

Análise temporal do revestimento do solo e suas implicações na modificação do campo térmico da área urbana do município de Campo Grande, MS, no período de 1988 a 2003

Flávio Fortes Camargo¹
Gabriel Pereira¹
Luís Gonçalves Longo de Oliveira¹
Júlio Bandeira Guerra¹

¹Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12245-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
{fortes, gabriel, luis, guerra}@dsr.inpe.br

Resumo. O presente trabalho apresenta como objetivo principal a análise temporal das alterações do campo térmico da cidade de Campo Grande/MS, no período de 1988 a 2003. Para a obtenção da temperatura aparente, utilizou-se dados dos satélites Thematic Mapper (TM)/Landsat 5 e Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)/Landsat 7, na banda 6, com resoluções nominais de 120m e 60m, respectivamente. Posteriormente, realizou-se o fatiamento de imagens NDVI para a discriminação do impacto da modificação do revestimento do solo na temperatura através do teste não-paramétrico Kruskal-Wallis ANOVA. O revestimento do solo/intervalo de NDVI que mais influenciou o aumento da temperatura, no período analisado, foi o relacionado com o revestimento urbano-solo exposto.

Palavras-chave: temperatura aparente, revestimento do solo, estatística não-paramétrica.

Abstract. The present work has as its main goal the temporal analysis of the thermal field's alteration into Campo Grande city, in the years of 1988 and 2003. For obtaining the apparent temperature, has used data from Thematic Mapper (TM)/Landsat 5 satellite and Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+)/Landsat 7 satellite, in 6 band, with nominal spatial resolution of 120m and 60m, respectively. Later, it was realized the slicing of NDVI images for the discriminations of the landcover change's impact on temperature by the Kruskal-Wallis ANOVA non-parametric test. The landcover/NDVI slice that more influenced in the addition of the temperature, in elapsing of the years, was that related the urban-bare soil landcover.

Key-words: apparent temperature, land cover, non-parametric statistic.

1. Introdução

Modificações locais e regionais nos tipos de revestimento do solo promovem interferências nos fluxos de calor sensível e latente. Sabe-se que a ocorrência de superfícies úmidas e vegetadas favorece a absorção do fluxo radiante solar e, conseqüentemente, a redução do calor sensível e da temperatura (Oke, 1978). Neste sentido, qualquer alteração natural e/ou antrópica que reduza a quantidade de vegetação possibilita alterações climáticas de escalas espacial e temporal variadas.

O entendimento desta variabilidade do campo térmico, ocasionada pelo revestimento do solo, é de suma importância.

O gestor público das metrópoles busca compreender de que forma e com que intensidade as superfícies construídas interferem nos regimes de chuvas e de enchentes, na temperatura do ar e, também, no conforto térmico da população. Vários autores têm buscado compreender as conseqüências da acelerada expansão urbana das metrópoles sobre o clima local e/ou regional (Oke, 1978; Lombardo, 1985; Amorim, 2000).

Em áreas urbanizadas, as dimensões horizontais (extensão), verticais e temporais das anomalias térmicas estão intimamente relacionadas com a quantidade de construções, com o uso do solo, com o clima e com as condições meteorológicas regionais (Oke, 1978). Sendo assim, as alterações no campo térmico estão associadas a condicionantes derivados de ações promovidas pelo homem sobre o meio ambiente, em termos de revestimento do solo, e os condicionantes do meio físico e seus atributos geocológicos (Lombardo, 1985).

Por outro lado, pesquisadores e produtores agrícolas se concentram nos relacionamentos entre temperatura e evapotranspiração potencial e, por conseguinte, nas condições fitofisiológicas de cultivos. De acordo com French et al (2005), a grande quantidade de calor representada pelo processo de evaporação pode ser adequadamente estimada através do conhecimento da quantidade de energia radiante transportada.

Com base neste conhecimento, Kustas et al (2004) empregaram, em experimento realizado em Iowa, um modelo de balanço de energia (TSEB – *two-source energy balance model*) na estimativa da evapotranspiração potencial de cultivos de milho e de soja. O modelo utilizou dados obtidos pelos sensores remotos MODIS, TM e ETM+. Os índices de vegetação do sensor MODIS, com 250 metros de resolução espacial, foram combinados com dados de temperatura dos sensores TM e ETM+ com as respectivas resoluções espaciais de 120 e 60 metros degradadas para 250 metros. Os autores também utilizaram dados de temperatura do sensor MODIS com resolução espacial de 960 metros. Os resultados gerados pelos dados de diferentes resoluções espaciais serviram para uma análise comparativa.

Em outro estudo, também realizado em Iowa, French et al (2005) compararam dois modelos de estimação de evapotranspiração potencial, TSEB e SEBAL (*surface energy balance algorithm or land model*). Ambos os modelos utilizaram dados multiespectrais do sensor ASTER.

Pelo exposto, em função da dinâmica espacial e temporal inerente aos tipos de revestimento do solo e ao campo térmico, as técnicas e tecnologias de sensoriamento remoto se apresentam como as mais adequadas no monitoramento destas variáveis.

Neste contexto, observa-se, também, que dados de sensores remotos na faixa do infravermelho termal têm sido foco de crescente demanda em atividades de pesquisa e em aplicações comerciais. Isto se verifica através dos esforços da comunidade científica no desenvolvimento de sensores termais com variadas resoluções espaciais e espectrais (TM, ETM+ e ASTER).

2. Objetivo

Através desta perspectiva, pretende-se neste trabalho realizar uma análise temporal das modificações no revestimento do solo para a área urbana e arredores de Campo Grande/MS nos anos de 1988 e 2003, através de dados dos satélites TM/Landsat 5 e ETM+/Landsat 7. Posteriormente, estes dados serão relacionados aos campos térmicos dos anos analisados através de métodos estatísticos não-paramétricos.

Desse modo, busca-se, ao se utilizar imagens de épocas distintas (período de estiagem e época de chuvas), compreender a dinâmica espacial e temporal do campo térmico e seu relacionamento com os revestimentos do solo.

Para tal propósito, a área a ser submetida a esta análise (área urbana e arredores de Campo Grande/MS) se localiza entre os pares de coordenadas 20° 22' 20"S; 54° 42' 00"W e 20° 33' 50"S; 54° 27' 28"W. Trata-se de uma área constituída dos usos urbano, florestal e agrícola que concentra em torno de 33% da população do estado do Mato Grosso do Sul (IBGE).

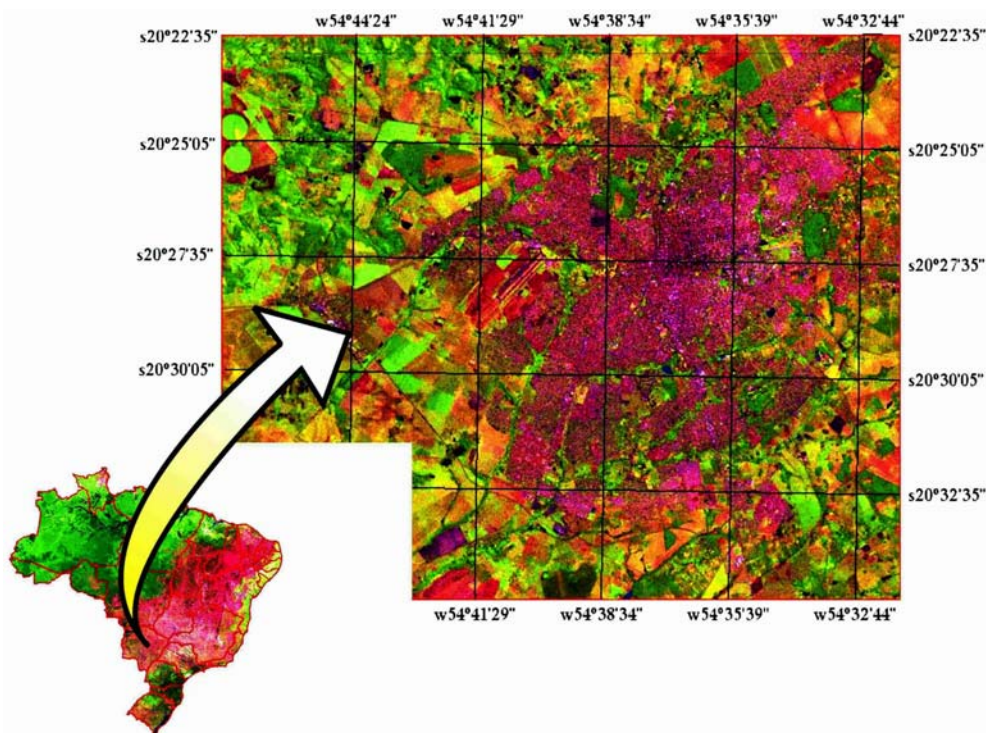


Figura 1 – Localização da Área de Estudo (composição colorida, 5R, 4G e 3B, fusão das bandas multiespectrais com a pancromática do ETM+/Landsat 7).

3. Material e Métodos

O aplicativo de geoprocessamento utilizado neste trabalho foi o Sistema de Processamento de Informações Georeferenciadas (SPRING), desenvolvido pelo Instituto Nacional de Pesquisas

Espaciais (INPE). A etapa de processamento de dados (transformação dos números digitais-ND- em temperatura, correção atmosférica e geração dos índices) foi feita na LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algebrico) implementada no SPRING.

Para minimizar as distorções sistemáticas presentes nas imagens, realizou-se a correção geométrica, que permitiu a comparação temporal das imagens provenientes de dois satélites distintos. Segundo Vergara et al. (2001) o processo de correção geométrica da imagem pode ser dividido em três etapas: estabelecimento da relação entre as coordenadas da imagem e as coordenadas geográficas (mapeamento direto ou transformação geométrica), definição dos níveis de cinza da imagem corrigida (mapeamento inverso) e atribuição do nível de cinza correspondente à imagem (reamostragem). Neste trabalho utilizou-se o modelo polinomial de 1º grau e o interpolador vizinho mais próximo. Para as imagens dos sensores TM/Landsat 5 (11/09/1988) e ETM+/Landsat 7 (03/05/2003), os erros de registro (RMSE) foram, respectivamente, 0,463 e 0,541 *pixel*.

Obteve-se a base georeferenciada (dados de referência para a correção geométrica/registo) através das imagens geocover, que são constituídas em dados da série de satélites Landsat (MSS, TM e ETM+), submetidos a procedimentos de ortorretificação para ajuste das imagens aos deslocamentos do relevo. No projeto geocover, as cenas do sensor TM foram ortorretificadas através de modelos digitais de elevação (com acurácias entre 30m e 1 km). Posteriormente, as cenas dos sensores MSS e ETM+ foram co-registradas aos dados ortorretificados do sensor TM. Na etapa final, realizou-se a validação posicional das cenas. Os dados geocover são disponibilizados no formato *Mr. Sid* (.sid) com projeção UTM/WGS-84 (GLCF).

Para a obtenção da temperatura aparente foi necessária a transformação do sinal digital proveniente do satélite em radiância ($w/m^2.sr.\mu m$) e, posterior, conversão em temperatura, como descrito pelas fórmulas a seguir:

$$L = \left\{ \left[(L_{max} - L_{min}) / (NC_{max} - NC_{min}) \right] * (NC - NC_{min}) \right\} + L_{min} \quad (1)$$

$$Temp(^{\circ}C) = \left\{ (K_1) / \ln \left[(K_2 / L) + 1 \right] \right\} - 273.15 \quad (2)$$

Onde L_{max} e L_{Min} representa o valor de máxima e mínima radiância escalonados pelo sensor (encontrado geralmente no arquivo descritor das imagens), NC_{max} representa o nível de cinza máximo, NC_{min} representa o nível de cinza mínimo, NC representa o nível de cinza de cada *pixel* da imagem, K_1 e K_2 são constantes de calibração para a banda do infravermelho termal (10,4 – 12,5 μm).

Com relação ao revestimento do solo, realizou-se o fatiamento de índices de vegetação de diferença normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index* - NDVI) através da análise visual dos seus histogramas. Diversos autores empregaram o fatiamento de NDVI para apresentação e visualização da intensidade relativa da fitomassa (Bitencourt, et al.,1996; Almeida et al, 2001; Baca, 2005). Neste trabalho, empregou-se a consulta de valores (classes) na literatura aliada a interpretações visuais de composições coloridas falsa-cor para o estabelecimento das classes de fatiamento.

O NDVI corresponde à razão apresentada pela equação (1).

$$NDVI = \frac{\rho_{IVP} - \rho_{Vermelho}}{\rho_{IVP} + \rho_{Vermelho}} \quad (3)$$

Onde ρ_{IVP} representa a reflectância de superfície na faixa do infravermelho próximo e $\rho_{Vermelho}$ a reflectância superfície na faixa do vermelho visível.

Desse modo, obteve-se cinco intervalos: -1 a 0 (corpos d'água), 0 a 0,2 (solo exposto e áreas urbanas), 0,2 a 0,6 (campos), 0,6 a 0,7 (campo sujo/capoeira) e 0,7 a 1 (cobertura florestal). Cabe destacar que as bandas do vermelho visível e do infravermelho próximo, utilizadas na geração do NDVI, foram submetidas a procedimentos de correção atmosférica e transformadas para valores de reflectância de superfície. Utilizou-se o modelo de transferência radiativa 6S (*Second Simulation of Satellite Signal in the Solar Spectrum*) (Vermote et al., 1997).

Para verificar o relacionamento entre temperatura e revestimento do solo, empregou-se um procedimento estatístico não paramétrico similar à análise de variância (ANOVA). Para tal, realizou-se uma amostragem aleatória e estratificada de 40 a 50 pontos para cada intervalo de NDVI. A ANOVA permite o particionamento da variação total em diferentes fontes e torna possível testar diferenças significativas entre médias de classes ou tratamentos. Porém, os tratamentos, submetidos a este procedimento, devem ser independentes entre si e apresentarem amostras com distribuições do tipo normal. Em situações onde estas premissas não podem ser atendidas, torna-se adequada a utilização de procedimentos estatísticos não-paramétricos na comparação entre tratamentos. Um procedimento não-paramétrico similar à ANOVA é o Kruskal-Wallis ANOVA (StatSoft, 2001). Este procedimento promove a ordenação dos valores de todos os tratamentos e estabelece a posição (*ranks*) dos valores individuais. Desse modo, as medianas dos tratamentos são adotadas como critério de comparação (não mais as médias como na ANOVA).

Neste trabalho, utilizou-se o procedimento Kruskal Wallis ANOVA. Desse modo, com base nos p-valores do teste e na soma dos *ranks*, comparou-se os diferentes intervalos de NDVI (tratamentos) com relação ao atributo temperatura. As comparações foram realizadas para cada data (1988 e 2003).

4. Resultados e Discussão

A análise qualitativa das imagens NDVI e de composições coloridas, permite verificar o aumento da área ocupada pelo revestimento urbano (áreas construídas e pavimentadas). Verificou-se também o aumento na resposta do NDVI em áreas florestadas para o ano de 2003. As modificações nos valores de NDVI e de reflectância de superfície referentes à área urbana estão relacionadas, principalmente, à expansão das superfícies construídas e/ou pavimentadas. Por outro lado, as modificações referentes à cobertura florestal (nos valores de NDVI e de reflectância de superfície) são também influenciadas por variáveis sazonais, tais como o clima. Neste sentido, as mudanças podem ser atribuídas a fatores sazonais e antrópicos. Estas modificações são apresentadas nas **Figuras 2 e 3**.

Na **Figura 2**, observa-se, devido à estiagem, a ocorrência de valores baixos de NDVI ocasionados pelo baixo vigor da vegetação e, conseqüentemente, pela influência da resposta espectral do solo exposto na faixa do vermelho visível. Por outro lado, na **Figura 3** os elevados valores de NDVI (com algumas áreas saturadas) indicam o vigor da vegetação durante o período de chuvas.

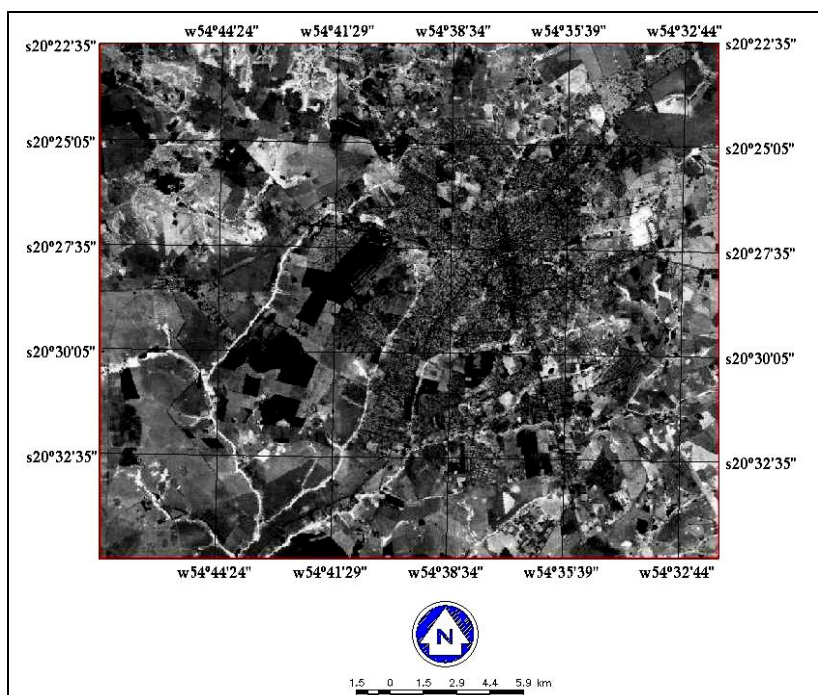


Figura 2 – Imagem NDVI (11/09/1988).

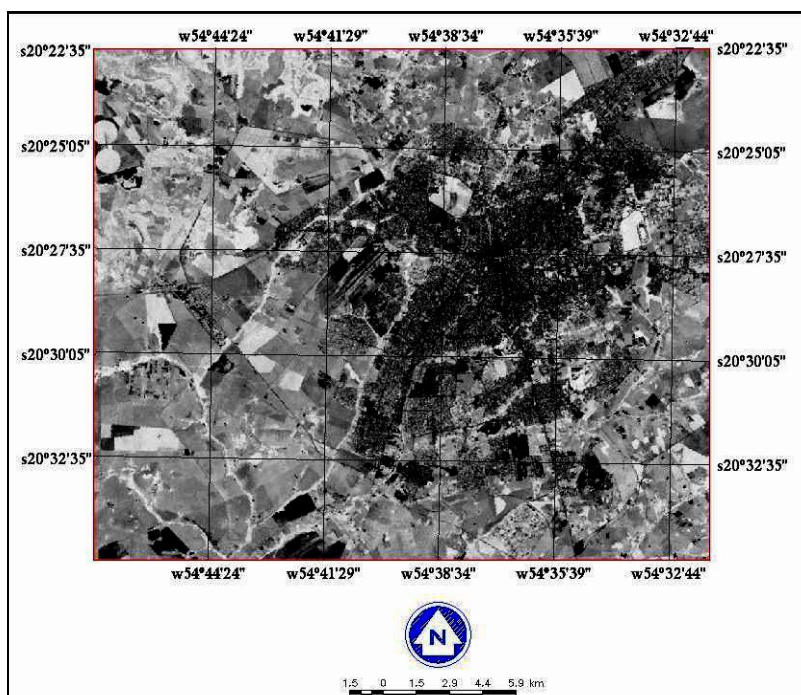


Figura 3 – Imagem NDVI (03/05/2003).

Neste contexto, a análise empreendida neste trabalho considerou as condições meteorológicas dos dias de imageamento. Para a passagem do TM/Landsat 5 no dia 11/09/1988 as condições atmosféricas eram caracterizadas pelo predomínio de uma massa de ar estável com temperaturas elevadas característica do período de estiagem. Para o dia 03/05/2003 (ETM+/Landsat 7) as características atmosféricas eram muito diferentes, com umidade intensa em função do período chuvoso.

Com base nestas considerações, observou-se em todas as datas que os testes Kruskal-Wallis ANOVA foram significativos (p -valores $<0,0001$) e que, portanto, todos os intervalos de NDVI se apresentaram distintos em relação ao atributo temperatura. No dia 11/09/1988, verificou-se, através das somas dos *ranks*, que o intervalo que apresentou temperaturas mais elevadas foi o de 0 a 0,2 (solo exposto/áreas urbanas), seguido de 0,2 a 0,6 (campos), de 0,6 a 0,7 (campo sujo/capoeira), de 0,7 a 1 (cobertura florestal) e de -1 a 0 (corpos d'água). No dia 03/05/2003, a única modificação se refere ao intervalo -1 a 0 (corpos d'água) que se apresentou mais significativo ao aumento da temperatura do que os intervalos 0,6 a 0,7 (campo sujo/capoeira) e 0,7 a 1 (cobertura florestal). Estes dados são apresentados na **Tabela 1**.

Tabela 1 – Teste Kruskal-Wallis ANOVA.

Teste não-paramétrico Kruskal-Wallis ANOVA				
Intervalos	Nº. de Amostras		Soma dos <i>Rankings</i>	
	1988	2003	1988	2003
-1 a 0	50	47	2807,0	5359,5
0 a 0,2	50	50	8135,5	7887,0
0,2 a 0,6	48	47	7216,0	7071,0
0,6 a 0,7	47	44	6227,5	4956,0
0,7 a 1	47	47	5017,0	2456,5

Cada componente espacial presente na cena possui uma característica que lhe é peculiar, estas propriedades térmicas como, por exemplo, calor específico, capacidade de calor, condutividade térmica e taxa de difusão térmica, irão influenciar diretamente na reflexão, absorção e transmitância da radiação de ondas curtas e na emissão de radiação de ondas longas. Percebe-se nas **Figuras 4, 5 e 6** que a diferença na emissão da radiação de ondas longas apresenta um elevado contraste entre os alvos urbanos (cidade) e os alvos naturais (diversos tipos de vegetação e minerais).

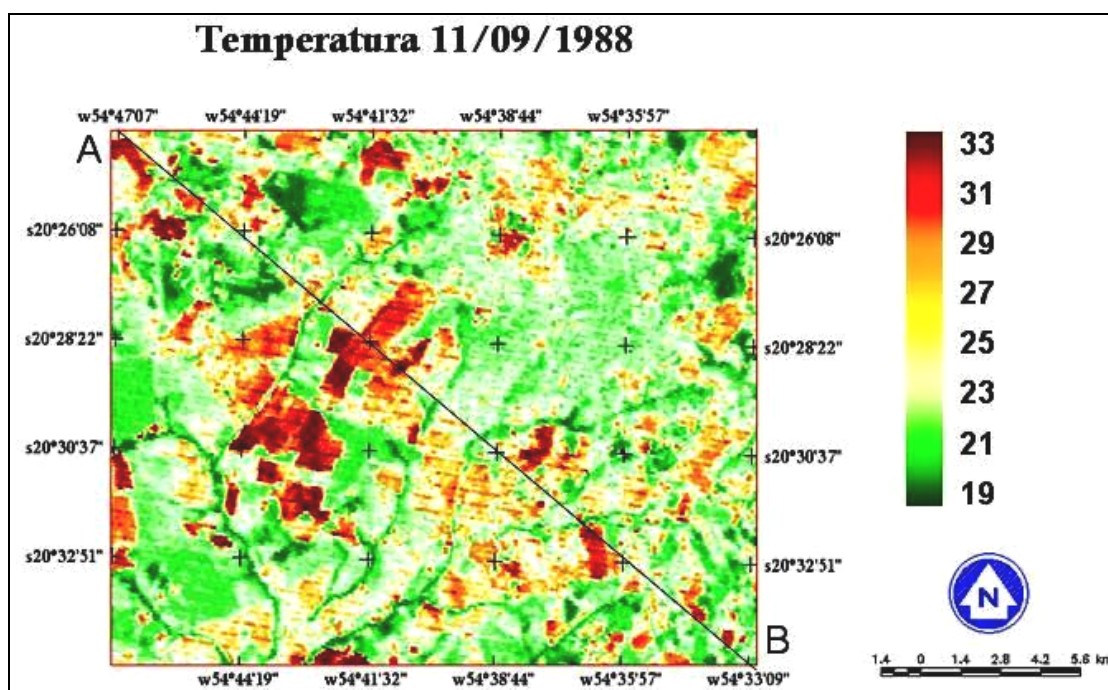


Figura 4 – Campo térmico da área urbana e arredores de Campo Grande/MS (1988).

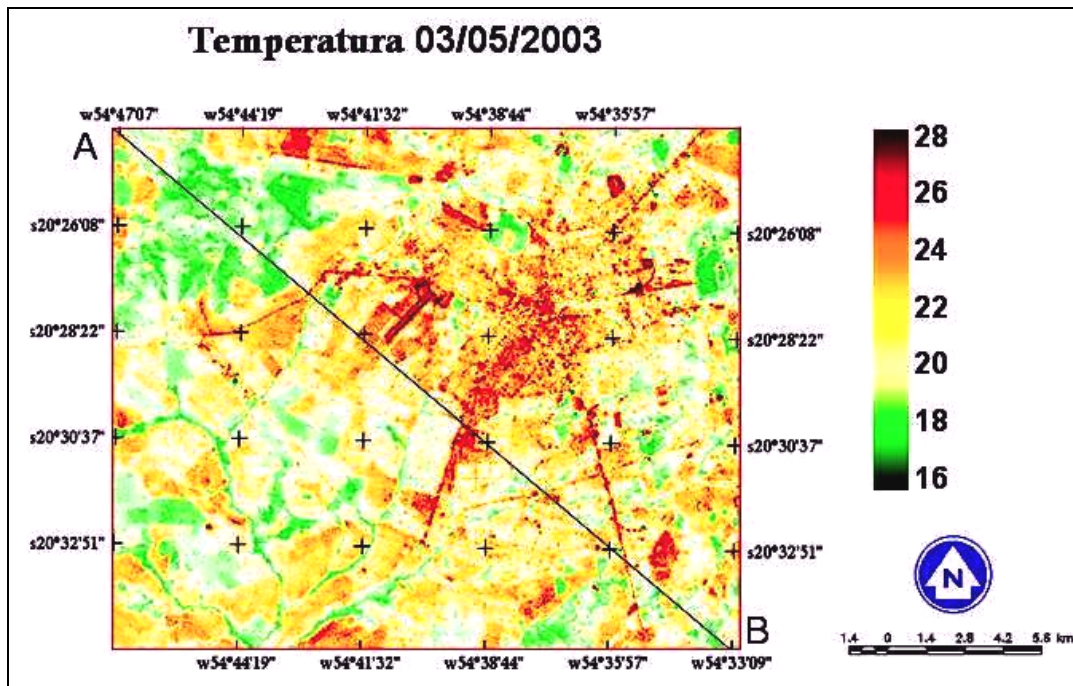


Figura 5 – Campo térmico da área urbana e arredores de Campo Grande/MS (2003).

A **Figura 6** apresenta variações no campo térmico da área de estudo ao longo do perfil A – B (NO – SE), para as duas datas. Em ambas as curvas observa-se o contraste térmico entre áreas urbanizadas e não-urbanizadas. Em 1988 ocorreu uma amplitude de aproximadamente 10 °C entre o centro urbanizado e áreas periféricas agrícolas e/ou florestadas. Com relação ao ano de 2003, com condições atmosféricas opostas às de 1988, a amplitude térmica foi de 07 °C.

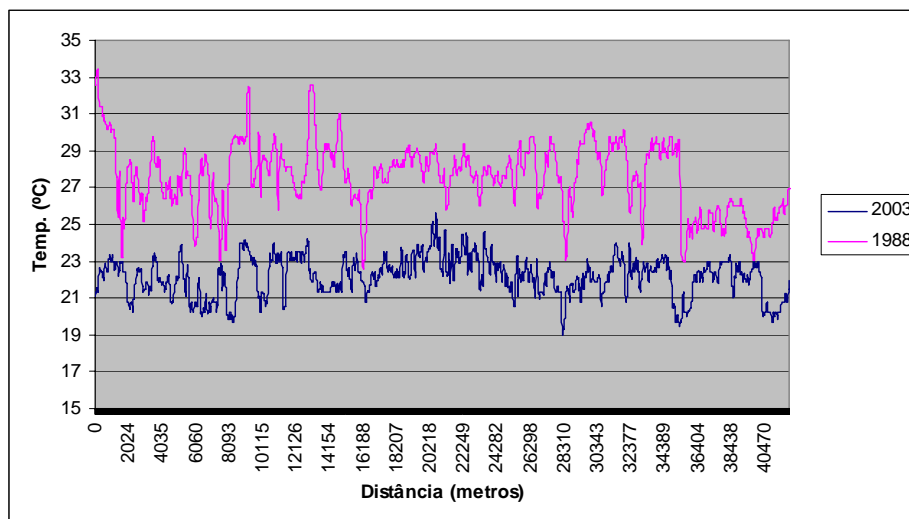


Figura 6 – Perfis NO – SE do campo térmico da área urbana e arredores de Campo Grande/MS (1988 e 2003).

As comparações focaram as amplitudes térmicas entre as diferentes datas devido ao fato de que as condições atmosféricas implicam em padrões de aquecimento distintos para cada data. Assim, torna-se inviável a comparação temporal dos valores absolutos de temperatura aparente nos casos estudados.

A sazonalidade climática aliada às modificações nos tipos de revestimento do solo ocasionou alterações na amplitude do campo térmico, conforme apresenta a **Figura 6**. Pode-se perceber que as curvas (1988 e 2003) se apresentam semelhantes, porém com valores absolutos distintos. Isto está relacionado com modificações no revestimento do solo ocasionadas, principalmente, pela variação sazonal no vigor da vegetação. Como as imagens de 1988 foram obtidas em um período de estiagem e as de 2003 no período chuvoso, as amplitudes térmicas são bastante distintas. Porém, é possível notar, em ambas as datas, que ocorrem significativas diferenças entre a área urbanizada e as áreas periféricas com cobertura vegetal.

5. Conclusões

Destarte a generalização promovida pelo fatiamento, o índice de vegetação se apresentou adequado na discriminação dos tipos de revestimento do solo através das diferenças de fitomassa entre os alvos da área estudada.

O procedimento estatístico não-paramétrico demonstrou que os tipos de revestimento do solo são distintos com relação à contribuição no aquecimento da superfície. O intervalo que mais contribuiu no aquecimento é o de 0 a 0,2 (solo exposto e áreas urbanas) seguido do de 0,2 a 0,6 (campos).

Os perfis de campo térmico demonstraram a ocorrência de contrastes entre solos expostos-superfícies urbanas e as áreas adjacentes florestadas. Aliado a isto, a análise temporal demonstra que a sazonalidade climática da área de estudo interfere no vigor vegetacional e modifica o revestimento do solo. Desse modo, em período de estiagem a amplitude térmica se acentua.

Conclui-se, também, que os dados de temperatura aparente, obtidos através das bandas termais dos satélites TM/Landsat-5 e ETM+/Landsat-7, demonstraram-se satisfatórios comparados aos dados meteorológicos de aeroportos e estações meteorológicas da região de estudo.

6. Referências

- Almeida, Maria G., Rudorff, Bernardo F. T., Shimabukuro, Yosio E. Mapeamento da cobertura vegetal de áreas de grande extensão através de mosaicos de imagens do NOAA-AVHRR. **X Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. p. 377-381, Foz do Iguaçu, 21 – 26 de Abril, 2001.
- Amorim, Cristiane de C. T. Mudanças climáticas no ambiente urbano. **Revista Geografia em Atos/ UNESP**, v. 1, n. 2, 2000, p. 69 – 86.
- Baca, Jesus Fernando Mansilla. Dinâmica do NDVI para a América do Sul: 1981 – 2001. **XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. p. 3487-3493, Goiânia, 16 - 21 de Abril, 2005.
- Bitencourt, M. D., Mesquita Jr, H. N., Mantovani, W., Batalha, M. A., Pivello, V. R. Identificação de fisionomias de cerrado com imagem índice de vegetação. **3º Congresso de Ecologia do Brasil (3º CEB)**. p. 316-320, Brasília – DF, 1996.
- French, A. N.; Jacob, F.; Anderson, M. C.; Kustas, W. P.; Timmermans, W.; Gieske, A.; Su, Z.; Su, H.; McCabe, M. F.; Li, F.; Prueger, J.; Brunsell, N. Surface energy fluxes with the Advanced Spaceborne Thermal Emission and Reflection radiometer at the Iowa 2002 SMACEX site (USA). **Remote Sensing of Environment**, , n. 99, 2005, p. 55 – 65.
- Kustas, W. P.; Li, F.; Jackson, T. J.; Prueger, J. H.; MacPherson, J. I. Wolde, M. Effects of remote sensing resolution on modeled energy flux variability of croplands in Iowa. **Remote Sensing of Environment**, , n. 92, 2004, p. 535 – 547
- GLCF (Global Land Cover Facility). Geocover Technical Guide. Produced by University of Maryland/USA. Disponível em: <<http://glcf.umiacs.umd.edu/data/guide/>>. Acesso em: 10/09/2006.

IBGE.Censo Demográfico (ano: 2000). Disponível em: < <http://www.ibge.gov.br/censo/>>. Acesso em: 20/09/2006.

Lombardo, M. A. **Ilha de calor nas metrópoles: o exemplo de São Paulo**. São Paulo: HUCITEC, 1985, 244 p.

Oke, T. R. **Boundary Layer Climates**. London: Methuen & Ltd. A. Halsted Press Book, John Wiley & Sons, New York, 1978, 372p.

StatSoft, Inc. **STATISTICA (data analysis software system)**, version 6, 2001.

Vergara, O. R.; Cintra, J. P.; D'Alge, J. C. L. Avaliação da exatidão cartográfica de documentos atualizados com imagens orbitais e sistemas de informação geográfica. **XX Congresso Brasileiro de Cartografia**, Porto Alegre, 2001.

Vermote, E.F.; Tanre, D.; Deuze, J.L.; Herman, M.; Morcrette, J.J. Second simulation of the satellite signal in the solar spectrum, 6S: An overview, **IEEE Transactions in Geosciences and Remote Sensing**, vol. 35, n. 03, p. 675-686, 1997.