



Margarete Cristiane de C. Trindade Amorim

UNESP/FCT - *mccta@fct.unesp.br*

Ana Monteiro

FLUP/ISPUP - *anamonteirosousa@gmail.com*

Helena Madureira

FLUP/CEGOT/ISPUP - *hmadureiramail@gmail.com*

João Lima Sant'Anna Neto

UNESP/FCT - *joalima@fct.unesp*

O desenho das temperaturas urbanas por meio do sensoriamento remoto: exemplos do Brasil e de Portugal

Sessão temática: Saúde, clima e território.

1. Introdução

A cidade é o lugar onde as pessoas buscam controlar os ambientes tornando-os cada vez mais artificiais. Na maioria das vezes, os contatos mais diretos com a natureza são evitados nos ambientes urbanos, assim, a vulnerabilidade dos ecossistemas é esquecida.

Estudos de ilhas de calor urbanas vêm ganhando importância na área do sensoriamento remoto, especialmente por meio da utilização das imagens térmicas do satélite Landsat 7. Esta técnica permite, além das visões em diferentes escalas, realizar medidas através dos dados do sensor infravermelho termal de temperatura da superfície, fornecendo o desenho da temperatura local, ou seja, a temperatura qualitativa da cidade.

Este artigo tem por objetivo comparar as diferenças de temperaturas intraurbanas por meio de imagens térmicas do satélite Landsat 7 em duas cidades de porte médio com latitudes diferentes: Porto (Portugal) e Presidente Prudente (Brasil) em episódios de verão.

O concelho do Porto ocupa uma área de cerca de 4000 ha, no Noroeste de Portugal, entre os paralelos 41°8' N e 41°11' N e entre os meridianos 8° 33' W e 8°41' W Greenwich (Figura 1). Usufrui de uma costa litorânea a oeste, banhada pelo oceano atlântico e é delimitado a sul pelo Rio Douro. Desenvolveu-se sobre uma plataforma ligeiramente inclinada para o Oceano Atlântico cujas altitudes oscilam entre os 160m e o nível do mar. Com uma população residente estimada em 216080 habitantes, o concelho do Porto é o coração da segunda maior área metropolitana de Portugal (GAMP), com 1 682 447 habitantes (INE 2009).

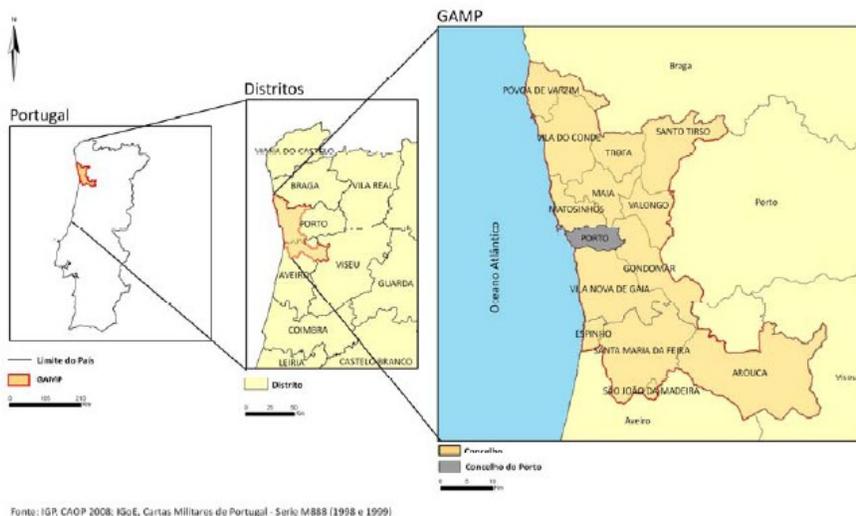


Figura 1 – Localização da cidade do Porto/Portugal
 Fonte: Esteves, F. F. 2010, p. 47.

Presidente Prudente localiza-se no oeste do Estado de São Paulo, próxima ao trópico de Capricórnio, entre os paralelos de 22° 07' de latitude sul e entre os meridianos de 51° 23' de longitude oeste (Figura 2). Fundada em 1917 é a capital regional de uma extensa área agropastoril, de aproximadamente 20.000km². Tem cerca de 210.000 habitantes e localiza-se no planalto ocidental paulista. Seu relevo formado basicamente por colinas médias, amplas e morrotes alongados e espigões. A altitude média é de 472m acima do nível do mar e o embasamento do planalto ocidental é essencialmente constituído por rochas do grupo Bauru, na grande maioria arenitos que, por vezes, apresentam cimento carbonático e/ou silicoso. Diferentemente do norte de Portugal, o relevo regional é monótono, com predomínio de colinas e morrotes.



Figura 2 – Localização de Presidente Prudente no oeste do Estado de São Paulo/Brasil
 Fonte: BRASIL, (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) - IBGE.

De modo geral, o clima do Porto apresenta quatro estações bem definidas, com verões quentes (temperaturas médias das máximas entre os 24°C e 25°C) e mais secos (entre 20 a 30 mm mensais) e os invernos são mais ou menos frios (temperaturas médias das mínimas entre 10°C e 11°C) e mais úmidos (entre 150 e 200 mm mensais).

Presidente Prudente apresenta um clima tropical, com duas estações definidas, um período de verão/outono, mais quente (temperaturas médias das máximas entre os 27°C e 29°C) e muito chuvoso (entre 150 e 200 mm mensais) e invernos amenos (com temperaturas médias das mínimas entre os 16°C e 18°C) e menos úmidos (chuvas mensais entre os 20 e 50 mm).

No norte de Portugal a densidade populacional é elevada em toda a fachada litorânea. No interior, a população aglomera-se à volta das capitais de concelhos ou se dispersa por pequenos núcleos à medida que a altitude aumenta. Os fundos de vale foram ocupados primeiro porque eram férteis e depois se deu a ocupação das vertentes, muitas vezes, muito íngremes.

A escolha dos lugares obedeceu a necessidades místicas, religiosas, militares, sociais, econômicas, lúdicas, mas, raramente, ambientais. O progresso científico e tecnológico convenceu o Homem do seu maior controle sobre a natureza e incentivou, por vezes, a dilapidação desenfreada dos recursos naturais.

A região de Presidente Prudente foi desbravada na segunda metade do século XIX. No início do século XX, o café transformou a paisagem do oeste paulista, pois sua marcha propiciou um movimento de leste para oeste, na procura de novas terras, de mão de obra imigrante, e também devido a alta dos preços do grão.

A expansão da cultura do café no oeste paulista valorizou os espigões do planalto ocidental de São Paulo a partir dos loteamentos rurais e da criação de cidades.

Esse processo de ocupação foi incrementado pela Estrada de Ferro Sorocabana, que se expandiu pela região, ao longo do espigão entre os rios do Peixe e Paranapanema, cumprindo um programa do governo brasileiro, de ordem política e militar, no sentido de tornar mais acessível o oeste aos centros litorâneos. Assim, a Estrada de Ferro Sorocabana, antecedeu o café, cortou os sertões do sudoeste em busca do Rio Paraná.

Nesse contexto é que se coloca o aparecimento de Presidente Prudente: a busca de solos virgens para o café, a especulação com terras e a colonização pelo loteamento de grandes glebas resumem as características do povoamento da região. Os núcleos urbanos surgiram como pontos de apoio para a exploração econômica da região.

Atualmente, os indicadores de desenvolvimento e as aspirações de qualidade de vida de qualquer sociedade moderna, exprimem-se pela disponibilidade de funções disponíveis (residência, indústria, comércio, cultura, recreio, lazer, justiça, imagem, mobilidade, etc.), pelas *performances* conseguidas (congruência qualitativa e quantitativa entre funções, variedade de oferta, participação, equidade, acessibilidade, liberdade de manipulação e uso das oportunidades), e, também, pelas componentes estruturais do ambiente (sítio, a qualidade do ar, da água e do solo, o equilíbrio entre o espaço edificado, o povoamento, as áreas verdes, os espaços públicos, etc.).

As componentes estruturais dos lugares têm, contudo, sido subvalorizadas pelos modernos modelos de *design* urbano. O baixo custo da energia e o rápido progresso científico e tecnológico, tornou praticamente negligenciáveis o clima e a geomorfologia no processo de seleção das áreas escolhidas pelo Homem para se instalar.

Nas últimas décadas, tanto em Portugal como no Brasil, o solo original viu substituída a sua cobertura natural, por uma promíscua combinação de materiais impermeáveis, com cores, volumetrias e características físico-químicas, distintas das originais, sem que os potenciais impactos provocados, tenham sido avaliados.

O processo de urbanização de Presidente Prudente e do Porto, mesmo com histórias e climas diferentes, mostrou que tem um papel muito forte para explicar o aquecimento observado nessas regiões evidenciando a complexidade das interações climáticas locais e regionais.

Nesse contexto, o uso das imagens de satélite foi decisivo para se verificar as fontes de calor, dentro das cidades na origem da formação das ilhas de calor urbanas. Este fato também foi diagnosticado por medidas da temperatura do ar realizadas por Amorim (2000 e 2005) em Presidente Prudente e por Monteiro (1997) na cidade do Porto.

2. Procedimentos Metodológicos

Para verificar a temperatura da superfície intraurbanas na cidade e Presidente Prudente e no Porto, foram utilizadas imagens do canal do infravermelho termal (canal 6) do satélite Landsat-7, com resolução espacial de 60 metros.

O satélite Landsat 7 foi lançado em abril de 1999 pela *National Aeronautics and Space Administration* (NASA), mas o sensor ETM+ funciona com problemas a partir de maio de 2003 por uma falha no equipamento. As imagens utilizadas nesse trabalho foram adquiridas no site da *United States Geological Survey* (USGS: <http://www.usgs.gov/>).

Os procedimentos para a obtenção das temperaturas em grau Celsius (°C) foram realizados no software IDRISI Andes versão 15.0, com a utilização de parâmetros fixos de conversão de níveis de cinza da imagem (NC) para radiação, depois para temperatura Kelvin e finalmente para graus Celsius obtidos no site do satélite Landsat (NASA) – (Disponível em: http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov/handbook/handbook_htmls/chapter11/chapter11.htm)

Após a criação de um projeto para importar a imagem do canal termal (banda 6) no Idrisi, foi realizada a conversão dos níveis de cinza para informações de radiação com a aplicação da seguinte fórmula:

$$L_{\lambda} = ((L_{\max \lambda} - L_{\min}) / (QCALMAX - QCALMIN)) * (QCALMIN - QCAL) + L_{\min \lambda}$$

Pode-se visualizar o significado e os valores dos elementos que compõe esta fórmula na Tabela 1.

Tabela 1 – Elementos da fórmula de conversão para radiação

L_λ	Radiância espectral em sensor de abertura de em Watts
QCAL	Valor quantizado calibrado pixel em DN
L_{min λ}	Radiância espectral, que é dimensionado para QCALMIN em Watts = 0.000
L_{Max λ}	Radiância espectral, que é dimensionado para QCALMAX = 17.040
QCALMIN	O mínimo valor quantizado calibrado pixel (correspondente a L _{min λ}), em DN = 1
QCALMAX	Máximo valor quantizado calibrado pixel (correspondente a L _{Max λ}) no DN = 255

Fonte: <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov> (acesso, setembro de 2010)

Os valores de $L_{i \max}$ e $L_{i \min}$ podem se alterar em função da data do imageamento e do tipo de sensor. Para as imagens do sensor ETM+ devem-se utilizar os parâmetros apresentados na Tabela 2. Neste destacam-se os valores incorporados nos procedimentos para a elaboração das cartas de temperatura da superfície das cidades de Presidente Prudente e do Porto.

Tabela 2 - ETM + Faixa de radiância espectral Watts / (metro quadrado ster ** mm)

Número da banda	Processada antes de 01 de julho de 2000				Processada depois de 01 de julho de 2000			
	Baixo ganho		Alto Ganho		Baixo ganho		Alto Ganho	
	Lmin	LMax	Lmin	LMax	Lmin	LMax	Lmin	LMax
6	0,0	17,04	3,2	12,65	0,0	17,04	3,2	12,65

Fonte: <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov> (acesso, setembro de 2010)

Após a conversão dos níveis de cinza em radiância, foi aplicada a seguinte fórmula para converter os valores em temperatura Kelvin:

$$T = \frac{K2}{\ln\left(\frac{K1}{L_{\lambda}} + 1\right)}$$

Considerando que:

- T = Temperatura efetiva no satélite em Kelvin;
- K2 = Constante de calibração 2, conforme valores da Tabela 7;
- K1 = Constante de calibração de 1, conforme valores da Tabela 7;
- L = Radiância espectral, em Watts / (metro quadrado ster ** mm)

A tabela 3 apresenta os valores que foram substituídos na fórmula para conversão em temperatura Kelvin.

Tabela 3 - ETM + térmica constantes de calibração

	Constant 1 - K1 Watts / (metro quadrado ster ** mm)	Constant 2 - K2 Kelvin
Landsat 7	666,09	1.282,71

Fonte: <http://landsathandbook.gsfc.nasa.gov> (acesso, setembro de 2010)

Depois desses procedimentos, no IDRIDI, aplicou-se a fórmula para converter graus Kelvin em graus Celsius. Para gerar a grade de temperatura da superfície em graus Celsius (°C), os valores de temperatura foram subtraídos de 273,15.

Finalmente, para a seleção da área que contempla as cidades, foram importadas as malhas urbanas georreferenciadas para que fosse possível selecionar apenas as cidades e assim foram possíveis as análises da distribuição das temperaturas da superfície nas duas cidades estudadas.

3. As temperaturas da superfície intraurbanas em Presidente Prudente e no Porto

As imagens de satélite ajudaram a compreender o desenho das temperaturas intraurbanas resultantes da distribuição das fontes de calor dentro das áreas urbanas que contribuem para a geração das ilhas de calor.

As estruturas térmicas das áreas urbanas interpretadas nas imagens tratadas do Landsat 7, traduzem a ocupação atual, a densidade de construções, o tipo de material construtivo e a arborização nas cidades. Nas Figuras 3 e 4, são apresentadas as cartas termais de Presidente Prudente e do Porto em episódios de verão.

No dia da tomada da imagem, a cidade de Presidente Prudente (21/03/2001) estava sob condição atmosférica estável e a temperatura do ar máxima diária registrada na estação meteorológica localizada na Faculdade de Ciências e Tecnologia foi de 31,5°C e a mínima de 22,1°C.

No Porto, a temperatura do ar máxima registrada na estação meteorológica localizada na Serra do Pilar foi de 33,4°C e a mínima de 16,8°C, também sob condição atmosférica estável.

As duas cidades apresentam paisagens complexas, sendo que Presidente Prudente possui em seu entorno, um ambiente rural com o predomínio de pastagens. O Porto faz parte da Grande Região Metropolitana, não sendo, portanto, envolvida pelo meio rural (Figuras 5 e 6).

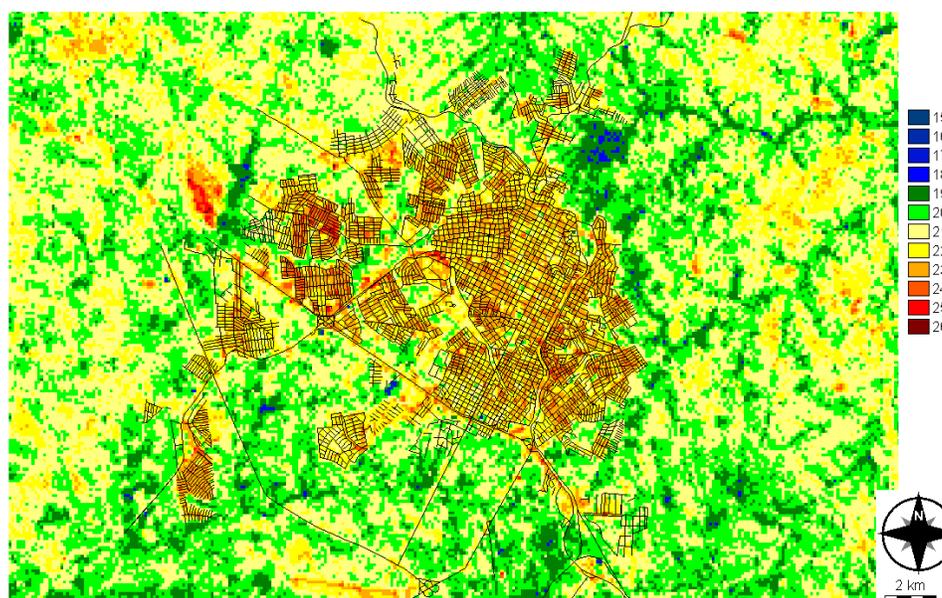


Figura 3 – Presidente Prudente: Carta de temperatura da superfície gerada a partir da imagem do infravermelho termal (banda 6) do sensor ETM+ do Landsat-7 de 21/03/2001.

Fonte da imagem original: <http://edcsns17.cr.usgs.gov/EarthExplorer/> WRS 222-075

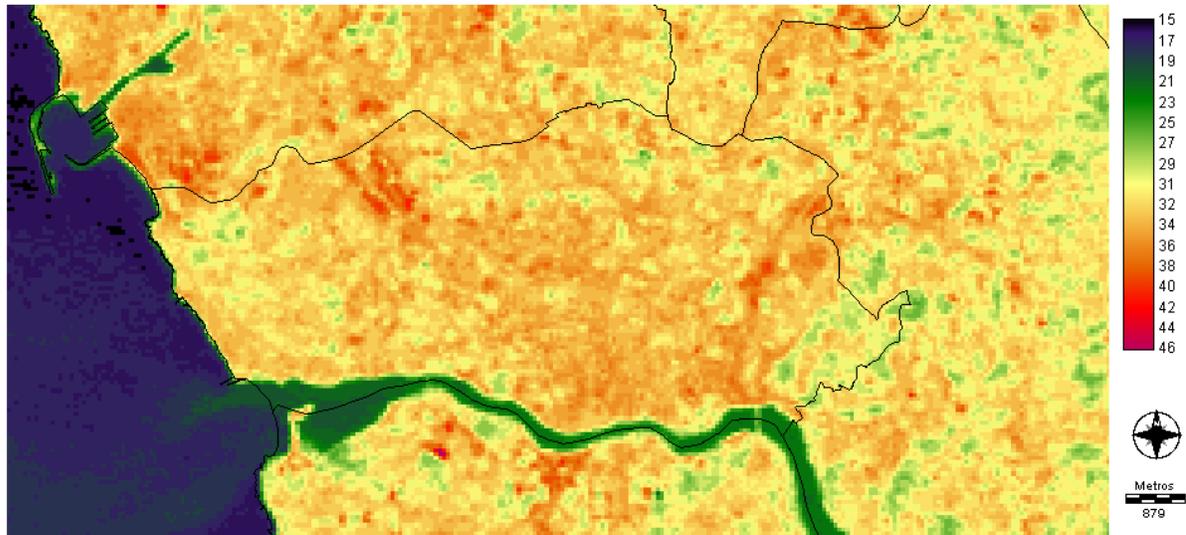


Figura 4 – Porto: Carta de temperatura da superfície gerada a partir da imagem do infravermelho termal (banda 6) do sensor ETM+ do Landsat-7 de 24/06/2000.

Fonte da imagem original: <http://edcsns17.cr.usgs.gov/EarthExplorer/> WRS 204-031



Figura 5 – Área urbana de Presidente Prudente/Brasil.

Fonte: Google Earth TM mapping service/NASA/Terra Métricas copyright (acesso: julho de 2010)



Figura 6 – Área urbana do Porto/Portugal.

Fonte: Google Earth TM mapping service/NASA/Terra Métrics copyright (acesso: setembro de 2010).

Nas duas cidades, existem vários tipos de usos, formas e elementos naturais e antrópicos que configuram os espaços e territórios bastante especializados, que interagem modificando os elementos do clima por meio da relação entre o balanço de energia e a composição dos sistemas naturais, urbanos e agrícolas.

As figuras 7 e 8, mostram como a cidade de Presidente Prudente está ocupada considerando-se a densidade de construções e de cobertura vegetal arbórea nas calçadas e nos quintais das moradias.

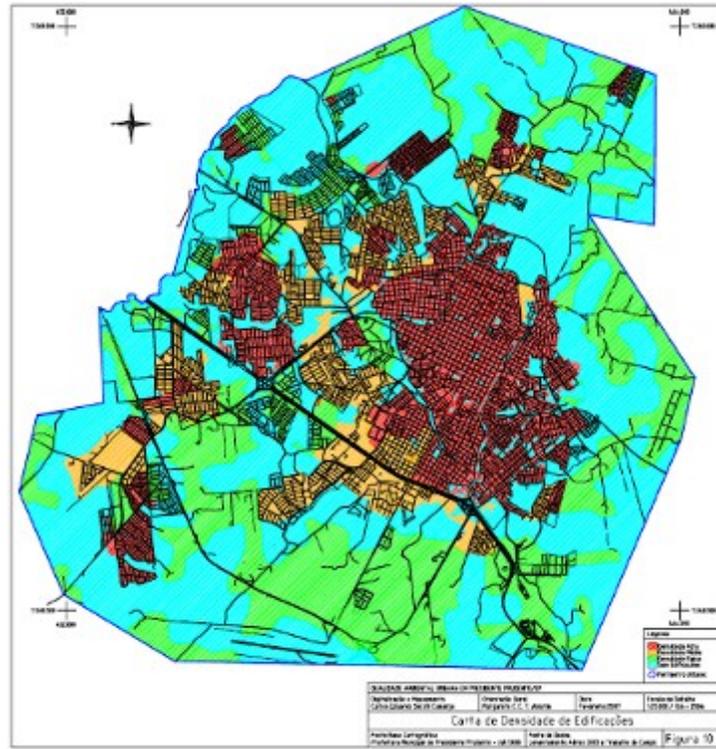


Figura 7 – Presidente Prudente: Densidade de Edificações
 Fonte: Camargo, 2007, p.34.

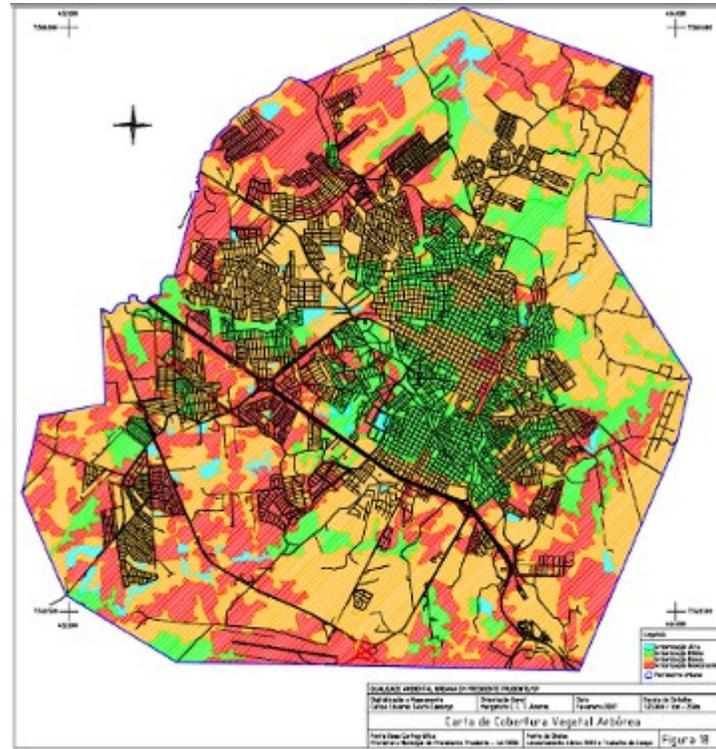


Figura 8 – Presidente Prudente: cobertura vegetal arbórea nas calçadas e quintais.
 Fonte: Camargo, 2007, p.43.

As figuras 9 e 10, evidenciam as áreas urbanizadas e a ocupação do solo na cidade do Porto.



Figura 9 – Porto: áreas urbanizadas
Fonte: Esteves, F. F. 2010, p. 64

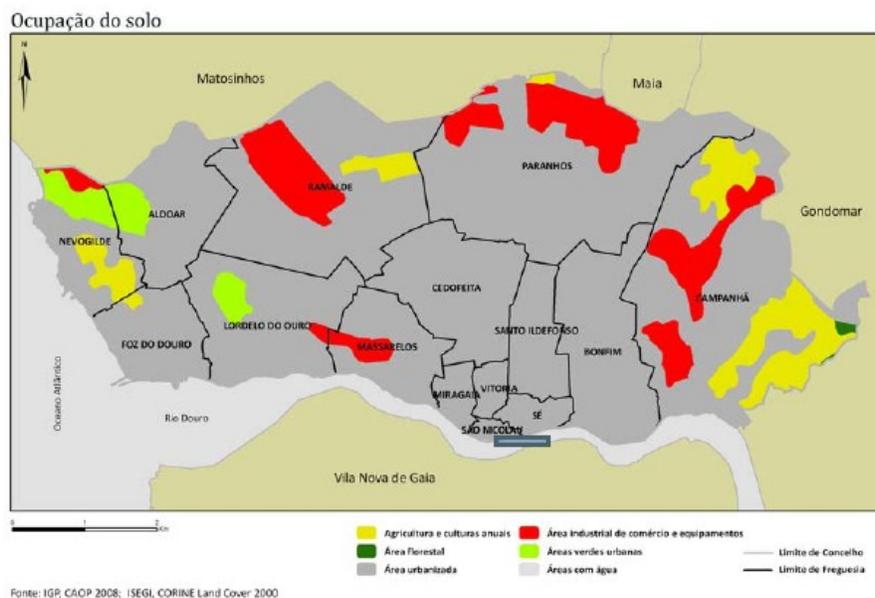


Figura 10 – Porto: ocupação do solo
Fonte: Esteves, F. F. 2010, p. 64

As cartas temais de Presidente Prudente (Figura 3) e do Porto (Figura 4), mostram que nas áreas densamente construídas, as temperaturas detectadas na superfície foram as mais elevadas.

Em Presidente Prudente, principalmente nas habitações populares com coberturas de fibrocimento e com pequena quantidade de vegetação arbórea nas calçadas e fundos de quintais, as

temperaturas detectadas na superfície foram as mais elevadas, atingindo 25°C. Nos bairros com terrenos maiores, em que as edificações não ocupam toda a área e, com a presença de vegetação arbórea esparsa, as temperaturas foram menores (21°C). Nos parques e demais áreas verdes urbanas, as temperaturas variaram entre 19 e 21°C, em função do tipo de vegetação rasteira ou arbórea.

Na Figura 11 mostram-se as diferenças das temperaturas em um bairro onde há o predomínio de telhados de fibrocimento e em outro onde há o predomínio de telhados de cerâmica, evidenciando-se como esses materiais apresentam diferenças nas temperaturas dos alvos.



Figura 11 – Tipos de telhados predominantes em algumas residências e suas relações com as temperaturas (fibrocimento e cerâmica).

No Porto, os bairros mais quentes (acima de 38°C) foram: centro histórico, zona industrial na porção noroeste (prédios com coberturas de zinco) e na porção nordeste que se trata de uma área densamente construída e com vias de circulação rápida e intensa. As menores temperaturas (em torno de 21°C) foram observadas nas áreas verdes, como, por exemplo, a mostrada na Figura 12.

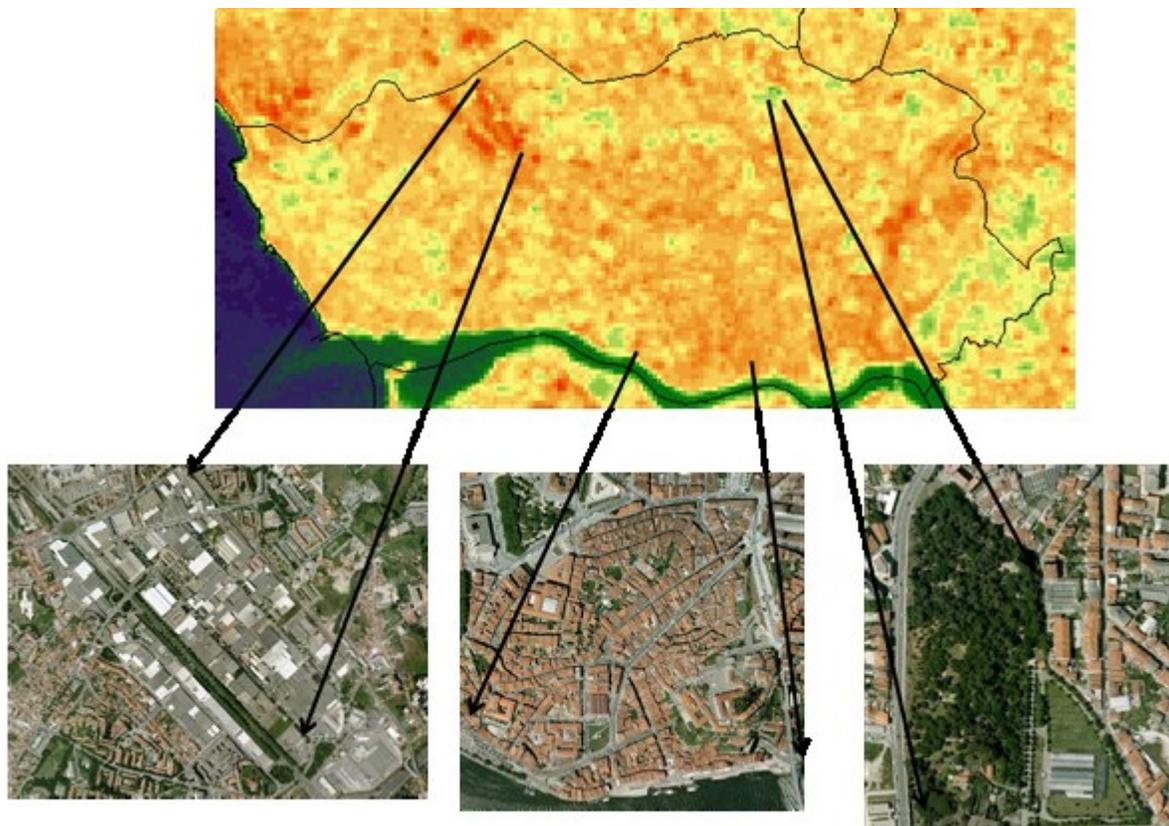


Figura 12 – Características da temperatura de acordo com os tipos de ocupação do solo.

Nas duas cidades as temperaturas mais elevadas mostraram-se diretamente relacionadas à densidade de construções. A diminuição na densidade de construções produz um efeito pronunciado no que se refere à quebra de continuidade da distribuição das temperaturas mais elevadas.

Em Presidente Prudente, os limites das áreas construídas em direção ao rural, definiram claramente o limite das temperaturas elevadas. As áreas intraurbanas com menor densidade de construções estiveram sujeitas às temperaturas mais baixas.

Em pesquisa realizada anteriormente, Amorim (2000), mostrou que no verão as magnitudes mais fortes das ilhas de calor (entre 4°C e 6°C) durante o dia foram observadas principalmente entre 10h e 16h, coincidindo com os horários de maior insolação e maior aquecimento diurno e intensificando assim o desconforto térmico presente no verão das cidades tropicais. Nos outros horários (7h, 8h, 9h, 17h e 18h), foram frequentes ilhas de calor de média magnitude (entre 2°C e 4°C), mas, também foram registradas, em alguns dias, ilhas de calor de forte magnitude, embora com menor frequência.

Naquela pesquisa, no verão os principais responsáveis pelas maiores diferenças entre os pontos mais quentes foram as áreas densamente construídas e com pequena quantidade de vegetação. A presença da arborização nas calçadas e fundos de quintais exerceu papel fundamental nesta estação, pois as áreas densamente arborizadas e, em alguns casos, com alta densidade de construções tiveram as temperaturas mais baixas, mas as áreas densamente construídas e com pouca vegetação ou com poucas construções, e também sem vegetação, tiveram as temperaturas mais altas. Assim, pode-se afirmar que a presença da vegetação tem papel fundamental para

amenizar as altas temperaturas durante o dia, fato também observado na imagem tratada do Satélite Landsat 7 (Figura 11).

Em pesquisa realizada por Monteiro (1997), na cidade do Porto, foram registradas anomalias térmicas entre 4°C e 5°C; entre 3°C e 4°C; entre 2°C e 3°C; entre 1°C e 2°C; entre 0°C e 1°C, e entre -1°C e 0°C. Como na carta termal apresentada (Figura 4), as medidas realizadas por meio de transecto por Monteiro (1997), mostraram que nas porções Este e Oeste foram detectadas anomalias térmicas mais baixas, já no centroide do concelho para o centro histórico acompanhando o eixo da Avenida da Boavista e a zona industrial, as temperaturas foram maiores com anomalias positivas entre 3° e 4°C. Complementando a leitura da cartografia apresentada anteriormente, deduziu-se que os espaços verdes e o edificado, foram fatores decisivos para esta diferenciação.

4. Considerações Finais

Este trabalho comprovou que a utilização do sensor infravermelho termal é uma técnica importante para fornecer a temperatura qualitativa da cidade, que muito pode contribuir na perspectiva do planejamento urbano, na medida em que são definidos padrões na distribuição da temperatura da superfície de acordo com o uso e a ocupação do solo.

Presidente Prudente e o Porto mesmo com latitudes diferentes mostraram que o processo de urbanização teve um papel muito forte para explicar o aquecimento observado nessas regiões evidenciando a complexidade das interações climáticas locais. O uso das imagens de satélite foi decisivo para evidenciar as fontes de calor na origem da formação das ilhas de calor urbanas.

Nas cidades de médio porte de climas tropical continental e temperado (mediterrâneo), a produção do clima urbano resultou da interação entre a radiação recebida e a refletida pelos tipos de materiais construtivos das edificações nos diferentes tipos de uso do solo que armazenam o calor.

Com isso, observou-se que alguns locais das cidades são extremamente inadequados do ponto de vista do conforto térmico e medidas precisam ser tomadas para que situações de temperaturas elevadas sejam amenizadas, especialmente no verão, como, por exemplo, o plantio de árvores com espécies adequadas aos diferentes tipos climáticos (tropical e mediterrâneo), utilização de materiais construtivos adequados que não exijam tanto a climatização dos ambientes internos, incentivar a utilização de transportes públicos para que seja emitida menor quantidade de poluentes para a atmosfera, dentre outras.

5. Referências Bibliográficas

Amorim, M. C. C. T. (2000) O clima urbano de Presidente Prudente/SP. São Paulo. Tese de doutoramento, Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo/Brasil.

Amorim, M. C. C. T. (2005) Intensidade e forma da ilha de calor urbana em Presidente Prudente/SP. *Geosul*, v. 20, n. 39: 65-82, UFSC – Florianópolis/Brasil.

BRASIL, (Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística). IBGE – Mapas IBGE – Atlas Escolares. Disponível em <http://www.ibge.gov.br/mapas_ibge/atlas.php>. Acesso em 01/05/2010.

Camargo, C. E. S. (2007) Qualidade ambiental urbana em Presidente Prudente/SP. Presidente Prudente. Dissertação de mestrado, Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista.

Esteves, F. F. (2010) O contributo dos SIG para compreender a relação entre os episódios extremos de temperatura e de variabilidade térmica na época de transição Primavera – Verão e a ocorrência de enfartes do miocárdio no concelho do Porto. Porto. Dissertação de mestrado, Faculdade de Letras da Universidade do Porto.

Monteiro, A. (1997). O Clima Urbano do Porto. Porto: Fundação Calouste Gulbenkian.

Agências Financiadoras da Pesquisa:

CNPq – Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – Brasil: Proc. 476051/2009-6 – Edital Universal.

FAPESP – Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo – Brasil: Proc. 2005/55505-3 – Projeto Temático.