

## **INFLUÊNCIA DA COBERTURA DO SOLO URBANO NAS VARIÁVEIS MICROCLIMÁTICAS NA CIDADE DE CUIABÁ-MT-BRASIL**

**Vanessa de Souza Luz (1); Carolina de Rezende Maciel (2); Flávia Maria de Moura Santos (3); Marta Cristina de Jesus Albuquerque Nogueira (4); José de Souza Nogueira (5)**

(1) Mestre, email: vanessa\_luz219@hotmail.com, Programa de Pós-graduação em Física Ambiental/UFMT

(2) Doutora, email: carolmaciel\_arq@yahoo.com.br, Programa de Pós-graduação em Física Ambiental/UFMT

(3) Doutora, email: flavia\_mms@hotmail.com, Professora do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental e do Departamento de Arquitetura e Urbanismo/UFMT

(4) Doutora, email: mcjanp@gmail.com, Professora do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental e do Departamento de Arquitetura e Urbanismo/UFMT

(5) Doutor, email: nogueira@ufmt.br, Coordenador do Programa de Pós-graduação em Física Ambiental/UFMT

### **RESUMO**

O crescimento da população demanda a alteração do meio urbano para adaptá-lo às novas necessidades. A cobertura do solo é substituída de cobertura natural por pavimentos impermeáveis e construções. No entanto, esse crescimento é feito de forma desordenada, sem preocupação com as consequências das alterações causadas no meio ambiente. Visando colaborar com estudos na área de climatologia urbana, este trabalho tem o objetivo de analisar a influência das alterações na cobertura do solo nas variáveis microclimáticas como forma de subsidiar futuros projetos de edificações e de planejamento urbano. Trata-se de estudo de caso de duas regiões no município de Cuiabá-MT-Brasil, que possui um rigor climático constante sendo notável o crescimento desordenado e falta de planejamento na cidade. Para tanto foram analisadas duas regiões com características distintas em dois períodos também distintos: estação quente-seca e estação quente-úmida. Como metodologia foram feitos estudos do espaço urbano com descrição qualitativa e classificação dos padrões de ocupação do solo, além de serem instaladas estações micrometeorológicas para coleta de dados das variáveis de temperatura do ar, umidade relativa do ar e radiação solar em cada região analisada. Observou-se que as regiões apresentaram resultados distintos com diferenças de temperatura e umidade do ar diante de equivalente radiação solar. Valores semelhantes de radiação solar colaboraram para analisar sua interação com os diversos materiais que compõem a cobertura do solo urbano e analisar a influência das propriedades físicas desses materiais nas variáveis de temperatura e umidade do ar. Espera-se que com os resultados desta pesquisa, que os estudos de conforto ambiental para o estado do Mato Grosso seja enriquecido, atentando para a importância de áreas verdes ou sombreadas e diminuição das áreas impermeabilizadas como forma de mitigar o rigor climático imposto pelo clima de cidades, ainda em desenvolvimento, como Cuiabá – MT - Brasil.

Palavras-chave: Radiação solar, espaço urbano, revestimento do solo.

### **ABSTRACT**

The population growth demand the change of the urban environment to adapt it to new needs . The ground cover is replaced natural coverage by impermeable pavements and buildings . However , this growth is done in a disorderly way , without concern for the consequences of alterations in the environment . Aiming supporting studies on urban climatology , this paper aims to analyze the influence of changes in land cover on microclimate variables as a way to support future projects of buildings and urban planning . It is a case study of two regions of the city of Cuiaba - MT , Brazil , which has a constant climate with remarkable accuracy the uncontrolled growth and lack of planning in the city . For both two regions with distinct characteristics were also analyzed in two distinct periods : hot - dry season and hot - wet season . As methodology studies of urban space with qualitative standards and classification of land cover description

were made , besides being installed micrometeorological stations to collect data on the variables of air temperature , relative humidity and solar radiation for each region analyzed . It was observed that regions showed different results with differences of temperature and humidity on solar radiation equivalent . Similar values of solar radiation collaborated to analyze their interaction with the various materials that make up the urban land cover and analyze the influence of the physical properties of these materials in the variables of temperature and humidity. It is hoped that the findings of this research, which studies environmental comfort for the state of Mato Grosso is enriched , noting the importance of green or shaded areas and reduction of impervious areas as a way to mitigate climate rigor imposed by climate cities , still under development , such as Cuiabá - MT – Brazil.

Keywords: Solar radiation, urban space, floor covering.

## **1. INTRODUÇÃO**

As cidades estão em crescimento buscando acompanhar o ritmo global com grande parte dessa população vivendo em áreas urbanas. Esse crescimento ocorre muitas vezes de forma desordenada, principalmente em países em desenvolvimento como o Brasil.

Ribeiro (2004) aponta que os principais problemas das cidades brasileiras são de ordem social, econômica e institucional. A dificuldade de acesso a terra por parte dos mais pobres, ao longo de muitos anos, culminou na proliferação de áreas urbanas informais. Verificam-se o crescimento físico elevado das manchas de ocupação, principalmente em torno de metrópoles, com adensamento excessivo de áreas desprovidas de infraestrutura urbana e equipamentos sociais, e o agravamento da situação de informalidade da ocupação do solo urbano, com favelização e ocupações irregulares – um nítido comportamento de segregação social. Em paralelo, pontuam vazios urbanos dotados de infraestrutura como retenção especulativa do solo. No conjunto, esses processos provocam agressão ao meio ambiente urbano, com comprometimento dos recursos naturais e da qualidade de vida dos habitantes.

No entanto, muitas das construções regulares acontecem sem planejamento. Não há preocupação com o quanto as escolhas e decisões tomadas impactarão em seus moradores. Para o crescimento da cidade, ocupa-se desordenadamente o solo urbano e aumentam-se as áreas construídas, o que, juntamente com o grande adensamento populacional, a redução das áreas verdes e a poluição atmosférica, causam alterações no microclima que podem prejudicar o conforto ambiental. Como consequência, há o aumento da temperatura, a diminuição da umidade do ar e mudança na direção dos ventos. O conforto nas áreas externas fica comprometido, uma vez que as pessoas remediam o desconforto condicionando os espaços internos, aumentando consequentemente a demanda de energia elétrica.

A cidade de Cuiabá, capital de Mato Grosso, possui um rigor climático constante quase o ano todo e é visível o crescimento desordenado e falta de planejamento. É importante considerar medidas de planejamento bioclimático baseado no microclima local em que a cidade está inserida para que problemas atmosféricos urbanos resultantes do crescimento demográfico possam ser mitigados, além da adoção de medidas preventivas relativas à esta questão.

A evolução das cidades envolve modificações quantitativas e qualitativas nas atividades urbanas e, como consequência, surge a necessidade de adaptação dos espaços necessários para o desenvolvimento dessas atividades. Estas adaptações dos espaços envolvem, em grande parte, a alteração da cobertura natural das superfícies através da substituição de áreas vegetadas por pavimentos asfálticos e concreto.

Apesar das diversas pesquisas realizadas na área de climatologia urbana, ainda há muito a ser feito para ser possível relacionar com exatidão as consequências das alterações do ambiente causadas pelas transformações urbanas no microclima e o quanto essas transformações influenciam no conforto ambiental.

## **2. OBJETIVO**

O objetivo deste artigo é analisar a influência das alterações de cobertura do solo no comportamento de variáveis microclimáticas em áreas urbanas localizadas no município de Cuiabá/MT.

## **3. ÁREA DE ESTUDO**

De acordo com Cuiabá (2011) no decorrer do século XVIII diversas crises fizeram a cidade de Cuiabá passar por fases de fluxo e de refluxo populacional, resultando em uma expansão descontínua do espaço urbano.

A transferência da capital do Estado para Cuiabá contribuiu para que no início do século XX a cidade começasse a ganhar as características de metrópole que tem hoje. O processo de urbanização, iniciado no final da década 1930, intensificou-se na década de 1960, quando Cuiabá passou à condição de polo de apoio à ocupação da Amazônia meridional brasileira, sendo chamada de “Portal da Amazônia”. A população aumentou consideravelmente, ocorrendo inclusive a conurbação com o município vizinho de Várzea Grande.

Cuiabá (2011) aponta que anteriormente a sucessivas ampliações do perímetro urbano, a cidade de Cuiabá já dispunha de grande número de lotes vagos em loteamentos com infraestrutura, cujos proprietários aguardavam sua valorização imobiliária. Com as ampliações do perímetro urbano, surgiram maior número e maior extensão de áreas vazias e ociosas.

A forma urbana resultante das diversas transformações urbanas sofridas por Cuiabá ao longo de sua história, somadas às ações de caráter recente (vazios urbanos devido à especulação imobiliária) contribuem para que o microclima desta região seja decorrente das interações entre as variáveis microclimáticas e esta forma urbana resultante.

Romero (2007) aponta as características do clima quente-seco representativas do clima de Cuiabá. Durante o dia, as temperaturas máximas alcançam valores mínimos na madrugada. O clima apresenta, em geral, duas estações: uma seca e outra úmida. As chuvas não alcançam os valores de umidade característicos das regiões tropicais-úmidas. Há pouca radiação difusa em virtude da baixa umidade. A radiação direta é intensa. A umidade relativa do ar é baixa. As massas de ar quente conduzem partículas de poeira em suspensão nos seus deslocamentos durante o período seco.

As áreas das quais se tratam este trabalho estão localizadas no município de Cuiabá/MT: a Universidade Federal de Mato Grosso denominada como Região 01 e o Bairro Pedra 90, denominado como Região 02 (Figura 1). As áreas foram escolhidas em função das diferenças de ocupação do solo, principalmente do entorno imediato, com diferenças no padrão das edificações.

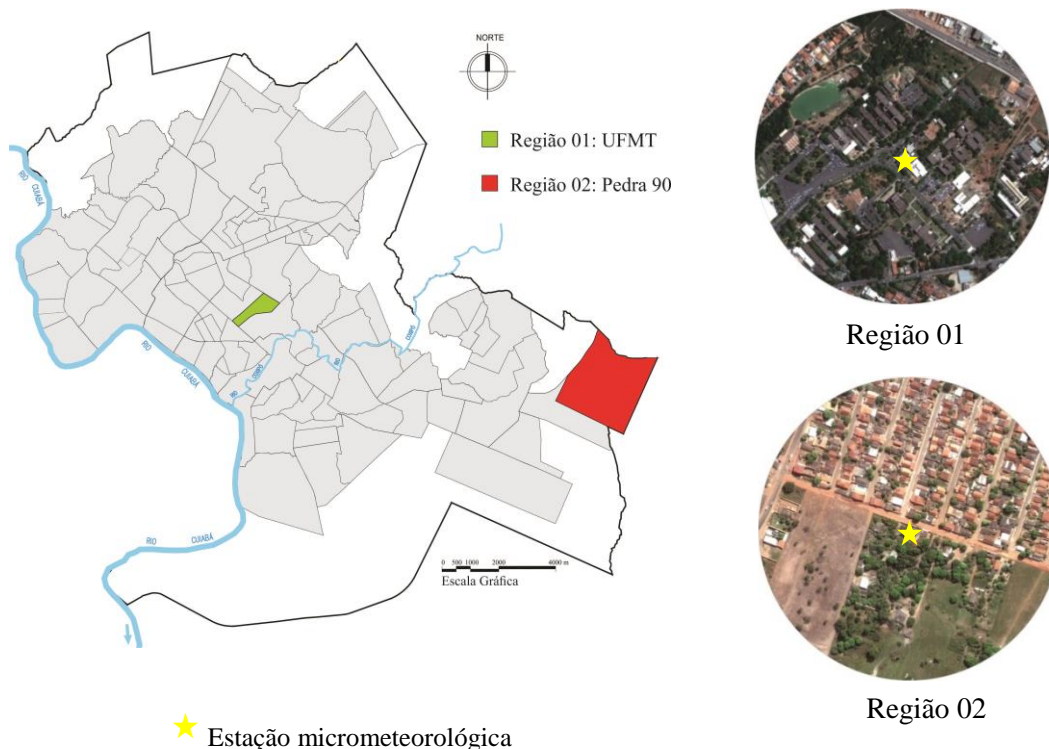


Figura 1 –Localização das regiões de estudo  
Fonte: Adaptado de CUIABÁ (2007) /GeoEye – Google Earth

### 3.1. Região 01 – UFMT

Localizado na Av. Fernando Correa da Costa, o campus da UFMT-Cuiabá é uma cidade universitária com infraestrutura e equipamentos urbanos. Difere-se de seu entorno por ter baixa densidade demográfica, abrigando edificações extensas horizontalmente implantadas de maneira esparsa, com predominância de áreas verdes em todo o campus.

A Região é contornada por vias de grande fluxo de veículos (Av. Fernando Correa da Costa e Avenida Jorn. Arquimedes Pereira Lima) e em menor escala por vias coletoras (Av. Brasília no bairro Jardim das Américas e Rua 01 no bairro Boa Esperança). Trata-se de uma região de entorno altamente edificado com shopping center, bancos, supermercados e comércio diversos, além da própria universidade e contando, ainda com diversas edificações multifamiliares compostas por mais de vinte pavimentos no bairro Jardim das Américas.

### 3.2. Região 02 – Pedra 90

De acordo com Cuiabá (2011), o bairro Pedra 90 foi criado em 1996 como plano emergencial de habitação, sendo uma área predominantemente residencial, situada limítrofe ao perímetro urbano do município. Está localizada a 11 km em linha reta da região 01 e a 20 km do centro da cidade, apresentando áreas de baixa densidade demográfica em seu entorno.

Diferente da Região 01, o entorno da Região 02 encontrou-se minimamente adensado, tratando-se de uma “ilha” edificada cercada por áreas de expansão do município onde a cobertura do solo é predominantemente de vegetação rasteira e solo descoberto.

#### 4. METODOLOGIA

Tanto na Região 01 (UFMT), quanto na Região 02 (Pedra 90), foram instaladas estações micrometeorológicas para coleta de dados das condições climatológicas (umidade relativa, temperatura e radiação solar) durante seis meses entre os anos de 2011 e 2012, correspondendo aos períodos Quente-seco e Quente -úmido.

A estação micrometeorológica utilizada na Região 01 (UFMT) é composta pelo Conjunto de Sensores Integrados (ISS) modelo Vantage Pro 2 Plus, da marca Davis Instruments (Figura 2). O equipamento coletou os dados das condições atmosféricas. De acordo com a metodologia de Oke (2004), para medidas realizadas dentro de áreas urbanas a cada metro que a estação estiver afastada do solo, seu raio de abrangência aumenta em cem metros, dessa forma, com a estação instalada a dois metros do nível do solo, seu raio de abrangência corresponde a 200 metros, como é o caso da Região 02 (Pedra 90). Da mesma forma, a estação da Região 01 (UFMT) foi instalada a quatro metros do nível do solo e seu raio de abrangência corresponde a 400 metros.



Figura 2 – Estação micrometeorológica automática Vantage Pro 2 Plus

O mapeamento dos atributos de cobertura do solo das regiões em estudo foi realizado com o objetivo de quantificar as categorias de materiais que compõem o solo urbano. Para o desenvolvimento destes mapas temáticos, de acordo com a metodologia de Katzschner (1997), que consiste no estudo do espaço urbano por avaliação das condições do clima urbano por meio de uma descrição qualitativa do espaço e de um sistema de classificação baseado nos padrões térmicos e dinâmicos do clima urbano, em relação à sua topografia, ao uso do solo, às áreas verdes e à altura dada às edificações, seguido por uma descrição quantitativa do espaço, foram utilizadas imagens do satélite GeoEye obtidas através do software Google Earth datadas de 30/9/2009 da Região 01 e 01/06/2010 da Região 02. As imagens foram importadas em um software CAD (Desenho assistido por computador) para quantificação das diferentes áreas de ocupação do solo.

Posteriormente, foram feitas as análises dos dados microclimáticos utilizando gráficos de gradientes por meio do recurso “Formatação condicional” do software Excel, pacote Microsoft Office 2010.

Finalmente, para a análise estatística foi utilizado o teste T para comparar as regiões estudadas relacionando-as às variáveis microclimáticas: temperatura e umidade do ar, verificando-se a normalidade dos resíduos através do teste de Shapiro-Wilk. Essas análises estatísticas foram realizadas através do software R, versão 3.0.0 (R Core Team, 2012).

## 5. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 5.1. Mapeamento dos atributos

Na Região 01 (Figura 3a), as categorias de cobertura do solo que apresentaram maior área de abrangência foram vegetação arbórea (24,58%), solo descoberto (17,65%) e vegetação rasteira (16,72%). Enquanto na Região 02 (Figura 3b), as categorias que apresentaram maior área de abrangência corresponderam ao solo descoberto (37,04%), vegetação rasteira (20,54%) e vegetação arbórea (14,54%). Importante notar que a categoria asfalto teve uma diferença significativa entre as regiões, sendo na Região 01 ocupou 14,77% de sua área, enquanto que na Região 02, a mesma categoria representou 0,68%.

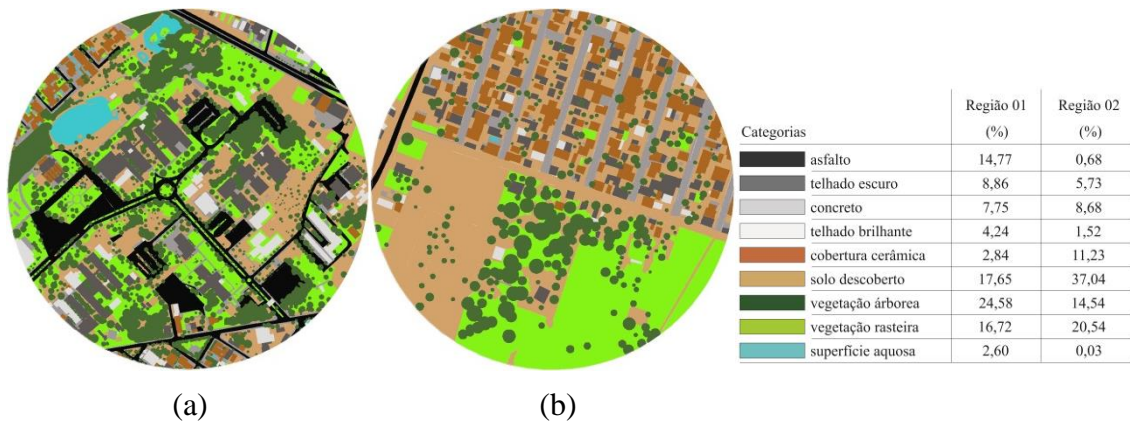


Figura 3 – Mapa de cobertura do solo da Região 01 (a) e Região 02 (b)

É importante apontar que as ruas pavimentadas no bairro Pedra 90 foram consideradas como concreto na segmentação das categorias de cobertura do solo, e não como asfalto, pois as ruas estavam bastante desgastadas, apresentando, em termos de albedo, tonalidade similar ao concreto. Dessa forma a abrangência dessa categoria apresentou valores semelhantes nas duas regiões estudadas.

Na Região 01 (UFMT), a categoria asfalto compreende 14,77% da área total estudada, esse fato deve-se a que o asfalto, além de ser material de revestimento das vias de tráfego, é aplicado também nas áreas de estacionamento. Enquanto que na Região 02 (Pedra 90) tem-se apenas a via principal asfaltada.

O mapa do atributo altura das edificações categoriza as edificações de acordo com seu gabarito. Foram consideradas como categorias edificações térreas e edificações com dois ou mais pavimentos. Não foram identificadas nas áreas estudadas edificações com mais de quatro pavimentos.

Na Região 01 (Figura 4a) observa-se a existência de várias edificações térreas, no entanto, a maioria das edificações possui 02 ou mais pavimentos.

Na Região 02 – Pedra 90 (Figura 4b) as edificações com dois pavimentos eram do tipo sobrado, característica correspondente à zona residencial. As outras edificações eram predominantemente térreas. Não havia edificações com mais de dois pavimentos.

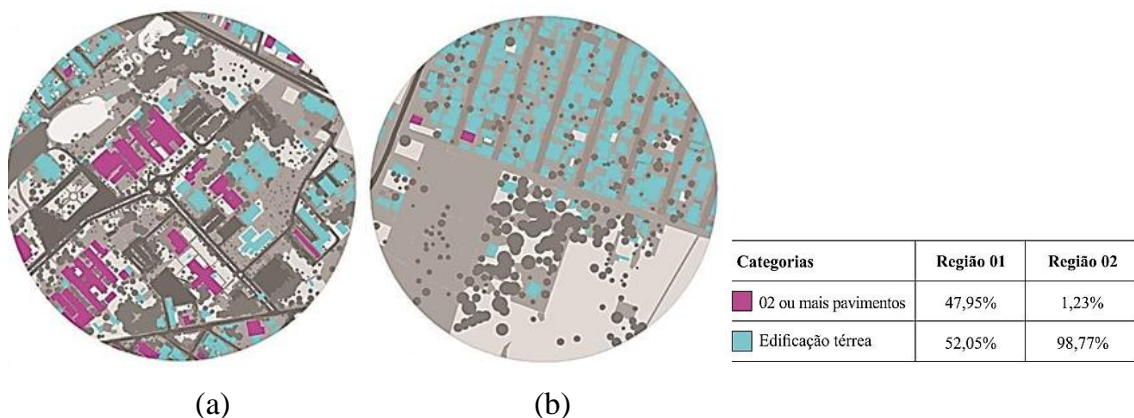


Figura 4 – Mapa de altura das edificações da Região 01 (a) e Região 02 (b)



## 5.2. Análise do microclima

Por meio da caracterização dos dados foi possível verificar as faixas horárias dos períodos analisados que apresentaram maiores valores de radiação solar (Figura 5).

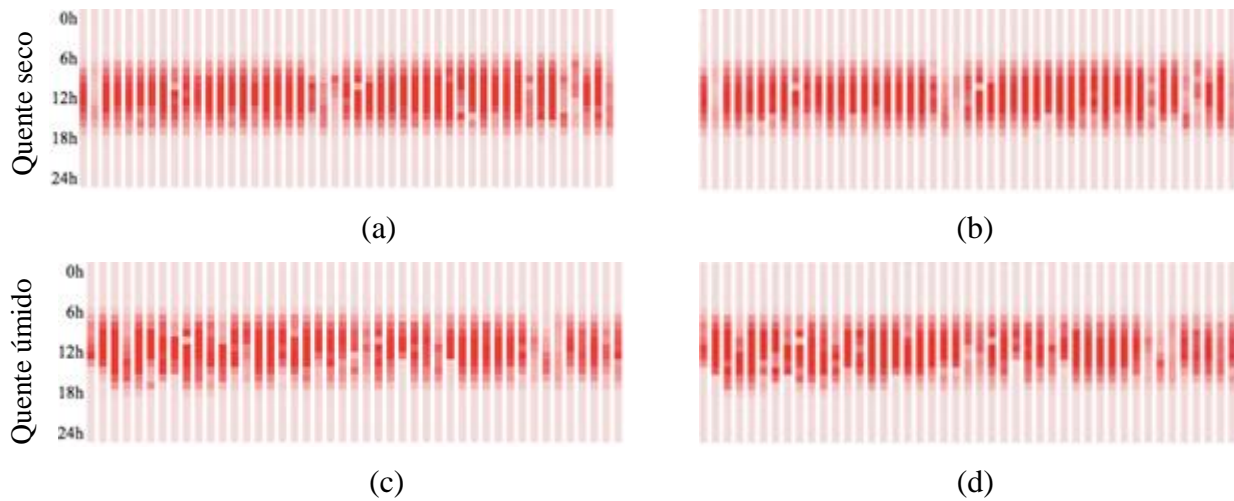


Figura 5 – Radiação Solar da Região 01 (a,c) e Região 02 (b,d)

A radiação solar apresentou comportamento semelhante nas duas regiões nos períodos estudados, pois as regiões encontram-se na mesma latitude. Os valores menores de radiação solar no período quente-úmido podem ser relacionados, principalmente, pela presença maior de nuvens, causando a dissipação da radiação direta.

Observou-se uma faixa uniforme de radiação solar no período quente-seco, com alguns dias com valores menores de radiação solar. Tem-se nesse período a presença de fumaça devido aos inúmeros focos de queimadas que atingem o estado de Mato Grosso, fato que aumenta a radiação refletida; pois quanto mais dióxido de carbono e outros gases do efeito estufa ficarem presentes no ar, mais radiação será emitida de volta para a superfície. No período quente-úmido, nos dias em que o sol está encoberto há uma redução na intensidade da radiação, pois as nuvens a absorvem e/ou a espalham em várias direções.

Quanto a análise de Temperatura do Ar observou-se que a Região 01 (UFMT) apresentou valores maiores de temperatura no início do dia e a partir do fim da tarde. Durante o período de maior incidência solar, a Região 02 possui as maiores temperaturas, no entanto, as diferenças de valores são pouco significativas (Figura 6).

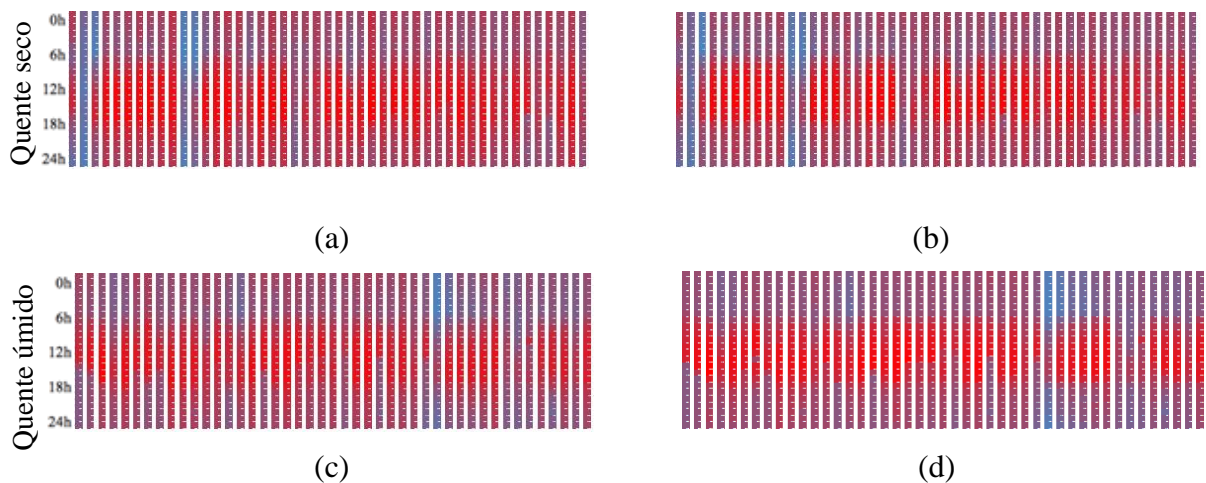


Figura 6 – Temperatura do Ar da Região 01 (a,c) e Região 02 (b,d)

A maior diferença foi de 3,1°C às 18 horas e a menor diferença foi de 0,1°C às 14 horas no período quente-seco. No período quente-úmido a maior diferença foi de 2,3°C às 18 horas, às 12 horas as regiões estudadas apresentam, em média, os mesmos valores de temperatura.

Notou-se que a Região 02 (Pedra 90) reagiu rapidamente à radiação solar, aquecendo rapidamente durante o dia e arrefecendo rapidamente durante a noite enquanto a Região 01 apresentou maior inércia térmica, demorando mais para responder à variação da radiação solar.

Por outro lado, a radiação que incide sobre os materiais que compõem a cobertura do solo é absorvida e refletida pelos mesmos. A quantidade de radiação refletida é proporcional ao albedo de cada material. Superfícies escuras e rugosas tem um albedo menor, o que se traduz em baixa refletividade de radiação e em alta absorção da radiação nelas incidentes ocasionando aumento de temperatura. O aumento da temperatura da superfície aumenta a temperatura do ar imediatamente próximo a ela e por convecção aumenta a temperatura do ar nas camadas mais altas.

Por isso, acredita-se que o fato da Região 01 (UFMT) apresentar valores maiores de temperatura no início do dia e a partir do fim da tarde possam indicar sinais da presença de ilha de calor urbana. A Região 01 (UFMT) possui maior área de cobertura do solo ocupada por materiais característicos do meio urbano como o concreto e o asfalto, no quais a energia térmica demora mais tempo para ser dissipada. A Região 02 (Pedra 90), por sua vez, possui maior menor quantidade destes materiais, permitindo que a energia térmica seja dissipada com maior rapidez.

Quanto a análise da Umidade Relativa observou-se que a Região 01 (UFMT) apresentou valores menores de umidade relativa do ar, as diferenças de valores entre as duas regiões foi marcante durante o período quente-úmido, no entanto, foi mantido o mesmo comportamento. A Região 02 (Pedra 90) manteve-se com os valores mais altos, principalmente no início e final do dia. A maior diferença apresentada foi de 12,9% às 18 horas e a menor diferença corresponde a 4,1% às 12 horas.

Através do gradiente (Figura 7) foi possível visualizar o comportamento da umidade ao longo dos períodos estudados. Foi possível verificar no período quente-seco os dias em que as taxas de umidade foram maiores e os horários em que os valores apresentaram mais baixos. O mês de outubro apresentou valores mais altos de umidade, inclusive durante o período diurno. Percebeu-se que no período quente-úmido que as taxas de umidade do ar foram mais distribuídas ao longo do dia na Região 01, enquanto na Região 02 o período da manhã e noite estava mais concentrada.

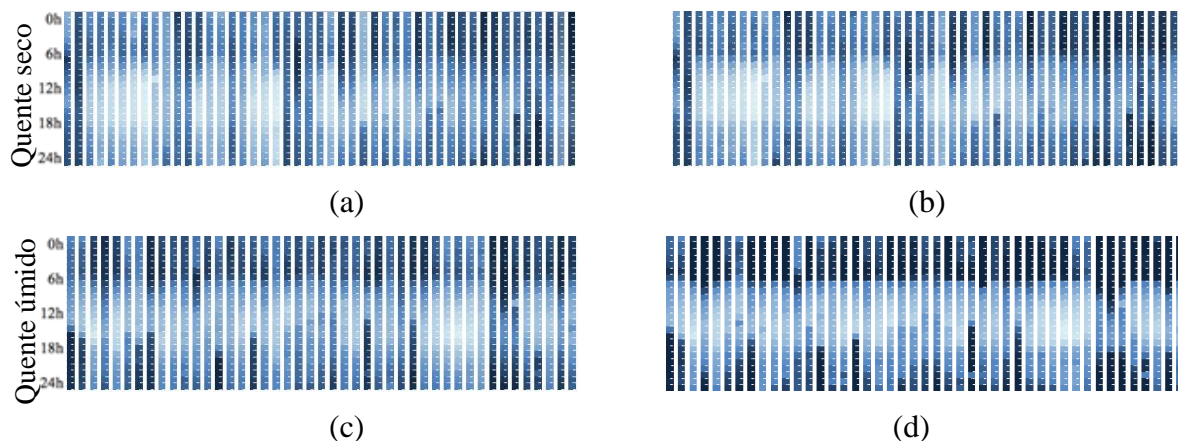


Figura 7 – Umidade Relativa do ar da Região 01 (a,c) e Região 02 (b,d)

O fato da Região 02 apresentar maiores valores de umidade pode ser explicado pelo entorno pouco urbanizado, com características rurais enquanto a Região 01, apesar de maior quantidade de vegetação arbórea e superfície aquosa, está localizada em meio a uma localidade altamente urbanizada e com maior área asfaltada.

## 5.2. Análise estatística

Comparando as Regiões 01 e 02 com o teste T relacionando-as com as variáveis microclimáticas: temperatura do ar e umidade do ar, obteve-se que a temperatura do ar na Região 01 foi 7,14% maior do que a temperatura do ar na Região 02. Na Região 02 a umidade do ar foi 10,17% maior do que na Região 01 (Tabela 1).



Tabela 1– Resultado das análises realizadas no Programa R.

Variáveis	Valor t	P-valor
Temperatura do ar x Período	2.3923	0.03781
Umidade do ar x Período	-5.6691	0.0002069
Temperatura do ar x Região	1.6986	0.1202
Umidade do ar x Região	-0.814	0.4346

Observa-se que diferentes combinações podem gerar resultados que não evidenciam estatisticamente as diferenças espaciais quanto aos dados microclimáticos.

## 6. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Valores semelhantes de radiação solar colaboraram para analisar sua interação com os diversos materiais que compõem a cobertura do solo urbano e analisar a influência das propriedades físicas desses materiais nas variáveis de temperatura e umidade do ar.

A Região 01 (UFMT) possui várias massas de vegetação e possui muitos espaços entre as edificações, no entanto, apresenta extensas áreas pavimentadas para tráfego e estacionamento de veículos causando a impermeabilização da superfície e aumentando os valores de temperatura.

A baixa densidade demográfica e o posicionamento distante do meio urbano favorece o registro de temperaturas mais amenas na Região 02 (Pedra 90). A região apresenta concentração de edificações, mesmo térreas, pouca vegetação e solo impermeabilizado, mas apesar dessas características, a temperatura do ar manteve-se mais baixa e a umidade do ar mais alta comparando-se com a Região 01. Faz-se notar que parte da área verde e de solo descoberto da Região 02 estava em área minimamente habitada, assim como o entorno dessa região.

A Região 02 apresentou baixa inércia térmica, característica comum no meio rural e em regiões limítrofes ao perímetro urbano. Nos horários em que havia incidência solar as temperaturas ficaram próximas da Região 01, localizada próxima ao centro urbano.

Diferentes composições de materiais que compõem a cobertura do solo podem gerar resultados que não evidenciam sua influência quando comparadas aos dados microclimáticos, não sendo possível determinar, estatisticamente, qual elemento foi responsável pelo aumento ou diminuição de temperatura.

Sabe-se que áreas cobertas por asfalto tendem a um valor maior de temperatura quando comparadas a áreas com cobertura arbórea apenas. Ambas as regiões analisadas possuem características que contribuem com o aumento da temperatura (asfalto, concreto e solo descoberto) e características que contribuem para o aumento da umidade do ar (vegetação) em maior ou menor proporção.

## REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CUIABÁ, Prefeitura Municipal de. Instituto de Planejamento e Desenvolvimento Urbano – IPDU. Diretoria de Pesquisa e Informação – DPI. **Perfil Socioeconômico de Cuiabá** – Volume V – Cuiabá, MT: Central de Texto, 2011.
- KATZSCHNER, L. **Urban climate studies as tools for urban planning and architecture**. In: IV Encontro Nacional de Conforto no Ambiente Construído, 1997, Salvador. Anais. Salvador: FAUUFBA/LACAM-ANTAC, 1997, p.49-58.
- OKE, T. R. **Siting and exposure of meteorological instruments at urban sites**. In: Air Pollution Modeling and its Application XVII, Borrego, C. and A. L. Norman (eds), Springer, 2004.
- ROMERO, M. A. B. **Arquitetura bioclimática do espaço público**. Brasília: Editora Universidade de Brasília, 2007.
- RIBEIRO, L. C. Q. (org.). **Metrópoles: entre a coesão e a fragmentação, a cooperação e o conflito**. São Paulo: Fundação Perseu Abramo; Rio de Janeiro: FASE – Federação de Órgãos para Assistência Social e Educacional, 2004.

## AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem à ELETROBRAS/PROCEL, CNPQ e FAPEMAT pelos recursos financeiros aplicados no financiamento do projeto.