedidos pelo NHMET/IEPA. A estação do INMET se encontra na localidade 0°02'42.36”S e 51°06'35.64”W.

No procedimento metodológico utilizou-se as rotinas estatísticas do *aplicativo* RCLimDex/IPCC (Zhang e Yang 2004), a partir da qual foram realizados os cálculos para gerar os índices climáticos. Contudo, os autores alertam que é importante observar as falhas e imprecisões encontradas na série, as quais podem afetar alguns resultados. Entretanto, a avaliação de qualidade, homogeneidade e consistência dos dados e o cálculo dos índices climáticos foram realizados de acordo com Haylock et al. (2006) e Zhang et al. (2004) com o objetivo de evitá-los ou contorná-los. Nestes termos, tais procedimentos foram realizados no presente estudo.

A descrição dos índices de tendência da mudança da variabilidade climática pode ser observada na literatura. Os índices cujos valores de p foram significativos ($0,1 < p < 0,05$) estão

Tabela 1: Índices climáticos utilizados com suas respectivas definições e unidades.

Índice	Nome do Indicador	Descrição	Unidade
TXx	Máximo da Temperatura Máxima	Valor mensal máximo da temperatura máxima diária	°C
TXn	Mínimo da Temperatura Máxima	Valor mensal mínimo da temperatura máxima diária	°C
TX90p	Dias quentes	Número de dias com temperatura máxima acima do percentil 90	Dias
TX10p	Dias frios	Número de dias com temperatura máxima abaixo do percentil 10	Dias
WSDI	Períodos quentes	Número de dias no ano, com pelo menos seis dias consecutivos, quando a temperatura máxima é maior que o percentil 90.	Dias
DTR	Amplitude Diária de Temperatura	Diferença média mensal entre Temperatura Máxima e Mínima	°C
TN90p	Noites quentes	Número de dias com temperatura mínima acima do percentil 90.	Dias
TN10p	Noites frias	Número de dias com temperatura mínima abaixo do percentil 10	Dias
TNn	Mínimo da Temperatura Mínima	Valor mensal mínimo de temperatura mínima diária	°C
TNx	Máximo da Temperatura Mínima	Valor mensal máximo de temperatura mínima diária	°C
TR20	Noites Tropicais	Número de dias em um ano quando a temperatura mínima Diária é >20 °C	°C
GSL	Duração da Estação de Cultivo (Crescimento)	Prolongamento ou extensão da estação de cultivo	Dias
RX1day	Quantidade Máxima de Precipitação em um dia	Precipitação máxima mensal em um dia	mm

resumidos na Tabela 1, adaptados de Zhang e Yang (2004).

Na presente análise, de acordo com os indicadores climáticos constantes na Tabela-1, os resultados obtidos somente foram considerados como sujeitos às tendências de variabilidade climática quando o erro padrão de estimativa for estatisticamente significativo ou a significância estiver contida no intervalo $0,1 < p < 0,05$ (entre 90 e 95% de confiança). À exceção do RX1day, com 90% de confiança (Tabela-1), todos os

demais indicadores encontrados estão na faixa de 95%.

3.3 Metodologia Estatística do RCLimDex/IPCC

De acordo com Pinto et al. (2008), para os documentos e técnicas endereçadas ao desenvolvimento e uso de informações obtidas de cenários, em estudos de processos de vulnerabilidade e adaptações climáticas, muitas ferramentas estão disponíveis para dar suporte a estas aplicações. Os referidos autores

apontam o RCLimDex como uma das técnicas mais importantes para este fim.

O RCLimDex faz parte de um conjunto de técnicas usado para produzir dados climáticos de pequena escala, do tipo normalmente requerido por modelos de impactos e cenários futuros do clima em escala local. Alguns métodos requerem considerável expertise e experiência (*downscaling*), enquanto outros, como a aplicação do RCLimDex, são relativamente diretos e fáceis de usar.

O aplicativo RCLimDex foi projetado para proporcionar uma interface amigável com o usuário no cálculo de índices de extremos climáticos a partir de séries históricas diárias de dados de temperatura e precipitação. Um total de vinte e sete (27) índices básicos são recomendados pela equipe de peritos do CCI/CLIVAR e "Climate Change Detection Monitoring and Indices" (ETCCDMI), onde os limites de alguns índices de temperatura e precipitação são definidos pelo usuário.

Este aplicativo é desenvolvido e mantido pelos pesquisadores do Serviço de Meteorologia do Canadá, disponível em <http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/aplicativo.html> (ZHANG e YANG, 2004; ZHANG et al., 2005). Na presente análise, os procedimentos principais para a elaboração dos índices de extremos climáticos em Macapá-AP foram os seguintes:

- 1- Obtenção dos dados em arquivo de texto ASCII, composto de seis colunas correspondentes ao ano, mês, dia, precipitação (PRCP), temperatura máxima (TMAX), temperatura mínima (TMIN);
- 2- Análise dos dados faltosos foram codificados como -99.9 e os registros dos dados dispostos em ordem cronológica, conforme (ZHANG e YANG, 2004);
- 3- Cálculo dos índices climáticos, e seleção dos parâmetros estatísticos cuja significância fosse da ordem de $p < 0,05$ ou no máximo $p < 0,1$ ou próximo de $p < 0,05$;
- 4- Confecção das figuras com as saídas gráficas e seus respectivos índices de variabilidade climática;
- 5- Incremento da qualidade das saídas gráficas do RCLimDex (YANG, 2011).

As saídas do RCLimDex 2.12.2, realizadas no pós-processamento de todos os índices, forneceu uma série de parâmetros estatísticos que foram utilizados na decisão quanto a sua significância em relação às tendências de variação climática ao longo da série temporal de dados ($0,1 < p < 0,05$).

Estes parâmetros foram: a) a tendência linear calculada pelo método de mínimos quadrados; b) nível de significância estatística da tendência (valor p); c) coeficiente de determinação (r^2); e d) erro padrão de estimativa. Após a fase de processamento em um arquivo R, a série de figuras das análises anuais foi obtida e visualizada através de figuras geradas no próprio RCLimDex.

As figuras mostram as linhas de tendências e o seu nível de significância para cada parâmetro analisado (Tabela-1). Esses resultados são mostrados a seguir.

4. RESULTADOS

No total foram gerados dezessete índices analisados e somente aqueles considerados como de alta significância estatística, cujo intervalo de confiança fosse da ordem de 90 a 95% ou com ± 3 desvios padrão. A partir das Figuras 1a e 1b, até a Figura 7, os pontos indicam valores observados e consolidados (considerando as falhas de dados das séries, inclusive). As linhas pretas contínuas indicam a tendência tradicional da série histórica para o respectivo parâmetro em análise (variável ou indicador). As linhas vermelhas tracejadas indicam o comportamento temporal ou potencial de mudança da variabilidade climática desta mesma variável no período. Chama-se a atenção do leitor que nos textos localizados abaixo do eixo das abscissas das figuras o R^2 representa o coeficiente de determinação (em números percentuais, como por exemplo, 40%, 70%, 80%, e assim

por diante, significando explicabilidade da variável ou do índice).

A Figura 1a mostra a variabilidade anual do índice TXx (máximo da temperatura máxima) cuja tendência anual é de aumento da temperatura máxima da ordem de $0,053^\circ\text{C}/\text{ano}$ no período de 1968 a 2010, com os mais altos registros na faixa de $39,6^\circ\text{C}$ no ano de 1987 e $38,6$ no ano de 2007. Em consequência, um aumento da temperatura máxima é evidenciado (Figura 1b), com o aumento dos valores anuais mínimos da temperatura máxima (TXn) na taxa de $0,020^\circ\text{C}/\text{ano}$ (linhas pontilhadas em vermelho). Observe o valor de p para ambas as variáveis, sendo significativas para o período.

O aumento da temperatura máxima também é observado pelo índice TX90p (Figura 2a). Na Figura 2a observa-se claramente o aumento do número de dias com temperaturas máximas acima do percentil 90, ou seja, número de dias quentes crescentes. Durante a primeira década o número de dias quentes era de aproximadamente 5. Porém, na década de 80, houve a manutenção de tendência em níveis constantes, e finalmente alcançando níveis próximos de 60 dias no meio da década de 2000. De modo inverso, o índice climático TX10p aponta para uma diminuição de dias frios, provavelmente associado ao aumento do número de dias quentes (Figura 2.b). Observe o valor de p para ambas as variáveis, sendo muito significativas para o período.

Para o índice WSDI (Figura 3a) verifica-se um aumento significativo de períodos quentes a partir da década de 80, registrando mais de 130 dias com pelo menos 6 dias consecutivos de temperatura máxima acima do percentil 90. A inflexão da linha vermelha pontilhada mostra essa brusca mudança da tendência para este índice. Observe o valor de p para ambas as variáveis, sendo muito significativas para o período.

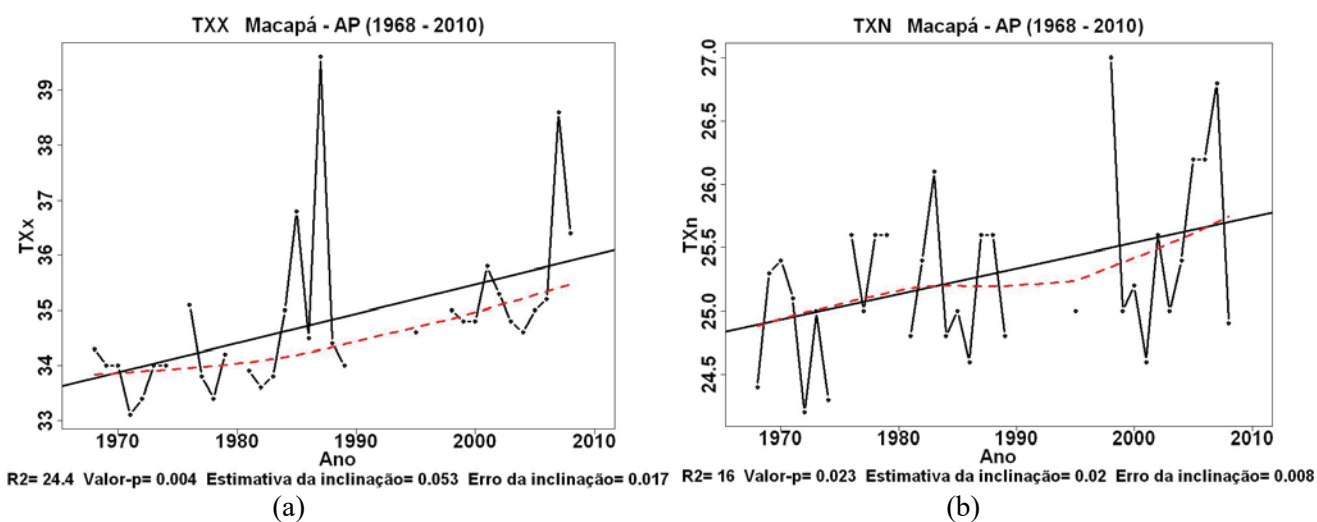


Figura 1. Comportamento temporal dos índices climáticos para o período de 1968 a 2010 em Macapá - AP: a) TXx (máximo das temperaturas máximas; b) TXn (mínimo das temperaturas máximas).

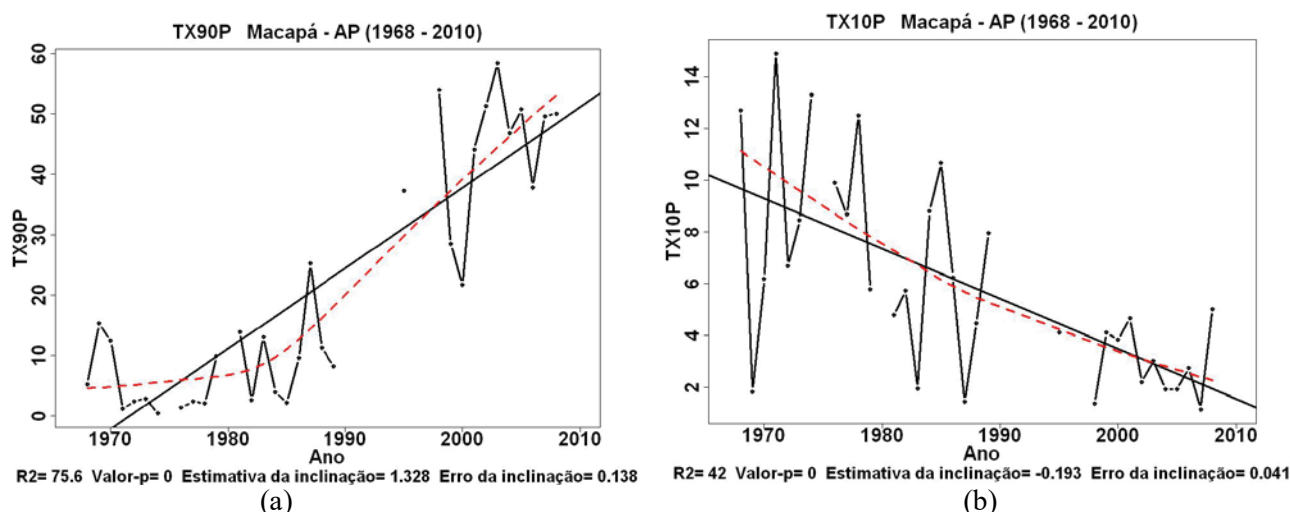


Figura 2. Comportamento temporal dos índices climáticos para o período de 1968 a 2010 em Macapá - AP: a) TX90p (Dias quentes); b) TX10p (Dias frios).

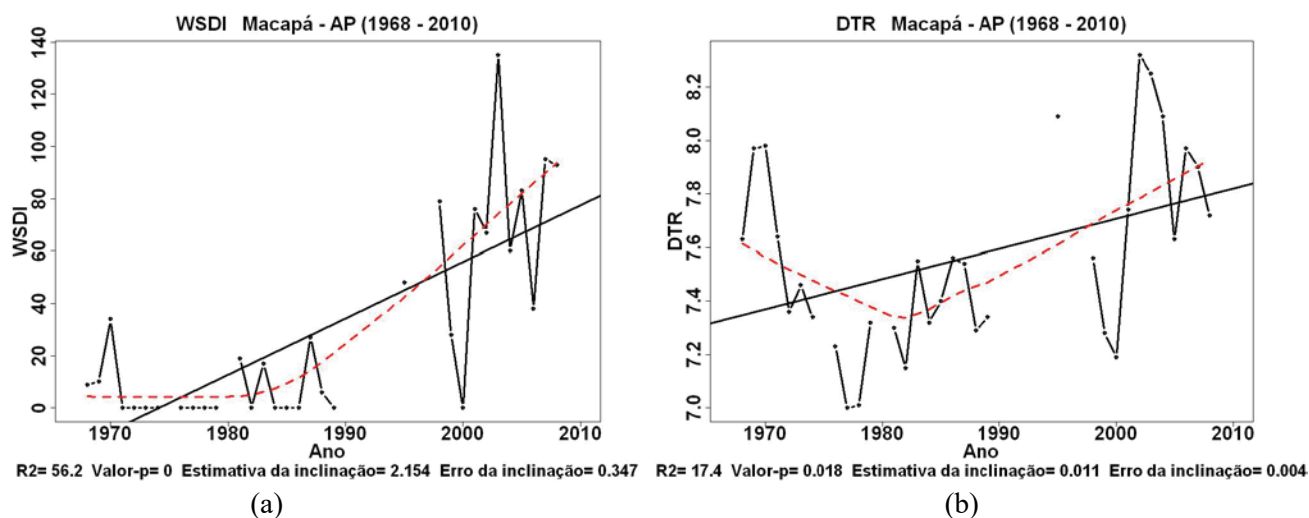
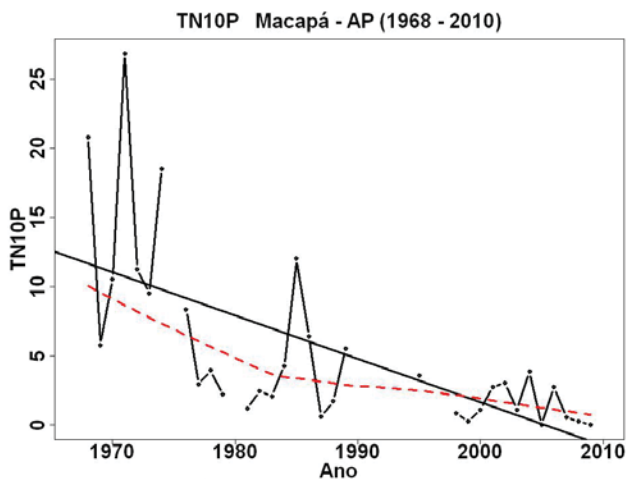
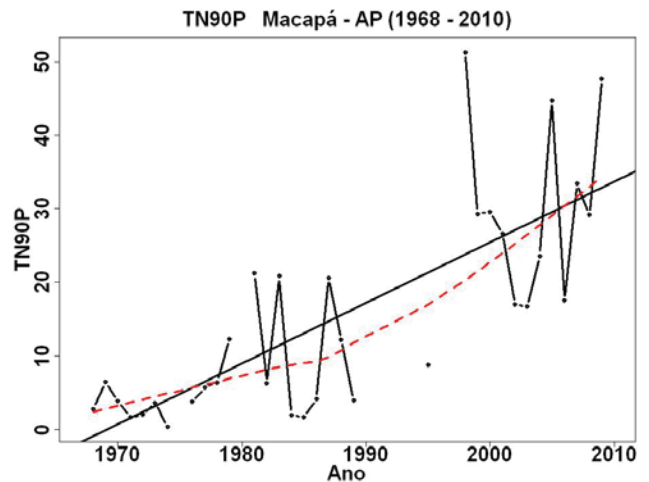


Figura 3. Comportamento temporal dos índices climáticos para o período de 1968 a 2010 em Macapá - AP: a) WSDI (Períodos quentes); b) DTR (Amplitude diária de temperatura).



R2= 43 Valor-p= 0 Estimativa da inclinação= -0.314 Erro da inclinação= 0.065

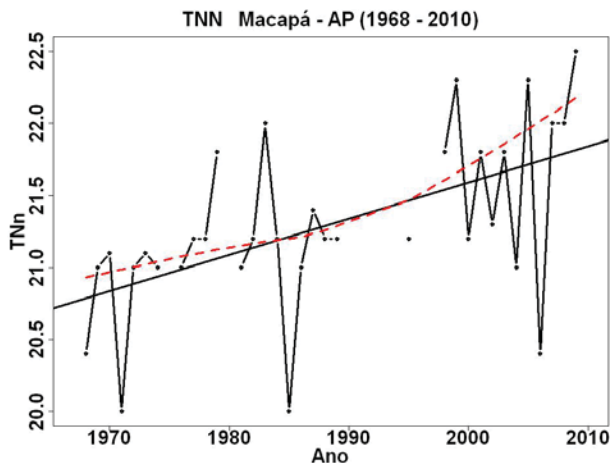
(b)



R2= 58.9 Valor-p= 0 Estimativa da inclinação= 0.823 Erro da inclinação= 0.123

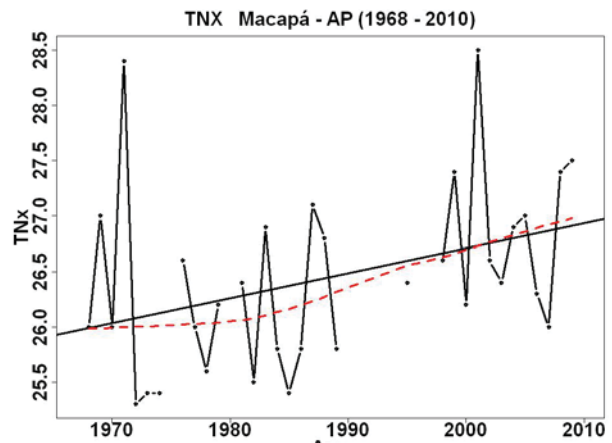
(a)

Figura 4. Comportamento temporal dos índices climáticos para o período de 1968 a 2010 em Macapá - AP:
a) TN90p (noites quentes); (b) TN10p (Noites frias).



R2= 30.6 Valor-p= 0.001 Estimativa da inclinação= 0.025 Erro da inclinação= 0.007

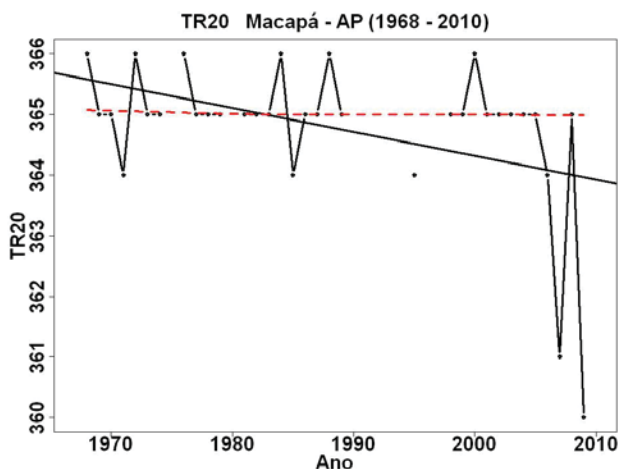
(a)



R2= 13.8 Valor-p= 0.033 Estimativa da inclinação= 0.023 Erro da inclinação= 0.01

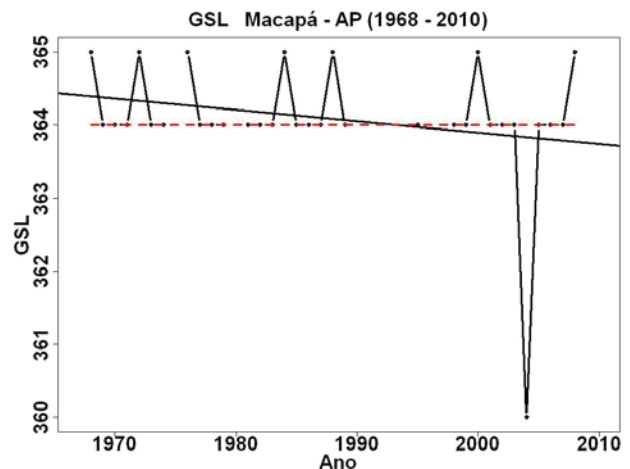
(b)

Figura 5. Comportamento temporal dos índices para o período de 1968 a 2010 em Macapá - AP:
a) TNN (mínimo da temperatura mínima); (b) TNx (máximo da temperatura mínima).



R2= 17.9 Valor-p= 0.014 Estimativa da inclinação= -0.039 Erro da inclinação= 0.015

(a)



R2= 5.7 Valor-p= 0.188 Estimativa da inclinação= -0.016 Erro da inclinação= 0.012

(b)

Figura 6. Comportamento temporal dos índices climáticos para o período de 1968 a 2010 em Macapá - AP:
a) TR20 (noites tropicais); (b) GSL (prolongamento da estação de cultivo).

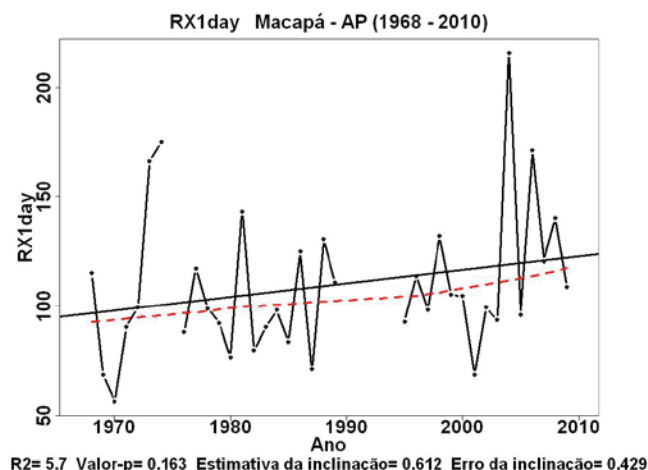


Figura 7. Comportamento temporal do índice climático RX1day (quantidade máxima de precipitação em um dia) observado no período de 1968 a 2010 em Macapá – AP.

Em relação à amplitude térmica diária (DTR) observa-se uma diminuição até a década de 80, seguida de uma posterior reversão desta tendência (Figura 3b). Este comportamento pode estar associado não só aos processos de urbanização como também com a nebulosidade natural, devido a região de Macapá apresentar significativa cobertura de nuvens na maior parte do ano (ITCZ) De SOUZA e CUNHA (2010). Sabe-se que as nuvens apresentam importante impacto sobre a amplitude térmica diária, especialmente pela redução do aquecimento diurno devido à reflexão da luz solar e aumento da temperatura noturna com o aumento da radiação de onda longa incidente (TATSCH, 2006). Observe o valor de p para ambas as variáveis, sendo muito significativas para o período.

O índice TN90p (Figura 4a) indica que a estação registrou um aumento de 20 dias de noites mais quentes na segunda década do período, atingindo nos últimos anos até 50 dias de noites mais aquecidas. Esse aumento de noites mais quentes pode estar também associado ao efeito da “ilha de calor” (DUCKWORTH e SANDBERG, 1954; CHANDLER, 1962; BUENO, 1988; CAMARGO e TAVARES, 1985; ASSIS, 1991; HASENAK et al., 1991; DUFEK e AMBRIZZI, 2005; COSTA, 1998; COSTA, 2009; entre outros). Este número de dias mais quentes provoca alterações do balanço de

energia e de radiação na zona urbana devido a substituição de superfícies naturais por superfícies pavimentadas e construções. A razão disso é que as superfícies estocam parte do calor recebido durante o dia, liberando-o para o ambiente após o por do sol. Na análise da Figura 4b observa-se uma diminuição de dias em que a temperatura mínima atinge valor abaixo do percentil 10 (TN10p). Ou seja, noites frias, com tendência de decréscimo a partir da década de 70 e inflexão da curva a partir da década de 80. Observe o valor de p para ambas as variáveis, sendo muito significativas para o período.

Com a liberação de energia solar à noite absorvida durante o dia por ruas e prédios, ocorre o aumento nos valores mensais mínimos da temperatura mínima diária (TNn) que influencia nas noites mais quentes (Figura 5a). Para o índice TNn (Figura 5b) verifica-se uma tendência de aumento do valor mensal máximo da temperatura mínima, com uma variação significativa no decorrer dos anos de estudo, com registros de até 28,4 oC em 1971 e 28,5 °C em 2001. Observe o valor de p para ambas as variáveis, sendo muito significativa no período para o primeiro, Figura 5a e significativa para o segundo, Figura 5b.

Uma análise similar à anterior também pode ser realizada em relação às Figuras 6a e 6b, nas quais se observa uma tendência de diminuição dos índices TR20 (noites tropicais), com valores muito significativos, e GSL (extensão do período de cultivo – ou de plantio/agrícola), com valores em nível apenas significativo. Observe que nas Figuras 6a e 6b, o valor de p foi de apenas 0,18, ou seja, próximo, mas abaixo do intervalo de confiança de 90%.

Observa-se um aumento no máximo mensal de precipitação em um dia (RX1day), alcançando uma taxa de aumento de até 215,8 mm no ano de 2004 (Figura 7), representado pela última década. Este índice é um tanto preocupante porque é um indicativo do aumento dos riscos de alagamento na cidade de Macapá. De acordo com a Defesa Civil local (Comunicação pessoal com representantes do Corpo de Bombeiros de Macapá) o número de pontos com risco de alagamento em Macapá passou, desde as duas últimas décadas passadas, de uma dezena à atualmente setenta localidades com estes problemas.

Apesar do indicador estatístico p apresentar um valor não muito significativo ($p = 0,163$) o comportamento do índice da Figura 7 apresenta uma inflexão positiva da curva, mostrando um provável

aumento dos riscos de alagamento em simultaneidade com o aquecimento urbano local. Este parâmetro pode também estar detectando uma consequência indireta do fenômeno “ilha de calor urbana”, considerando que os alagamentos são consequência natural da impermeabilização do solo, principalmente causado pela construção de superfícies artificiais urbanas (asfaltamento e calçamento, além da tradicional urbanização, verticalização, etc). Além disso, este foi o único parâmetro relacionado à precipitação em que foi observado mudanças de tendências nas características de variabilidade climática no período ($p = 0,163$).

5. DISCUSSÕES

No estudo foram analisadas as séries de dados meteorológicos diários (temperatura do ar e de precipitação) em Macapá no período entre 1968 a 2010. A metodologia consistiu no uso de indicadores de mudanças de tendência de variação climática a partir do uso do aplicativo livre RclimDex como ferramenta de análise estatística fundamentada em Zhang e Yang (2004).

A metodologia utilizada foi considerada consistente, flexível e de uso relativamente fácil, em que foi possível não só avaliar as variações das tendências do comportamento climático local, mas também a significância estatística de cada parâmetro com base na própria série climatológica corrigida da Estação Meteorológica de Macapá (Fazendinha). Trata-se de uma possibilidade de análise de cenários ambientais concernentes aos problemas ambientais que poderão se intensificar ou amenizar no futuro. Esta possibilidade nos permite especular quais providências em termos de gestão pública poderiam ser priorizadas para mitigar ou eliminar seus efeitos

deletérios ao homem e ao meio ambiente urbano.

Os resultados das análises, com base nos indicadores climáticos do RclimDex, apontam fortes indicativos de que Macapá, mais precisamente a localidade representada pela estação meteorológica do INMET – Distrito da Fazendinha, tende a se caracterizar como um reflexo confiável do fenômeno conhecido como “ilha de calor urbana”. Isto porque os níveis de significância da maioria dos índices analisados, sendo os mais expressivos a temperatura (Figuras 1 a 6) em detrimento da precipitação (Figura 7), acusar variações preocupantes em relação aos efeitos microclimáticos urbanos com seus consequentes efeitos diretos e indiretos sobre os cidadãos. Contudo, é importante observar que a temperatura apresenta reflexos mais locais (micro-escala) enquanto a precipitação tende a ser mascarado pelos fenômenos de grande escala, como a ITCZ. Talvez, essa tenha sido uma das razões para a amenização do efeito precipitação local (RX1Day).

De acordo com os índices apresentados ao longo da análise e discussão dos resultados, Macapá apresenta fortes indícios físicos (temperatura principalmente) reconhecidos em sistemas urbanos observados em outras “ilhas de calor” urbanas do país. Por assim dizer, os efeitos deletérios da desorganização urbana parecem estar se refletindo significativamente no microclima local, tal como observado em outras capitais ou cidades brasileiras estudadas por outros autores observados na revisão deste artigo.

A rigor, observou-se que os índices TX_x , TX_n , $TX90p$, $TX10p$, $WSDI$, DTR , $TN90p$, $TN10p$, TN_n , TN_x , $TR20$, foram todos quantificados como de alta significância estatística ($p < 0,05$). Por outro lado, os níveis de significância dos índices GSL e $RX1day$ foram apenas razoáveis

($0,188 < p < 0,163$). Contudo, este indicador sugere um problema urbano sério, que é o provável aumento do risco e intensificação de alagamentos na capital macapaense, haja vista que os níveis de aumento das chuvas intensas coincidem com o aumento da taxa de urbanização da capital. Deste modo, se a tendência deste parâmetro não fosse de elevação, o risco seria um pouco menor, mas não evitaria o problema da urbanização, em termos de ações necessárias ao Poder Público em termos de prevenção e reação da Defesa Civil da capital Macapaense.

Em relação às variações de temperatura, atenção especial pode ser dada ao aumento da temperatura máxima, representada pelo índice $TX90p$. Para este índice foi observado um brusco aumento do número de dias com temperaturas máximas acima do percentil 90, ou seja, dias quentes extremos mais frequentes. Neste caso, foi observada uma forte inflexão positiva da curva para esta variável, indicando uma tendência acentuada na primeira década analisada, onde o número de dias quentes era de aproximadamente 5, passando para níveis alarmantes e próximos de 60 dias no meio da década de 2000. Além disso, o índice climático $TX10p$ (relacionado às temperaturas mínimas) acusou uma tendência de diminuição do número de dias frios, provavelmente também associado ao aumento do número de dias quentes. Ou seja, o número de dias mais agradáveis está diminuindo.

Diante das análises dos parâmetros climáticos em Macapá, embora diferente de outras cidades da Amazônia, devido às variações de tamanho, localização geográfica, climatologia e, ainda, ao baixo nível de verticalização das construções, apresenta características comuns aos de outros centros urbanos regionais. Isto é, se apresenta com muitas áreas construídas ou artificiais que se expandem com o tempo. Tal avanço da urbanização

vem tomando lugar antes ocupado pela vegetação, alterando os índices microclimáticos locais.

Mas, ao longo das duas últimas décadas, a sistemática substituição da cobertura vegetal pela pavimentação e construções parece ter trazido problemas consideráveis, como a mudança dos padrões do microclima local mostrado pelos indicadores de variabilidade climática analisados. Talvez um dos mais expressivos indicadores seja o desconforto térmico observado pela população macapaense nos últimos 20 anos, a exemplo do aumento significativo de dias quentes mais freqüentes e por períodos cada vez mais prolongados. Assim, percebe-se certo nível de estresse fisiológico sobre os habitantes locais, com provavelmente danos tanto para a sua saúde física quanto mental. Na revisão da literatura, foi possível observar diversas manifestações populares desta natureza e os alertas têm sido cada vez mais freqüentes em outras regiões do país e no exterior. Em Macapá, esta tendência é observada na mídia local e por diversas manifestações da população nos meios de comunicação.

Mudanças das características do clima local, normalmente, repercute na percepção ou diminuição da qualidade de vida dos habitantes dos centros urbanos, tal como discutido nos tópicos da revisão da literatura. Percepções como aumento da sensibilidade ao excesso de calor, problemas de refrigeração de condicionadores de ar, diminuição de produtividade agrícola, problemas em reservatórios de geração de energia hidráulica, problemas de saúde pública, saneamento, eficiência energética, etc, são exemplos cada vez mais comuns no Estado do Amapá.

A identificação do fenômeno “ilha de calor urbana” em Macapá, assim como a sua correlação com diversos outros fatores ambientais, não pode mais ser desconsiderada

pelas autoridades locais, nem pelos gestores responsáveis pelos setores ambientais e de infra-estrutura ou da saúde. As análises indicaram que o assunto deve ser levado a sério e se apresenta como de grande importância para o estado do Amapá. Esta preocupação deve incidir, principalmente, como uma das bases fundamentais de planejamento urbano de longo prazo, favorecendo ações preventivas que promovam a reversão das tendências microclimáticas com possibilidades de melhoria da qualidade de vida de seus habitantes.

Com relação às hipóteses levantadas pela pesquisa, de que Macapá apresenta sintomas de “ilhas de calor urbana”, foi confirmada. Os principais indicadores avaliados pelo RCLimDex para análises de mudanças de tendência da variação climática local foram consistentes e significativas. Portanto, é importante considerar que essas análises possam ser aliadas dos estudiosos das ciências ambientais e de outros setores da sociedade para o enfrentamento preventivo de fenômenos físicos, sociais, biológicos ou ambientais relacionados ao microclima local. Especial atenção deve ser dada aos usuários que necessitam diariamente das informações relacionadas aos parâmetros indicadores das perturbações climáticas causadas pelos impactos da urbanização sobre o microclima local e suas consequências no ambiente e no modo de vida da população.

6. CONCLUSÕES

Com base nos resultados, apresentamos as seguintes conclusões:

- 1- As séries meteorológicas diárias de temperatura do ar e de precipitação em Macapá, no período entre 1968 a 2010, estão consistentes com a geração

de indicadores de mudanças de tendência de variação climática a partir do uso do aplicativo livre RCLimDex;

- 2- A metodologia utilizada é robusta, pois proporciona uma série de análise de cenários concernentes aos problemas ambientais atuais e que poderão se intensificar (ou amenizar) no futuro, sendo útil para estudos de prevenção, mitigação ou eliminação de efeitos deletérios da mudança do clima urbano;
- 3- Os indicadores climáticos apontam para uma tendência de comportamento do fenômeno conhecido como “ilha de calor urbana”, o qual se manifesta por intermédio de perturbações ou variações microclimáticas e seus consequentes efeitos negativos sobre vários aspectos ambientais, como conforto térmico. Neste caso, os indícios físicos são também observados ou reconhecidos em outras localidades da Amazônia, como Belém, Santarém e Manaus. E, apesar de apresentar apenas dimensões urbanas medianas, Macapá apresenta algumas vantagens como tamanho, localização geográfica e climatologia dos ventos, sendo esta última favorecida positivamente pelo baixo nível de urbanização e potencialmente amenizada pelo efeito de brisa do rio Amazonas;
- 4- Ao longo das duas últimas quatro décadas, a sistemática substituição da cobertura vegetal pela pavimentação e construções parece ter trazido problemas

associados com a mudança dos padrões do micro-clima local sugerido pelos indicadores de variabilidade climática analisados. A possível verificação pode ser uma resposta dos treze índices de mudanças de tendência climática, TXx, TXn, TX90p, TX10p, WSDI, DTR, TN90p, TN10p, TNn, TNx, TR20, com alta significância estatística ($p < 0,05$), além dos índices GSL e RX1day, com indicadores medianamente significativos ($0,188 < p < 0,163$). Entretanto, um agravante importante é que estes dois últimos são indicadores de aumento do risco de intensificação de alagamentos na capital macapaense (chuvas severas) o que é uma preocupação para os gestores da defesa civil, além de um grande problema ambiental devido à precariedade sanitária da capital;

- 5- Mudanças das características do clima local, normalmente, repercutem em aumento da sensibilidade humana ao excesso de calor, podendo também interferir na produtividade de serviços em geral (saúde pública, saneamento conforto térmico, agricultura, geração de energia, eficiência energética, etc);
- 6- Recomenda-se, portanto, que as Políticas Públicas locais devam doravante considerar a problemática do fenômeno “ilha de calor urbana” em Macapá, haja vista os indicadores quantificarem significativas mudanças das tendências microclimas locais e, conseqüentemente,

ambientais. Nos Planos Diretores, por exemplo, tais informações não podem mais ser desprezadas pelas autoridades locais, nem pelos gestores do setor de Defesa Civil e ambiental.

- 7- Finalmente, a população diretamente afetada deve estar ciente de mais um problema ambiental que pode estar diretamente ligado aos impactos negativos da urbanização. Os alagamentos e veranicos prolongados no período de seca são alguns dos fenômenos relevantes que influenciam o ambiente urbano local. Seus efeitos negativos podem ter conseqüências imediatas ou no longo prazo no ambiente e no modo de vida da população.

AGRADECIMENTOS:

Os autores agradecem a concessão de bolsa Iniciação Científica PIBIC/UNIFAP/CNPq; Bolsa de Produtividade CNPq Processo CNPq nº 305657/2009-7; o apoio dado aos seguintes projetos de pesquisa: Rede de Gestão Integrada de Monitoramento da Dinâmica Hidroclimática e Ambiental da Bacia do Jarí - Estado do Amapá” IEPA/UNIFAP/SUDAM; Climurb (CNPq/UFPA/IEPA/UNIFAP) e Modclim (CNPq/UFPA/ UNIFAP), REMAM2 (FINEP/CNPq/UFPA); e ao Laboratório de Modelagem Ambiental da CCAM/UNIFAP. A equipe também agradece aos idealizadores do *aplicativo* RClmDex, especialmente o Dr. Yang (Canadá) por ter possibilitado e orientado a equipe quanto às mudanças no *script* do *aplicativo* para melhorar a etapa de confecção das figuras e dos textos inseridos nas mesmas.

REFERÊNCIAS

- AMANAJÁS, J. C.; CUNHA, A. C. Análise comparativa do desempenho dos modelos WRF e ETA operacional NHMET/IEPA na previsão de chuva para o município de Macapá-AP. In: CUNHA, A. C.; SOUZA, E. B.; CUNHA, H. F. A. (Eds.). **Tempo, Clima e Recursos Hídricos - Resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá**. 1ª. ed. Macapá: IEPA, 2010. p. 43-60.
- ASSIS, E. S. **Avaliação da influência do uso e ocupação do solo sobre a formação da ilha de calor na cidade de Belo Horizonte, MG**. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1. **Anais...** Porto Alegre: [s.n.], 1991.
- BUENO, C. L. **Estudo da atenuação da radiação solar incidente por diferentes espécies arbóreas**. [S.l.]: UNICAMP, 1988.
- CAMARGO, J. C. G.; TAVARES, A. C. A **influência** da cidade de Rio Claro na temperatura e na umidade do ar. **Geografia**, v. 10, n. 20, p. 149-168, 1985.
- CHANDLER, T. J. Temperature and humidity traverses across London. **Weather**, v. 17, n. 7, p. 235-242, 1962.
- COSTA, A. C. L. **Estudo de Variações Termo-Higrométricas de Cidade Equatorial devido ao Processo de Urbanização. O caso de Belém - PA**. [S.l.]: EESC-USP, 1998.
- DUCKWORTH, F. S.; SANDBERG, J. S. The effect of cities upon horizontal and vertical temperature gradients. **Bulletin American Meteorological Society**, v. 35, n. 5, p. 198-207, 1954.
- DUFEK, A. S.; AMBRIZZI, T. Variabilidade climática da temperatura no Estado de São Paulo. **Revista de Iniciação Científica: CETEPE-EESC/USP**, v. 7, p. 23-29, 2005.

- ETCCDMI.
<http://ccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI>
- ETCCDMI.
<http://ccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/aplicativo.html>
- GARCIA CUETO, O. R.; JÁUREGUÍ, O. E.; TOUDERT, D.; TEJEDA MARTINEZ, A. Detection of the urban heat island in Mexicali, B.V., México and its relationship with land use. **Atmosfera**, v. 20, n. 20, p. 111-131, 2007.
- GARTLAND, L. **Ilhas de Calor: como mitigar zonas de calor em áreas urbanas**. 1ª. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. p. 248
- GOLDREICH, Y. Urban climate studies in Johannesburg, A sub-Tropical city located on a bridge - A review. **Atmospheric Environment**, v. 26B, n. 3, p. 407-420, 1992.
- HASENACK, H.; BECKER, V. L. **Distribuição noturna da temperatura em Porto Alegre, RS utilizando o método de medidas móveis**. Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1. **Anais...** Porto Alegre: [s.n.], 1991
- HAYLOCK, M. R. **Trends in total and extreme South American rainfall, 1960-2000**. [S.l: s.n.], 2006
- IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Dados climáticos 2010**. Disponível em: <http://www.suapesquisa.com/estadosbrasileiros/estado_amapa.htm>. Acesso em: 4 fev. 2011.
- JAUREGUÍ, O. E. **La isla de calor en Toluca, Mex.**. Mexico: [s.n.], 1979
- JAUREGUÍ, O. E. Aspects of heat-island development in Guadalajara, Mexico. **Atmospheric Environment**, v. 26B, n. 3, p. 391-396, 1992.
- KUHN, P.; CUNHA, A. C.; PEREIRA, M. J.; SARAIVA, J. M. B. Previsão Numérica Operacional no Estado do Amapá utilizando o BRAMS. In: CUNHA, A. C.; SOUZA, E. B. DE; CUNHA, H. F. A. (Eds.). **Tempo, Clima e Recursos Hídricos - Resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá**. 1ª. ed. Macapá: IEPA, 2010. p. 61-82.
- LANDSBERG, H. E. **The urban climate**. New York: Academic Press, 1981.
- LOMBARDO, M. A. A. **A ilha de calor nas metrópoles - O exemplo de São Paulo**. 1ª. ed. São Paulo: Huciteck, 1985. p. 245.
- LOWRY, W. P. The climate of cities. **Scientific American**, v. 217, n. 2, p. 15-23, 1967.
- MAITELLI, G. T.; ZAMPARONI, C. A. P. G.; LOMBARDO, M. A. A. **Ilha de calor em Cuiabá-MT: Uma abordagem de clima urbano**. Encontro Nacional de Estudos sobre Meio Ambiente, 3. **Anais...** Londrina: [s.n.], 1991.
- MITCHELL, J. M. The temperature of cities. **Weatherwise**, v. 14, n. 6, p. 224-229, 1961.
- OKE, T. R. The energetic basis of the urban heat island. **Quarterly Journal of the Royal Meteorological Society**, v. 108, p. 1-24, 1982.
- OKE, T. R.; MAXWELL, G. B. Urban heat island dynamics in Montreal and Vancouver. **Atmospheric Environment**, v. 9, p. 191-200, 1975.
- PANOSFSKY, H. A.; BRIER, G. W. **Some applications of statistics to meteorology**. Pennsylvania: University Park, 1968. p. 224
- PINTO, E.; KEY, R. C.; TRAVERS, A. **Compendium on methods and tools to evaluate impacts of, and vulnerability and adaptation to, climate change. Parties to the United Nations Framework Convention on Climate Change UNFCCC Secretariat**. [S.l: s.n.], 2008
- ROCHA, J. C.; ROSA, A. H.; CARDOSO, A. A. **Química da Atmosfera. Introdução à Química Ambiental**. 2ª. ed. [S.l.]: Bookman, 2010. p. 93-135.
- ROMEIRO, N. M. L.; CASTRO, R. G. S.; CIRILO, E. R.; NATTI, P. L. Local calibration of coliforms parameters of water quality problem at Igapó I Lake, Londrina, Paraná, Brazil. **Ecological Modelling**, v. 222, n. 11, p. 1888-1896, jun 2011.
- ROMERO, M. A. B. **Arquitetura Bioclimática dos espaços públicos**. 1ª. ed. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 1988.
- SANTOS, C. A. C.; BRITO, J. I. B.; RAO, T. V. R.; MENESES, H. E. A. Tendências do Índices de Precipitação no Estado do Ceará. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 1, p. 39-47, 2009.
- SOUZA, E. B. DE; CUNHA, A. C. Climatologia de precipitação no Amapá e mecanismos climáticos de grande escala. In: CUNHA, A. C.; SOUZA, E. B. DE (Eds.). **Tempo, Clima e Recursos Hídricos - Resultados do Projeto REMETAP no Estado do Amapá**. 1ª. ed. Macapá: IEPA, 2010. p. 177-195.
- SOUZA, E. B. DE; LOPES, N. G.; SOUZA, J. S. *et al.* Precipitação sazonal sobre a Amazônia Oriental no período chuvoso: observações e simulações regionais com o RegCM3. **Revista Brasileira de Meteorologia**, v. 24, n. 2, p. 111-124, 2009.
- SOUZA, I. M. P.; COSTA, A. C. L.; SILVA JR, J. A. *et al.* **Sazonalidade da temperatura do ar e radiação solar global em cidades de diferentes portes na Amazônia Brasileira**. Anais do Congresso Brasileiro de Meteorologia - Seção Clima e Mudanças Climáticas. **Anais...** [S.l: s.n.], 2010

SOUZA, W. M.; AZEVEDO, P. V.
Avaliação das tendências das
Temperaturas em Recife – PE:
Mudanças Climáticas ou
variabilidade? **Revista de
Engenharia Ambiental**, v. 6, n. 3, p.
462-472, 2009.

STULPNAGEL, A. V.; HOBERT, M.;
SUKOPP, H. The importance of
vegetation for the urban climate.
Urban Ecology, p. 175-193, 1990.

TATSCH, J. D. **Uma análise dos
fluxos de superfície e do microclima
sobre cerrado, cana-de-açúcar e
eucalipto, com implicações para
mudanças climáticas regionais.**
[S.l.]: Universidade de São Paulo,
2006.

VIDAL, R. D. . **Influência da
morfologia urbana nas alterações
da temperatura do ar na cidade de
Natal (RN).** Encontro de Professores
de Conforto Ambiental - NE,1.
Anais... João Pessoa: [s.n.] , 1992

YANG, F. **Alterações das sub-rotinas
do script do RCLimDex.** . [S.l: s.n.] ,
2011

ZHANG, X. **RCLimDex Aplicativo.**
Disponível em:
<[http://cccma.seos.uvic.ca/
ETCCDMI/ aplicativo.html](http://cccma.seos.uvic.ca/ETCCDMI/aplicativo.html)>. Acesso
em: 3 jan. 2011.

ZHANG, X.; YANG, F. **RCLimDex (1.0),
User Guide.** . Ontario: [s.n.] , 2004

Recebido em: maio/2011
Aprovado em: mar/2012