



ANÁLISE DE TERMO-COBERTURA DE SUPERFÍCIE DO MUNICÍPIO DE CURITIBA PARA OS ANOS DE 1985 E 2010

JOSEMAR PEREIRA DA SILVA¹

Resumo: O presente estudo tem como objetivo analisar o comportamento térmico da superfície do município de Curitiba dentro de uma perspectiva temporal (1985 e 2010), considerando os períodos de baixa insolação (outono/inverno) e maior insolação (primavera/verão), os quais podem ser detectados por sensoriamento remoto. Foram utilizadas as imagens do sensor TM/Landsat-5 para obtenção da temperatura da superfície (TS) e do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) para análise do comportamento da superfície. Por meio desta análise comprovou-se que a supressão da vegetação tem contribuído com o aumento da TS. No contexto sazonal, os resultados revelam dois padrões térmicos para a superfície de Curitiba, apresentando maior amplitude térmica entre as superfícies intraurbanas para os dias relativos à primavera/verão e uma menor amplitude para os dias de outono/inverno.

Palavras chave: Temperatura de superfície, Ilha de calor, NDVI, Curitiba, Clima urbano.

Abstract: The present study aims to analyze the thermal behavior of the surface of the city of Curitiba within a time frame (1985 to 2010), whereas periods of low insolation (fall / winter) and higher insolation (spring / summer), which may be detected by remote sensing. Images by TM/Landsat-5 for obtaining landscape surface temperature (LST) and the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) to analyze the behavior of the surface were used. Through this analysis it was shown that the removal of vegetation has contributed to the increase in LST. In the seasonal context, the results reveal two thermal patterns to the surface of Curitiba, with higher thermal amplitude between the intra-urban surfaces for days in the spring / summer and a smaller amplitude for the days of fall / winter.

Key-words: Landscape surface temperature, head island, NDVI, Curitiba, urban climate.

1 – Introdução

As principais modificações agravadas pelo processo de urbanização nas grandes cidades brasileiras, analisadas em Monteiro e Mendonça (2003), e Mendonça (2004), estão relacionadas principalmente a alteração das propriedades físicas e químicas dos materiais que constituem o sítio urbano, ou seja, as modificações estruturais da superfície, do ciclo hidrológico e do agravamento de processos aerodinâmicos.

Estas modificações ocasionam diferentes variações termo-higrométricas de acordo com a distribuição e quantidade de edificações, espaços livres e de áreas verdes observadas nos estudos de Dumke (2007) e Leal (2012) para a cidade de Curitiba/PR.

¹ Mestre em Geografia pela Universidade Federal do Paraná. E-mail: josemar@ufpr.br



Para Garlant (2010), os efeitos supracitados acabam repercutindo na redução da evaporação e aumento do armazenamento de calor da superfície urbana. Desta maneira, o calor antropogênico em ambientes urbanos torna-se mais elevado que em áreas rurais devido ao aprisionamento do calor nestes ambientes, o que tem contribuído com o surgimento de ilhas de calor em diferentes escalas.

Segundo Dumke (2007), como uma das poucas exceções, o município de Curitiba contou com um processo permanente e institucionalizado de planejamento urbano desde 1943 com o Plano Agache, posteriormente em 1964 com o Plano Serete e suas adaptações, em 2000 com a nova legislação do Zoneamento de Uso e Ocupação do Solo e finalmente em 2004 a adequação do Plano Diretor vigente com o Estatuto da Cidade, Lei Federal nº 10.257/2001. No presente ano, o Plano Diretor de Curitiba passa por um novo processo de revisão aberto a participação popular.

Embora Curitiba seja conhecida internacionalmente como “capital ecológica” apontado por Mendonça e Dubreuil (2005) e Dumke (2007), ainda assim, estes autores consideram que a cidade apresenta uma série de problemas estruturais e ambientais. De acordo com estes autores, parte destes problemas estão relacionados ao eficiente *citymarketing* municipal e pela vinda de empresas a partir do final da década de 1970, o que induziu um crescimento acelerado do processo de urbanização da cidade e região, as quais não contavam com uma estrutura apropriada para alocar o intenso movimento migratório.

Danni-Oliveira (1999) observou que a maior densidade de edificações e de sua verticalização contribui para redução da dispersão de poluentes, interferindo desta forma nos regimes locais de precipitação e conforto térmico, configurando assim novos microclimas em Curitiba.

2 – Discussão

As interações existentes entre a dinâmica da superfície terrestre com processos atmosféricos revelam que o comportamento térmico de determinado local nada mais é do que o reflexo da intensidade, extensão e duração destas inter-relações, estando a elas condicionado a troca de energia entre os meios. Assim, para o entendimento do dimensionamento destas trocas energéticas se faz necessário o emprego de abordagens climatológicas de análise e mensuração compatíveis com a escala de observação.

Com base nesta afirmação, para a análise do comportamento térmico de grandes áreas urbanas, o emprego de imagens térmicas tem sido bastante comum nos estudos de clima urbano como os estudos de Lombardo (1985), Collischonn (1998) e Dumke (2007).



Segundo Mendonça (2001), o campo térmico das cidades, enquanto subdivisão do clima urbano, tem sido aquele no qual mais se tem empregado as imagens de satélites, de maneira especial para o estudo das ilhas de calor urbano.

Mendonça e Dubreuil (2005) e Dumke (2007), observaram em suas pesquisas durante o mês de setembro de 2002, a partir de imagem do canal infravermelho termal da série *Landsat* e dados meteorológicos, a formação de um arquipélago de ilhas de calor e frescor na área urbana da Região Metropolitana de Curitiba (RMC). Para estes autores a existência destas ilhas está relacionada às diferentes coberturas do solo (construída ou vegetal) e sua respectiva densidade, bem como pela topografia, além da análise das condições meteorológicas antes e durante a passagem do sensor remoto.

Para Silva (2014) o estudo da distribuição da temperatura de superfície (TS) em diferentes períodos, pode fornecer informações relevantes sobre a evolução da temperatura urbana observando as diferentes condições de cobertura da superfície e insolação incidente.

Diante do exposto o presente estudo tem como objetivo analisar o comportamento térmico da superfície do município de Curitiba (Figura 01) e sua relação com a cobertura da superfície dentro de uma perspectiva temporal, ou seja, com um intervalo que seja possível observar mudanças significativas da superfície considerando ainda os períodos de baixa insolação (outono/inverno) e maior insolação (primavera/verão).

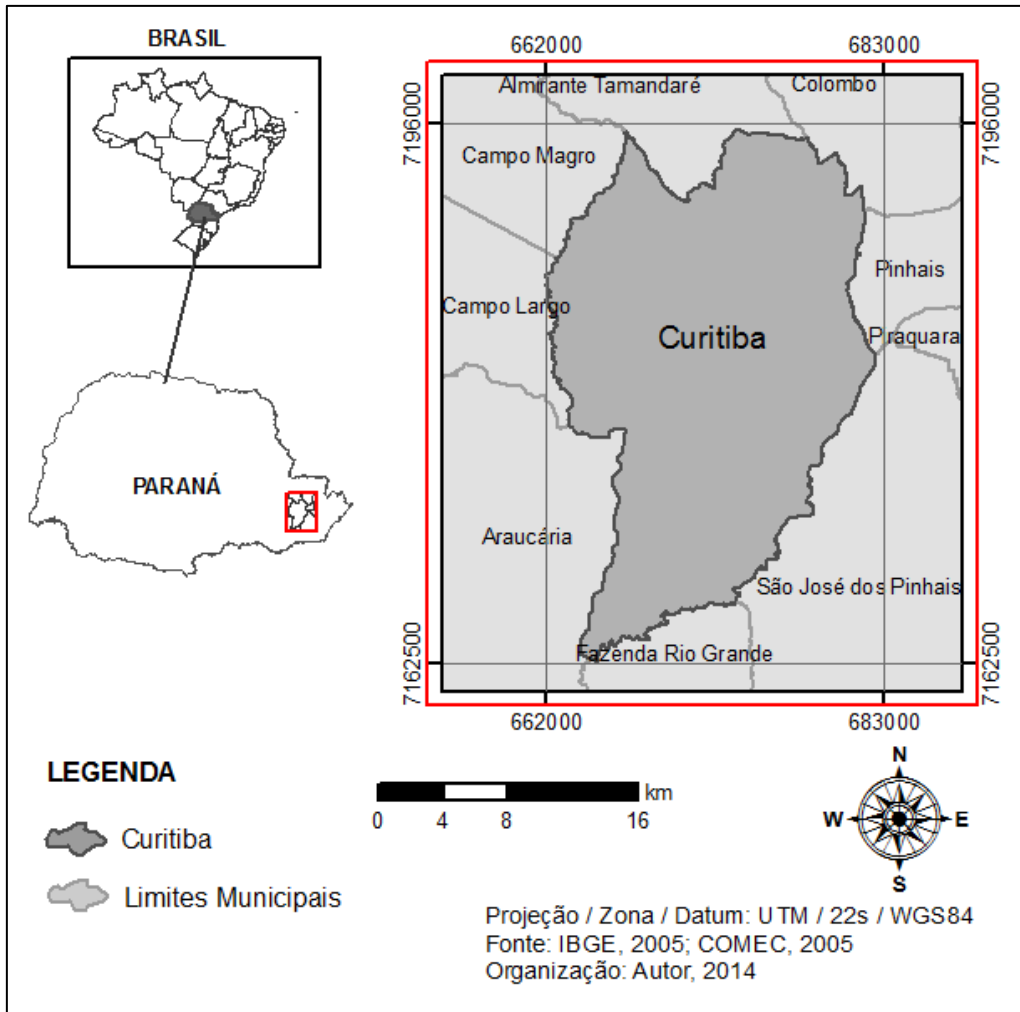


Figura 01 - Mapa de Localização de Curitiba / PR

2 – Metodologia

Com base nos objetivos propostos, foram empregadas as imagens orbitais provenientes do sensor Thematic Mapper do satélite Landsat-5 (órbita 220, colina 78) dos dias 06/05/1985, 30/11/1985, 31/08/2010 e 19/11/2010 obtidas do catálogo de imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Realizado a georreferenciamento das imagens TM/Landsat-5, a calibração radiométrica, albedo planetário e obtenção de temperatura de brilho foram obtidos conforme Chander *et al.*, (2009).

A temperatura da superfície (TS) foi obtida pela Equação 1, a qual foi empregada por Collischonn (1998), descrita a seguir:



$$T_s = \frac{T_b}{1 + \left(\frac{\lambda_6 T_b}{a}\right) \ln \varepsilon} \quad (1)$$

Onde:

T_s = é a temperatura da superfície,

T_b = é a temperatura de brilho do sensor termal,

λ_6 = comprimento de onda médio da radiação da banda 6 (11,435 μm),

$a = hc/\sigma$ (1.438x 10⁻² mK),

$\ln \varepsilon$ = Logaritmo natural da emissividade da superfície;

Sendo que:

h = é a constante de Planck (6.28x10⁻³⁴ J seg)

c = é a velocidade da luz (2.998x10⁸ m/seg)

σ = refere-se a constante de Stefan-Bolzmann (1.38x10⁻²³ J/K);

O valor da emissividade foi estipulado para os dois métodos como área não vegetada (0,92), a qual foi adotada por Collischonn (1998) e Silva (2014).

Devido à complexidade de diferentes formas de uso e densidade dentro dos diferentes níveis de ocupação urbana (baixa, média e alta) para Curitiba, somados a dificuldade em estabelecer uma classificação compatível do uso do solo para os anos de 1985 e 2010, adotou-se para subsidiar a análise da emissão e reflectância da superfície, tendo em vista os diferentes níveis de emissividade da mesma, o modelo *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI). Este modelo de mistura espectral permite indicar, de forma numérica, se o alvo observado contém vegetação verde em diferentes densidades (0,3 a 1) ou não possui vegetação verde (-1 a 0,3). Para a obtenção do NDVI foi utilizada a Equação 2 descrita a seguir:

$$NDVI = \frac{(\rho_4 - \rho_3)}{(\rho_4 + \rho_3)} \quad (2)$$

Onde:

ρ_4 = é a radiação do infravermelho próxima (banda 4);

ρ_3 = é a radiação do vermelho (banda 3);



Para auxiliar a análise da TS em diferentes condições de insolação foram utilizados os dados da temperatura do ar (TA) das estações meteorológicas do INMET e SIMEPAR ambas localizadas no Centro Politécnico da UFPR. Ressalta-se que antes do ano de 1999 o registro da TA era realizado apenas em três horários, sendo as 9h00, 15h00 e 21h00.

3 – Resultados

A FIGURA 02 ilustra a situação da superfície no momento da aquisição da imagem Landsat-5 para os dias 06/05/1985 e 30/11/1985.

Os Itens I, II e III da FIGURA 02 ilustram respectivamente a TS, composição colorida RGB (bandas 7,4,3) e NDVI para o dia 06/05/1985.

Pelo item I da FIGURA 02, a TS obtida para este dia apresenta um gradiente térmico de 12°C a 24°C. A TA medida cerca de 1 hora antes (9h00), conforme disponibilidade de registro da Estação meteorológica do INMET para o ano de 1985 foi de 12,7°C.

Segundo dados da estação do INMET o volume de precipitação acumulada para os três dias que antecederam a aquisição da imagem do dia 06/05/1985 foi nula.

Os quadrantes 1B, 1D, 4C, 4D, 5C e 5D, indicam TS inferiores 14°C devido a existência de nuvens e áreas de campos e cultura.

Os Itens IV, V e VI da FIGURA 02 representam respectivamente a TS, composição colorida RGB (bandas 7,4,3) e NDVI do dia 30/11/1985.

A TA registrada foi de 18,2°C as 9h00 pela estação do INMET. O volume de precipitação acumulado para os três dias antecedentes também foi nulo.

As TS mais representativas compreendem o intervalo de 18°C a 32°C, sendo que as TS baixas também correspondem principalmente às áreas de NDVI superior a 0,5 (item VI) e baixo adensamento de ocupação do uso do solo que pode ser observado pelo Item V.

As TS mais elevadas do dia 30/11/1985 são análogas às áreas do dia 06/05/1985, no entanto apresentam TS superiores em até 10°C.

No dia 30/11/1985 destacam-se na paisagem urbana a ocorrência de ilhas de calor de superfície (ICS) mais intensas nos quadrantes 2D, 3C, 4D e 5B do item IV as quais correspondem principalmente a áreas de solo exposto. No item I devido aos condicionantes meteorológicos estas ICS não se manifestam com a mesma intensidade.

As áreas verdes (NDVI > 0,3) funcionam como verdadeiras ilhas de frescor de superfície (IFS) para os dois períodos analisados.

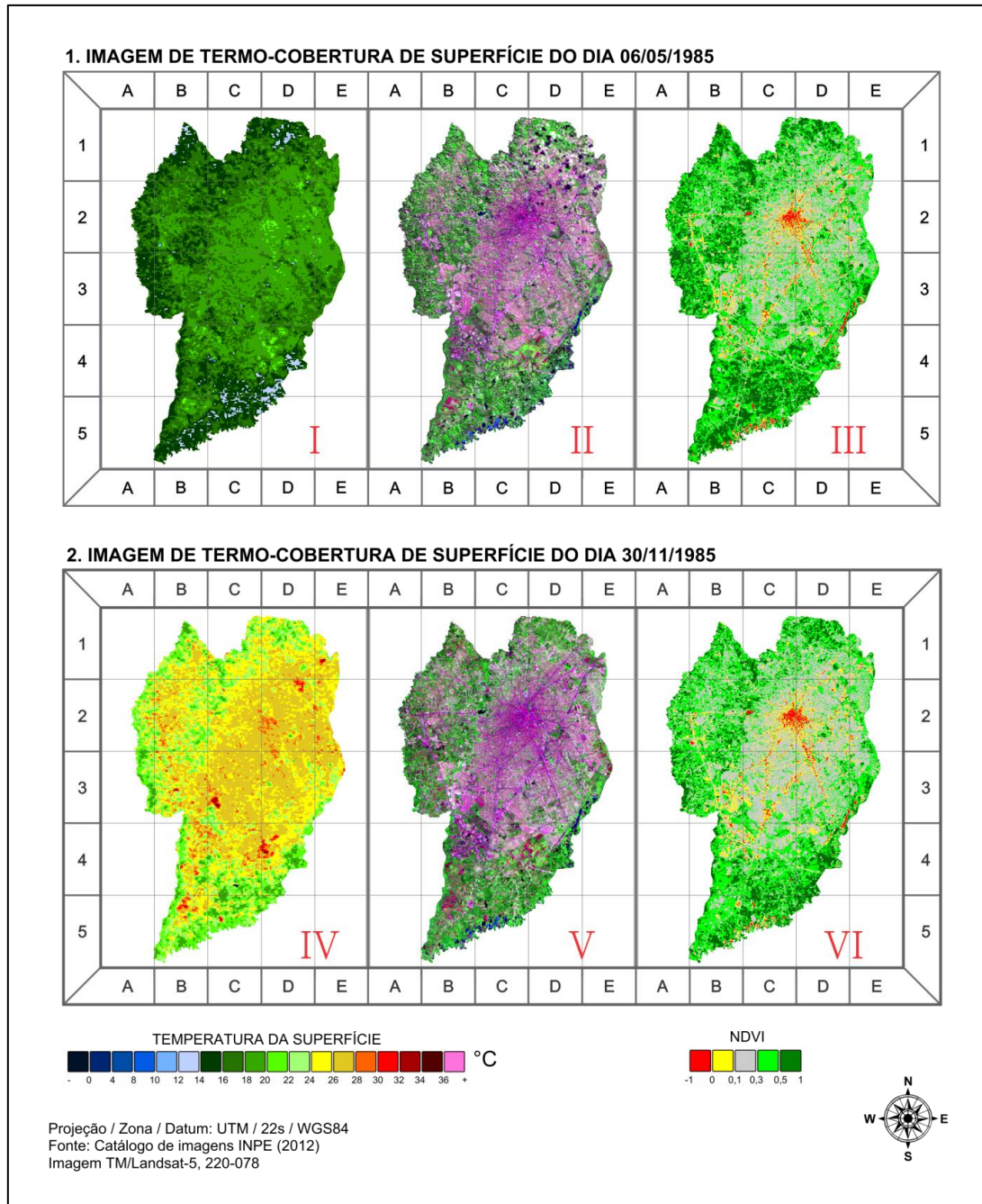


Figura 02 – Análise de Termo-cobertura de superfície para o ano de 1985

A Figura 03 ilustra a situação da superfície no momento da aquisição da imagem Landsat-5 para os dias 31/08/2010 e 19/11/2010.

Os Itens **I**, **II** e **III** da FIGURA 3 ilustram respectivamente a TS, composição colorida RGB (bandas 7,4,3) e NDVI para o dia 31/08/2010.

O gradiente térmico obtido para esta data corresponde ao intervalo de 14°C a 28°C.

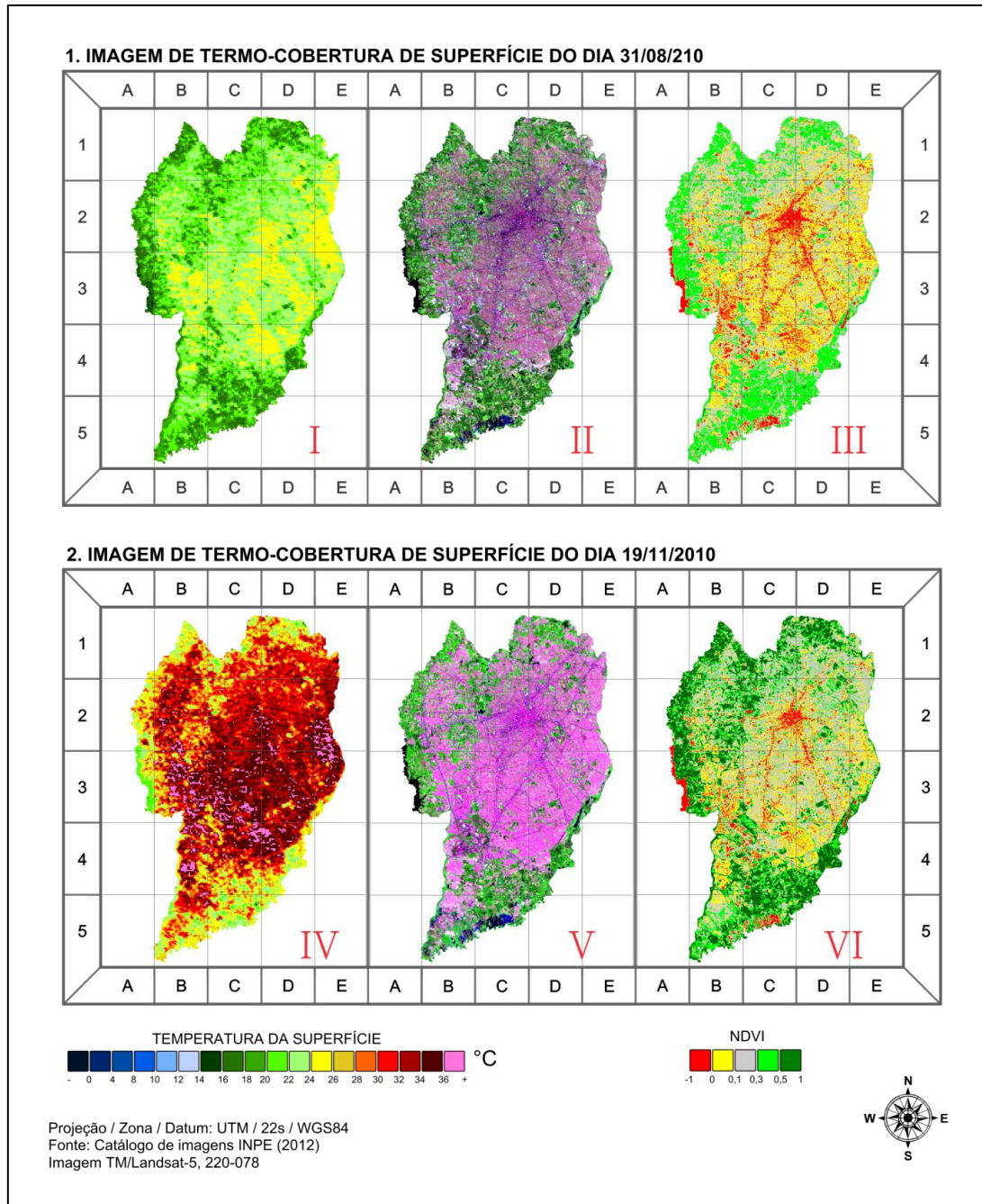


Figura 03 – Análise de Termo-cobertura de superfície para o ano de 2010

A TA registrada às 10h00 pela estação meteorológica do SIMEPAR foi de 17,5°C. A precipitação acumulada para os três dias antecedentes foi nula.

As TS mais elevadas não correspondem necessariamente às áreas onde o NDVI é de -1 a 0 devido a existência de áreas densamente verticalizadas, como exemplo a área central de Curitiba (quadrantes 2C e 2D) e grandes corpos d'água como a represa do Passaúna (quadrante 3A). Neste sentido, deve-se tomar cuidado com a interpretação dos



resultados obtidos do NDVI e sua relação com a TS.

Para este período as áreas onde a TS são mais elevadas correspondem principalmente onde NDVI (item III) é de 0 a 0,1.

Os Itens IV, V e VI da Figura 03 representam respectivamente a TS, composição colorida RGB (bandas 7,4,3) e NDVI do dia 19/11/2010.

As TS obtidas compreendem o intervalo de 22°C a 38°C, sendo que as TS baixas também correspondem principalmente às áreas de NDVI superior a 0,5 (item VI) e baixo adensamento de ocupação do uso do solo que pode ser observado pelo Item V.

A TA registrada às 10h00 pela estação do SIMEPAR foi de 21,8°C. A precipitação acumulada para os três dias que antecederam a aquisição da imagem foi de 5,00 mm.

As TS mais elevadas concentram-se nas áreas periféricas do centro da cidade, principalmente nas áreas onde os bairros são densamente habitados horizontalmente (2E, 3E, 3C,4D) e áreas industriais e de serviços (3B,4B).

O contraste térmico entre as áreas verdes (NDVI > 0,3) e áreas densamente ocupadas supera os 14°C para o dia 19/11/2010.

Os bairros situados na porção norte do município, a partir da metade da linha de quadrantes 2 e abaixo da metade da linha do quadrante 4 apresentam as TS mais amenas por conta da menor densidade de ocupação de Curitiba.

A Figura 4 permite a comparação dos valores obtidos da TS e do NDVI em forma de gráficos para os quatro dias analisados.

Pelo Gráfico 1 da Figura 04 observa-se que as TS mais baixas correspondem ao dia 06/05/1985 em azul, e 31/08/2010 em verde. As datas descritas correspondem ao período de menor insolação da área de estudo.

As TS mais elevadas correspondem ao dia 30/11/1985 e 19/11/2010. Estes dias correspondem a maior elevação solar, ou seja, período de primavera/verão.

Os valores de TS abaixo dos 12°C registrados para todos os dias analisados estão relacionados à presença de nuvens e suas sombras que são projetadas sobre a superfície.

Considerando a dificuldade de obtenção de imagens remotas com as mesmas condições de insolação e de uso do solo urbano, observa-se pelos Gráficos 1 e 2 que a maior quantidade de cobertura construída da superfície (NDVI < 0,1) apresenta TS mais elevadas conforme a quantidade de insolação do período analisado bem como a maior capacidade em armazenar calor latente por áreas mais adensadas.

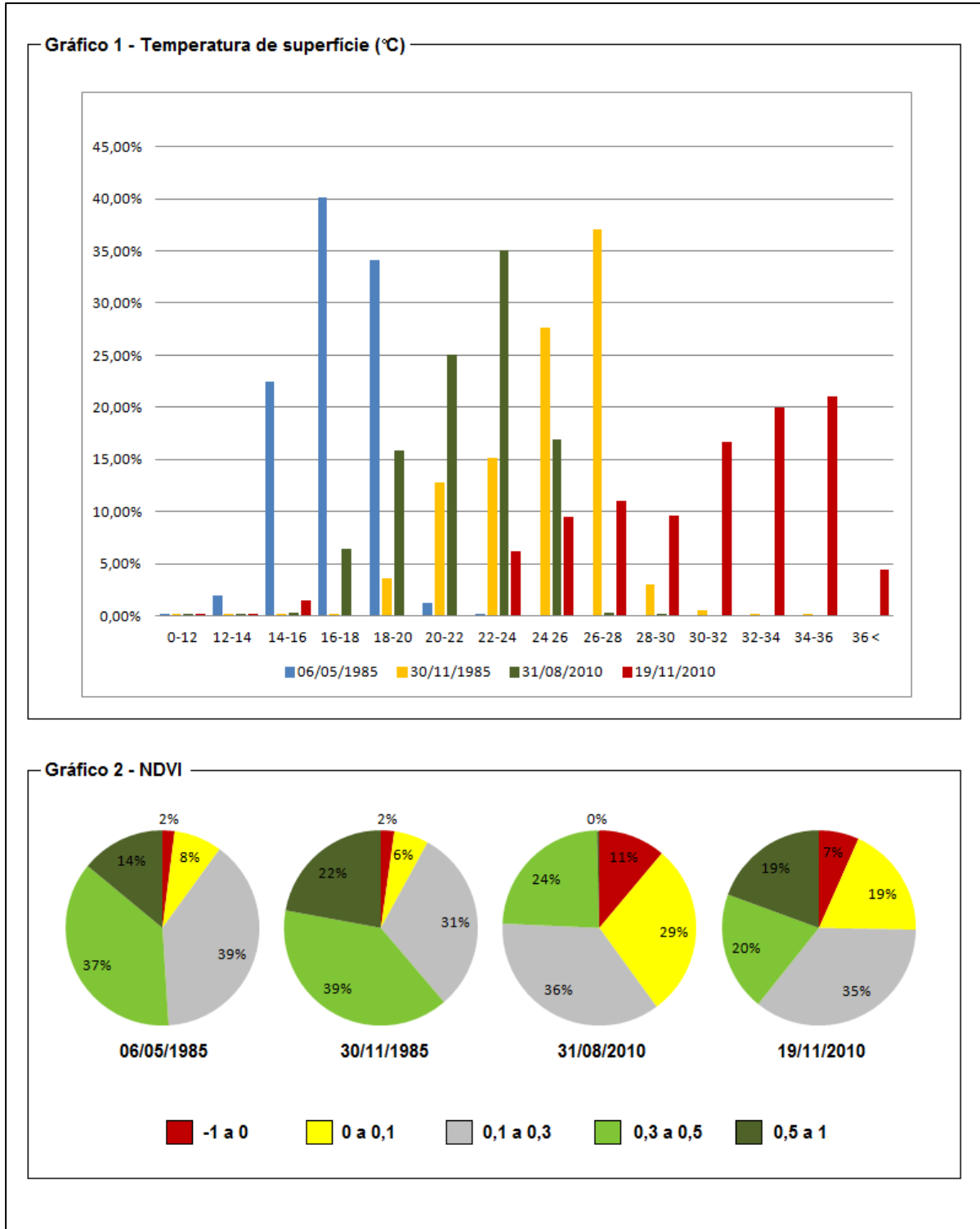


Figura 04 – Análise da distribuição da temperatura de superfície em classes combinada com a cobertura da superfície obtida por NDVI para os anos 1985 e 2010

A diferença do NDVI entre os períodos analisado devesse ao fator morfológico da vegetação, ou seja, a densidade da cobertura vegetal (distância entre as folhas) e dos



fatores fisiológicos como a idade da planta, déficit hídrico e sua redução de biomassa durante os períodos de outono e inverno.

Os diferentes valores de NDVI obtidos para mesma área e ano estão relacionados principalmente a altura solar que interfere no maior sombreamento das edificações e árvores sobre a superfície circundante e por consequência modifica a quantidade de energia que é refletida pela superfície conforme a insolação recebida.

Os gráficos 1 e 2 demonstram que as modificações ocorridas durante os anos de 1985 a 2010 na cobertura de superfície aumentaram a capacidade da superfície em armazenar calor. Neste sentido, o surgimento de ICS estão condicionadas aos períodos de maior intensidade de insolação que incide sobre a superfície urbana. As IFS estão condicionadas a manutenção dos espaços verdes.

No geral, as classes de NDVI (-1 a 0,9) justificam as TS mais elevadas. No entanto, ressalta-se que os corpos d'água e áreas sombreadas discutidas anteriormente estão inclusas neste intervalo, ou seja, não apresentam elementos fotossintéticos pelo NDVI, logo não indicam necessariamente TS elevadas durante os períodos de menor insolação.

4 – Conclusões

A análise de termo-cobertura de superfície de Curitiba para os anos de 1985 e 2010, demonstrou potencial para a compreensão das relações entre a cobertura da superfície e a distribuição da TS pela paisagem urbana, evidenciando os principais condicionantes que influenciaram a ocorrência e a distribuição das diferentes intensidades de ICS e IFS.

Como esperado, as modificações recentes na ocupação do solo urbano revelaram diferenças nos campos térmicos da superfície de Curitiba. Constatou-se deste modo, um paralelo entre o crescimento urbano com o surgimento de novos padrões térmicos pela superfície urbana.

Apesar dos resultados apresentarem uma tendência de aumento da TS para Curitiba, não foi possível mensurar este aquecimento, uma vez que as imagens foram captadas em diferentes condições atmosféricas e de uso do solo representando assim, apenas um determinado instante da superfície. A elaboração de outros índices pode auxiliar na compreensão dos efeitos causados pelas diferentes coberturas da superfície urbana.



5 - Referências Bibliográficas

CHANDER, G; MARKHAM, B; HELDER, D.L. **Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors.** Remote Sensing of Environment. V .113. p.893-903. 2009.

COLLISCHONN, E. *O campo térmico da Região Metropolitana de Porto Alegre: Uma Análise a partir da Interação das Variáveis Ambientais na Definição do Clima Local.* 155f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 1998.

DANNI-OLIVEIRA, I. M. *A cidade de Curitiba e a poluição do ar: implicações de seus atributos urbanos e geocológicos na dispersão de poluentes em período de inverno.* 330 f. **Tese** (Doutorado em Geografia) - Universidade de São Paulo, São Paulo, 2000.

DUMKE, E. M. S. *Clima urbano / conforto térmico e condições de vida na cidade – uma perspectiva a partir do aglomerado urbano da região metropolitana de Curitiba (AU-RMC).* 417 f. **Tese** (Doutorado em Meio Ambiente e Desenvolvimento) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2007.

GARTLAND, L. **Ilhas de Calor: Como mitigar zonas de calor em áreas urbanas.** Tradução de Sílvia Helena Gonçalves. São Paulo: Oficina de Textos, 2010. 223p.

LEAL, L. *A influência da vegetação no clima urbano da cidade de Curitiba – Pr. Tese* (Doutorado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal do Paraná. 2012.

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

MENDONÇA, F. A. (Org). **Impactos socioambientais urbanos. Curitiba-Pr.** Editora UFPR, 2004. 328p.

MENDONÇA, F; DUBREUIL, V. *Termografia de superfície e temperatura do ar na RMC (região metropolitana de Curitiba/PR).* **Revista RA'E GA.** n. 9, p. 25-35, 2005.

MONTEIRO, C.A.F; MENDONÇA, F. A.; (Orgs.). **Clima Urbano.** São Paulo-SP: Contexto, 2003. 192p.

OKE, T. R. **Boundary Layer Climates.** 2 ed. Methuen, 1987. 289 p.

SILVA, J. P. *Análise do comportamento térmico da superfície do Aglomerado Urbano da região metropolitana de Curitiba.* 169 f. **Dissertação** (Mestrado em Geografia) - Universidade Federal do Paraná, 2014.

VOOGT, J.A.; OKE, T.R. **Thermal remote sensing of urban climates.** Remote Sensing of Environment, Oxford, v.86, p.370-384, 2003.

WENG, Q. *Thermal infrared remote sensing for urban climate and environmental studies: Methods, applications, and trends.* ISPRS **Journal of Photogrammetry and Remote Sensing** 64, p. 335_344. 2009.