

## **Aplicação de índices relativos de vegetação e temperatura para an análise das mudanças nos padrões de cobertura vegetal de Curitiba (PR)**

**Andréa Ferraz Young<sup>1</sup>, Jansle Vieira Rocha<sup>2</sup>**

*Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)<sup>1</sup>  
Professor da Faculdade de Engenharia Agrícola da Universidade Estadual de Campinas (UNICAMP)<sup>2</sup>*

Recebido em 30 de Junho de 2005

---

### **Resumo**

O objetivo desse trabalho foi propor índices relativos de vegetação e temperatura (superfície), que sintetizassem as alterações ocorridas nos padrões de cobertura vegetal e urbanização de Curitiba (PR), utilizando imagens Landsat TM e ETM+ de 1986, 1999 e 2002. Para isolar as áreas com vegetação das superfícies urbanas construídas, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada foi utilizado como um indicador da presença de vegetação, a partir do qual o índice de vegetação relativo ( $NDVI_R$ ) foi criado. Ao mesmo tempo, valores das bandas termais do satélite Landsat foram extraídos como indicadores das diferenças termais entre usos do solo, servindo de base para a proposição de um índice de temperatura relativo ( $DN_R$ ), que foi comparado ao índice de vegetação relativo ( $NDVI_R$ ). Através dos resultados obtidos, foi possível verificar a importância das mudanças do uso do solo e dos padrões de distribuição de vegetação nos diferenciais de temperatura da superfície identificados. Concluiu-se que existe uma tendência de correlação inversa entre esses índices, contribuindo para análises espaciais mais precisas.

**Palavras chaves:** sensoriamento remoto, índices de vegetação e temperatura, gestão urbana

---

## **Relative indices of vegetation and temperature for analysis of changes in the vegetation patterns of Curitiba (PR)**

### **Abstract**

The aim was to propose relative indices of vegetation and temperature which could reflect the changes occurred in the vegetation cover and urbanization patterns caused by transformations along the city of Curitiba (PR), by using Landsat TM and ETM+ images of 1986, 1999 and 2002. In order to separate vegetated from built-up surfaces, the Normalized Difference Vegetation Index was used as an indicator of vegetation presence, from of what the relative vegetation index ( $NDVI_R$ ) was created. At the same time, values from the thermal band of Landsat satellite were extracted as an indicator of thermal differences between land use, based on that a relative temperature index ( $DN_R$ ) was proposed and compared with the relative vegetation index ( $NDVI_R$ ). By applying these techniques it was possible to verify the importance of land use changes as the distribution of vegetation patterns in identifying different temperatures of surface. In conclusion, the indices are inversely proportional in terms of correlation tendency, which can contribute to spatial analysis precisely.

**Key words:** remote sensing, vegetation and temperature indices, urban management

## Introdução

Nos últimos anos, muitos pesquisadores têm procurado entender as mudanças temporais e espaciais nos padrões da vegetação urbana visando obter respostas mais elucidativas sobre a dinâmica de uso do solo. A maioria dos estudos tem utilizado métodos para quantificar padrões através do tempo. Embora seja evidente a necessidade de abordagens complementares, que propiciem esclarecimentos sobre a dinâmica da paisagem para o gerenciamento local, poucos estudos propõem metodologias alternativas (Greenhill et al., 2003).

Segundo Whitford et al. (2001), é reconhecido o fato de que a urbanização pode provocar efeitos destrutivos no ambiente e conseqüentemente no clima. De acordo com Carlson et al. (1999), essas mudanças, e especificamente seus efeitos sobre a vegetação e o clima, podem ser detectados com auxílio de satélites.

Imagens de satélite foram utilizadas para o mapeamento das transformações ocorridas em Phoenix (USA) nas décadas de 80 e 90, especialmente dos avanços da área urbana sobre a vegetação (Sabins, 1999).

Dados obtidos a partir de diferentes comprimentos de onda, freqüentemente, visível e infravermelho, têm sido combinados para produzir índices espectrais que são medidas sensíveis em termos de variações espaciais e temporais (Gao et al., 2000). Para avaliação qualitativa e quantitativa da cobertura vegetal, vários cientistas têm desenvolvido índices de vegetação utilizando medidas espectrais (Townshend et al., 1991).

O Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI), tem sido amplamente utilizado em estudos globais como um discriminador de vegetação, porque pode ser facilmente correlacionado a determinados parâmetros de vegetação, tais como biomassa vegetal, área foliar, produtividade, atividade fotossintética, porcentagem de cobertura verde, entre outros (Elvidge e Chen, 1995).

Dados de satélites obtidos a partir de índices de vegetação, tais como o NDVI, podem ser correlacionados com outros dados como, por exemplo, porcentagem de cobertura vegetal (Asrar, Myneni, & Kanemasu, 1989; Baret & Guyot, 1991). Este índice tem sido amplamente utilizado em várias

aplicações operacionais, incluindo mapeamentos, classificação do uso da terra, detecção de mudanças e monitoramento (Cihlar et al., 1997; Tucker, Townshend, & Goff, 1985). É um importante parâmetro para muitos tipos de análise em diferentes níveis de abrangência como local, regional e global (Peterson et al., 1988).

Trata-se de um índice muito simples, resultante da diferença entre a reflectância no infravermelho próximo (IVP) e reflectância no vermelho (V), dividida pela soma das duas reflectâncias (Townshend et al., 1994).

$$NDVI = (IVP - V) / (IVP + V) \quad (1)$$

Desde os estudos de Jordan (1969), um dos precursores das pesquisas com índices de vegetação, diversos tipos de índices foram criados, com o objetivo de melhorar a caracterização da vegetação e reduzir as interferências de fatores que prejudiquem a associação entre esses índices e as características da vegetação (Moreira, 2000).

Huete & Warrick (1990) realizaram estudos sobre a abundância e composição da vegetação através de técnicas de sensoriamento remoto, fundamentadas em índices espectrais de diferenças da vegetação normalizados (NDVI). Bausch, (1993) e Liu & Huete (1995) enfatizaram a dificuldade gerada pela influência das componentes de energia radiante refletida pela atmosfera e solo na estimativa de índices de espectrais (NDVI). Levantamentos e monitoramentos globais da vegetação têm sido realizados a partir da utilização de índices espectrais (NDVI) obtidos a partir de dados do satélite meteorológico NOAA-7 (Tarpley et al., 1984).

Do mesmo modo, medidas obtidas remotamente a partir da banda do infravermelho termal também têm sido amplamente utilizadas em estudos sobre a urbanização. Na maioria dos casos, com foco no efeito conhecido como “ilhas de calor urbano”. Entretanto, para a maioria dos planejadores urbanos a maior parte dos modelos que envolvem essas medidas são extremamente complexos, demandando uma ampla escala de dados ou variáveis de entrada e envolvendo

análises matemáticas de difícil implementação. Torna-se, necessário, a simplificação do entendimento dessas medidas, produzindo resultados acessíveis, de fácil interpretação e que exijam o mínimo de dados de entrada (Whitford, 2001).

Carlson e Arthur (2000) analisaram dados obtidos sobre a temperatura da superfície a partir de imagens de satélite e técnicas de sensoriamento remoto considerando parâmetros como fragmentação da cobertura vegetal, disponibilidade de superfícies úmidas e variação das taxas de urbanização.

Para a interpretação de imagens do infravermelho termal é necessário entender os processos físicos básicos que controlam as interações entre a energia termal e a matéria, bem como as propriedades termais da matéria e a intensidade das interações (Sabins, 1997).

À medida que a radiação solar penetra na atmosfera terrestre sua intensidade é reduzida e sua distribuição espectral é alterada em função da absorção, reflexão e difusão dos raios solares pelos diversos componentes do ar (Romero, 1997). A energia radiante que atinge a superfície dos materiais é parcialmente refletida, parcialmente absorvida e parcialmente transmitida pelos materiais. As medidas de reflectância, absortância e transmitância são determinadas através das propriedades dos materiais e variam com o comprimento de onda da energia radiante incidente e com a temperatura da superfície (Sabins, 1997).

Temperatura é a medida de concentração de calor (Sabins, 1997). A energia termal é a energia cinética do movimento aleatório das partículas da matéria (Suits, 1983).

De acordo com Hook et al. (1999), um material que transforma energia termal em energia radiante para um máximo de taxa possível é denominado corpo negro. Um corpo negro é teoricamente um material que absorve toda a energia radiante que nele incide.

Em 1900 Max Planck publicou um artigo sobre as propriedades termais dos corpos negros (Short, 2003). Planck utilizou um modelo de corpo negro que consiste de uma esfera oca com temperatura de superfície uniforme.

Segundo Hook et al. (1999), a radiância espectral de um corpo negro a uma determinada temperatura T é dada pela função de Planck:

$$L_{\lambda} = \frac{C_1}{\lambda^5 \pi \left[ \exp \left( \frac{C_2}{\lambda T} \right) - 1 \right]} \quad (2)$$

Onde,  $L_{\lambda}$  é a radiância do corpo negro ( $Wm^{-3}$ ),  $\lambda$  é o comprimento de onda  $\mu(m)$ , T temperatura absoluta (K),  $C_1$  é a primeira constante de radiação =  $3.74151 \times 10^{-6}$  ( $Wm^2$ ), e  $C_2$  é a segunda constante de radiação =  $0.0143879$  ( $m \cdot K$ ).

Para um dado comprimento de onda, a quantidade de energia emitida atinge um máximo a uma dada temperatura do corpo negro, conforme a Lei dos Deslocamentos de Wien:

$$\lambda_m = \frac{C}{T} \quad (3)$$

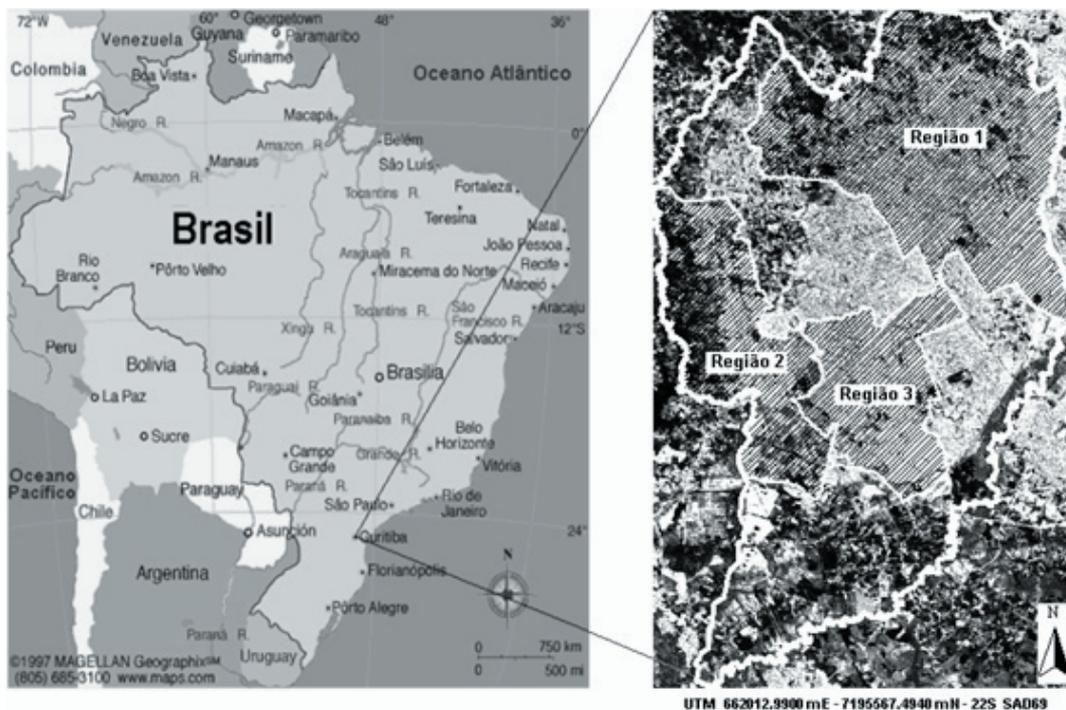
Onde,  $C = 2.898 \times 10^{-3} m \cdot K$  e T é a temperatura.

A maioria dos materiais não emite radiação como um corpo negro perfeito, emitem radiação de acordo com suas próprias características. A emissividade espectral ( $\epsilon_{\lambda}$ ) de um material é uma medida da habilidade de se emitir radiação comparada a de um corpo negro, e é definida pela taxa da radiância de um material sobre a de um corpo negro à mesma temperatura (Kealy e Hook, 1993); dada pela fórmula:

$$\epsilon_{\lambda} = \frac{L_{\lambda} \text{ (material)}}{L_{\lambda} \text{ (blackbody)}} \quad (4)$$

Para análise desses parâmetros, acima mencionados, inicialmente, foram propostos dois índices relativos, um relacionado à presença de vegetação ( $NDVI_R$ ) e outro relacionado à temperatura da superfície ( $DN_R$ ), partindo do pressuposto de que ambos seriam sensíveis às mudanças no uso do solo.

Tanto o índice  $NDVI_R$  como o  $DN_R$  foram propostos como uma alternativa para se contornar o efeito atmosférico e as dificuldades de correção atmosférica de imagens multitemporais em função da ausência de parâmetros para sua realização, principalmente em imagens mais antigas. Baseando-se nos resultados obtidos através do cálculo desses índices, procedeu-se a análise comparativa entre esses índices.



**Figura 1.** Localização das regiões de estudo dentro do município de Curitiba  
**Figure 1.** Localization of the study region in the Curitiba city

### Caracterização da área de Estudo

Curitiba, capital do Paraná, está situada na região sul do Brasil (Figura 1), com área total de 435,01 Km<sup>2</sup>. Possui um clima subtropical úmido com altitude média de 934,6m. A temperatura média anual é de 16,5°C, sendo a média do mês mais frio igual a 12,6°C e do mês mais quente igual a 20,1°C. A precipitação média anual corresponde a 1.413 mm/ano; as chuvas são bem distribuídas durante o ano com leve declínio no inverno, não apresentando déficit hídrico (IPEA, 2000).

Para o desenvolvimento deste estudo foram utilizadas imagens multiespectrais dos satélites Landsat-5 Thematic Mapper (órbita ponto 220.078, de 14 de Setembro de 1986 – resolução 30x30) e Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (órbita ponto 220.078, de 26 de Setembro de 1999 e 02 de Setembro de 2002; ambas resoluções 30x30); coordenada central UTM 662012.9900mE - 7195567.4940mN; zona 22S; Datum SAD 69/Brasil.

Para as imagens adquiridas, foram conduzidas análises exploratórias visando a detecção e/ou identificação da variabilidade dos padrões de vege-

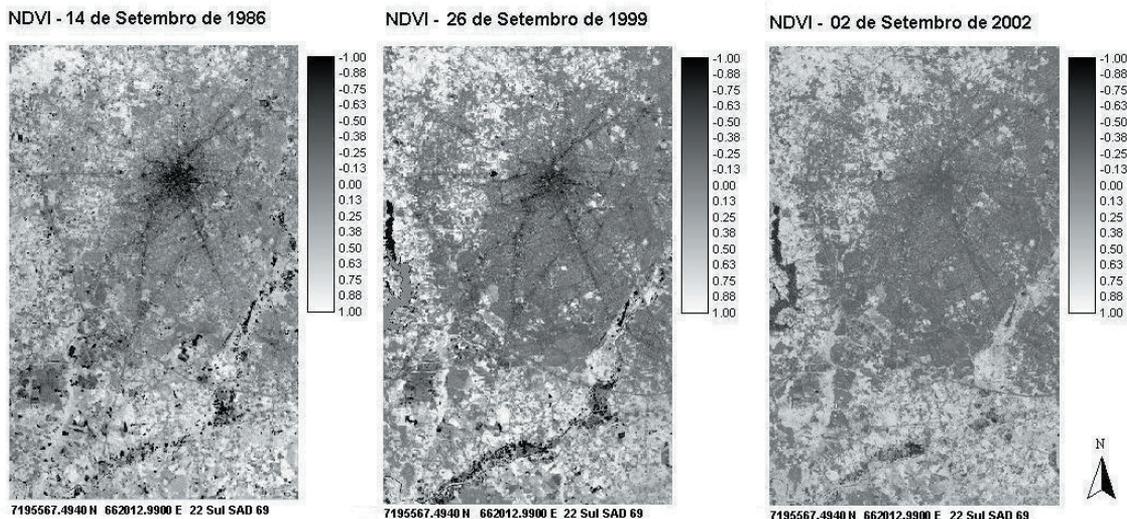
tação e urbanização ao longo dos anos. Assim sendo, três áreas de Curitiba foram selecionadas por meio da definição de critérios (Tabela 1) e denominadas de região R1, R2 e R3 (Figura 1).

**Tabela 1.** Critérios utilizados na definição das áreas de estudo

**Table 1.** Criteria utilized for definition of study areas

Áreas de Estudo	Critério
<b>Região 1</b>	Região da cidade onde existe um grande número de parques (grande concentração de parques urbanos)
<b>Região 2</b>	Região da cidade onde existe uma importante Área de Proteção Ambiental (APA do Passaúna)
<b>Região 3</b>	Região da cidade onde não existem áreas verdes significativas (completamente urbanizada)

O software ENVI 4.0 foi utilizado para a produção das imagens NDVI (altos valores do índice indicam maior presença de vegetação). Portanto, para cada data, uma imagem de NDVI foi produzida mostrando os valores entre -1 (em preto) denotando



**Figura 2.** Imagens NDVI (1986, 1999 e 2002)  
**Figure 2.** NDVI Images (1986, 1999, 2002)

a não-presença de vegetação e +1 (em branco) indicando a presença de vegetação (Figura 2).

Para o processamento do NDVI utilizou-se o algoritmo padrão onde são consideradas as bandas 3 e 4 do satélite Landsat, ou seja, as faixas do espectro eletromagnético correspondentes ao vermelho visível (V) e do infravermelho próximo (IVP), respectivamente.

### Obtenção do Índice Relativo NDVI<sub>R</sub>

Para a obtenção do Índice NDVI<sub>R</sub>, inicialmente foi calculado o NDVI médio de cada uma das regiões e do município, neste caso, considerando a superfície completa dessas áreas, ou seja, incluindo todos os usos existentes sem distinção de uma única vez.

Com a obtenção desses valores foi possível calcular um índice relativo NDVI<sub>R</sub> através da razão entre o NDVI médio de cada região sobre o NDVI médio do município (superfícies completas/totais). Este índice sintetiza as alterações nos padrões da cobertura vegetal dentro de cada região, permitindo a visualização das transformações ocorridas ao longo do tempo.

### Cálculo do Índice Relativo DN<sub>R</sub>

Para a obtenção dos valores de temperatura da superfície foram adquiridas imagens dos satélites Landsat-5 Thematic Mapper (banda 6, órbita ponto

220/078 – de 14 de setembro de 1986 – com resolução alterada de 120m (original) para 30m – coordenada central UTM 658412.9900mE - 7201237.4940mN) e Landsat-7 Enhanced Thematic Mapper Plus (banda 6, órbita ponto 220/078 de 26 de setembro de 1999 - coordenadas central UTM 604217.9900mE - 7230913.4940mN; e 02 de setembro de 2002 - coordenado central UTM 658424.9900mE - 7201216.4940mN; ambas resoluções 60x60; zona 22S; Datum SAD69/Brasil.

Observe que a banda 6 do satélite Landsat-5 Thematic Mapper não apresenta a resolução original 120x120m, uma vez que, não se trata da imagem bruta. Assim sendo, a imagem adquirida apresenta uma “degradação” na resolução de 120m para 30m devido a processamentos realizados que provocaram alterações na resolução original.

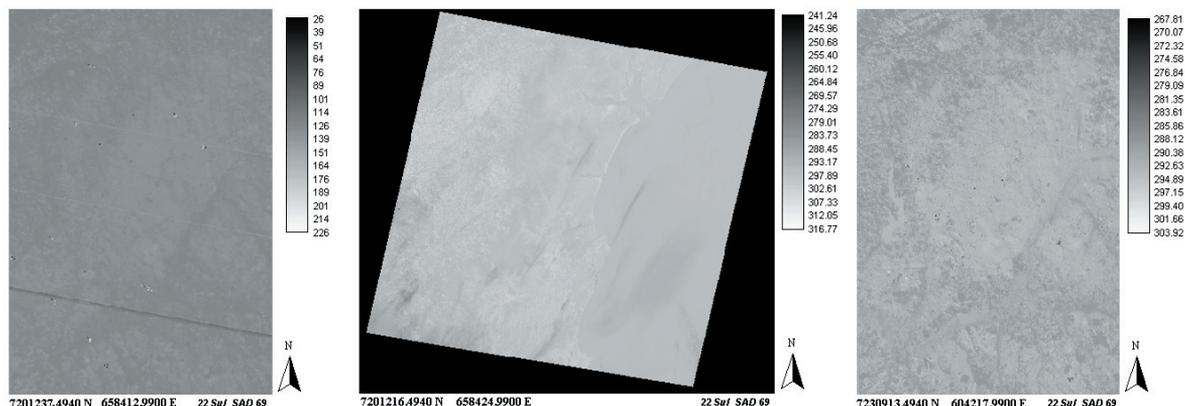
Foram solicitadas imagens referentes ao mesmo mês do ano, que permitissem comparações no mesmo período sazonal. Além disso, foram solicitadas imagens brutas (sem nenhum tipo de tratamento), para evitar possíveis interferências (originárias de processamentos externos desconhecidos) no cálculo e extração dos valores médios de temperatura.

Como não foi possível adquirir uma imagem bruta para o ano de 1986, optou-se por trabalhar com valores de DN (“digital number”) em todas as imagens. Na verdade, como os valores de temperatura variam em função dos valores de radiação obtidos por meio dos valores do DN,

DN-14 de setembro, 1986

TEMPERATURA - 26 de setembro, 1999

TEMPERATURA. 02 de setembro, 2002



**Figura 3.** Imagens termais do Landsat de 1986 (em DN); 1999 e 2002 (em temperatura K)  
**Figure3.** Thermal Landsat images from 1986 (DN); 1999 and 2002 (at K temperature)

admitiu-se que na medida que estes valores (de radiância e DN) variavam do mesmo modo, positiva ou negativamente, a temperatura (K) também estaria variando proporcionalmente e na mesma direção/sentido.

Para as imagens de 1999 e 2002 foi realizado um processamento preliminar no software ENVI 4.0 com o objetivo de se obter (e observar) os valores de temperatura da superfície (K), que serviram apenas como referência para os valores de DN. Para a realização desse procedimento foi necessária a calibração das imagens de satélite, convertendo os valores de DN (digital number) em valores de radiância considerando a função (5) e utilizando os dados do “published post-launch” com “gains and offsets” específicos que são acessados dentro do próprio ENVI 4.0.

A radiância espectral foi calculada a partir da

$$L_{\lambda} = LMIN_{\lambda} + \left( \frac{LMAX_{\lambda} - LMIN_{\lambda}}{QCAL\ MAX} \right) QCAL \quad (5)$$

Onde QCAL é a escala de radiância quantizada e calibrada em unidades de DN (digital number);  $LMIN_{\lambda}$  é a radiância espectral para  $QCAL = 0$ ;  $LMAX_{\lambda}$  é a radiância espectral para  $QCAL = QCALMAX$ ; e  $QCALMAX$  é a faixa da radiância re-escalada (redefinida) em valores de DN.  $LMIN_{\lambda}$  e  $LMAX_{\lambda}$  são derivados a partir de tabelas disponibilizadas no relatório técnico do Landsat (Landsat Technical Notes) de agosto de 1986 com a informação fornecida através dos parâmetros de calibração TM disponíveis no ENVI 4.0. Os resultados foram obtidos em milliwatts por centímetro quadrado por steradian por micrometro ( $mW/(cm^2 \cdot sr \cdot \mu m)$ ).

fórmula:

Como a emissividade da maioria dos materiais da superfície varia relativamente, pois os materiais emitem radiação diferentemente de acordo com suas características espectrais, o segundo passo foi a definição de um valor médio para a emissividade. O valor definido foi 0.96, que de acordo com testes realizados, representa uma média razoável para a grande variedade de materiais presentes em superfícies urbanas.

Com a definição do valor da emissividade, a imagem de temperatura da superfície foi calculada no software ENVI 4.0 usando a função de Planck.

A partir do entendimento geral da variação de temperatura (superfície) ao longo do tempo (Figura 3), partiu-se para o cálculo do DN médio de cada uma das regiões e do município, neste caso, considerando a superfície completa dessas áreas, ou seja, incluindo todos os usos existentes sem distinção de uma única vez.

Com base nos resultados obtidos em termos de valores médios de DN, foi realizado o cálculo do índice relativo  $DN_R$  para cada região, através da razão entre o DN médio de cada região sobre o DN médio do município (superfícies completas/totais). Posteriormente, os valores de  $DN_R$  foram comparados aos valores do índice relativo  $NDVI_R$ .

## Resultados e Discussão

De acordo com os resultados obtidos no

**Tabela 2.** Cálculo do índice NDVI e índice de vegetação relativo  $NDVI_R$

**Table 2.** NDVI index and relative vegetation index ( $NDVI_R$ )

Ano	Região	NDVI (região)	NDVI (município)	$NDVI_R$
1986	R1	0.054933701	0.100416802	0.55
	R2	0.096761703		0.96
	R3	0.0077371		0.08
1999	R1	0.0279985	0.063033298	0.44
	R2	0.098102503		1.56
	R3	-0.114895798		-1.82
2002	R1	0.019532195	0.0476395	0.41
	R2	0.071387596		1.50
	R3	-0.109937496		-2.31

Obs: NDVI (região) refere-se aos valores médios do NDVI dentro de cada região (superfícies totais/completas)

NDVI (município) refere-se ao NDVI médio da superfície total/ completa do município

**Tabela 3.** Cálculo do Índice Relativo  $DN_R$

**Table 3.** Relative index ( $DN_R$ )

Ano	Região	DN (área urbana total)	DN município	$DN_R$
1986	R1	135.8787	134.8042	1.0080
	R2	134.0963		0.9947
	R3	136.8758		1.0154
1999	R1	141.0052	139.5303	1.0106
	R2	138.3544		0.9916
	R3	143.2730		1.0268
2002	R1	115.5775	114.2705	1.0114
	R2	113.7396		0.9954
	R3	117.7179		1.0302

**Tabela 4.** Comparação dos valores dos índices relativos  $DN_R$  e  $NDVI_R$

**Table 4.** Comparison of the relative index  $DN_R$  and  $NDVI_R$

Ano	$DN_R$ R1	$NDVI_R$ R1	$DN_R$ R2	$NDVI_R$ R2	$DN_R$ R3	$NDVI_R$ R3
1986	1.0080	0.55	0.9947	0.96	1.0154	0.08
1999	1.0106	0.44	0.9916	1.56	1.0268	-1.82
2002	1.0114	0.41	0.9954	1.50	1.0302	-2.31

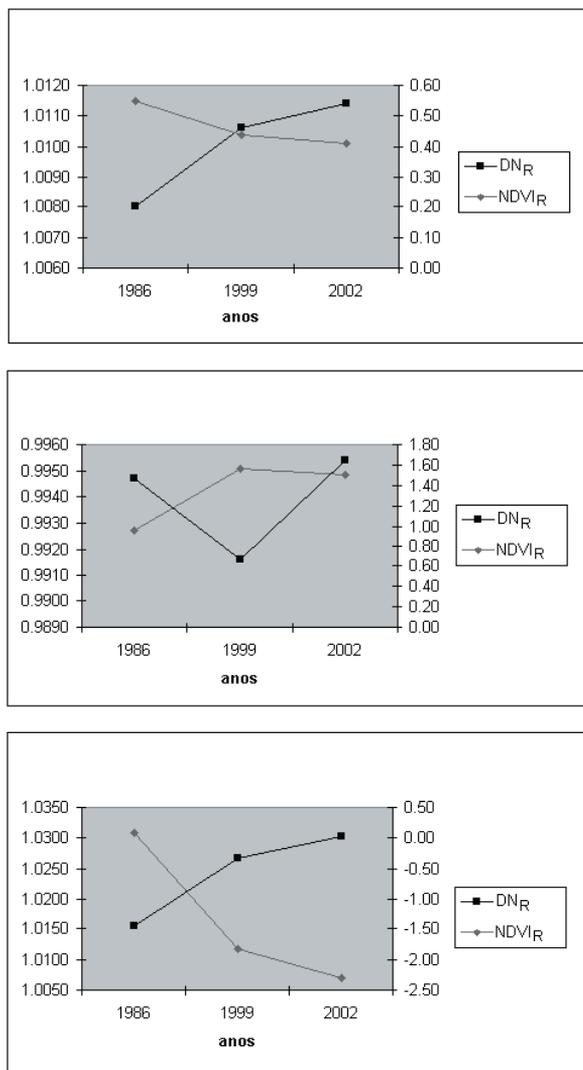
cálculo do Índice  $NDVI_R$  (Tabela 2), as três regiões apresentaram respostas diferenciadas ao longo do tempo, em relação ao índice de vegetação relativo, devido aos diferentes níveis de concentração urbana e vegetação.

Nota-se que nas regiões onde a extensão de área urbana é superior a de vegetação, os resultados foram cada vez menores e mais negativos, como se observa principalmente na região R3. Isso se deve

ao fato de que as áreas construídas têm uma curva de reflectância parecida com a do solo, o que faz com que existam valores mais altos de reflectância na faixa do vermelho, fazendo com que o índice seja negativo.

Na Tabela 3 apresentam-se os valores do índice relativo de temperatura  $DN_R$ .

Na Tabela 4 apresentam-se os resultados da comparação entre índices em cada região.



**Figura 4.** Comparação entre os índices DN<sub>R</sub> e NDVI<sub>R</sub>  
**Figure 4.** Comparison of the index DN<sub>R</sub> and NDVI<sub>R</sub>

Observa-se que na maioria dos casos os valores de DN<sub>R</sub> obtidos tendem a ser inversos, ou seja, contrários aos valores de NDVI<sub>R</sub>. Na medida que os valores de DN<sub>R</sub> aumentam, os valores de NDVI<sub>R</sub> diminuem e vice-versa (Figura 4).

Onde QCAL é a escala de radiancia quantizada e calibrada em unidades de DN (digital number);

Os valores do índice DN<sub>R</sub> obtidos para a região R1 revelaram um aumento de temperatura relativa ao longo dos anos. Essa região sofreu um processo de urbanização significativo. Com o passar dos

anos, a zona agrícola foi substituída por área urbana alterando as contribuições térmicas originais, uma vez que, materiais impermeáveis e com alta capacidade de armazenar calor foram sendo acrescentados na superfície.

A região R2 destaca-se pela presença da APA Estadual do Passaúna (1.445,33 ha). Nessa APA encontra-se uma represa situada na bacia do Passaúna. A presença da APA e da represa (combinação vegetação, água e solo) auxiliam na diminuição da temperatura do ar, absorvendo energia e favorecendo a manutenção dos ciclos biogeoquímicos, através da interação de processos geoquímicos e meteorológicos. Entretanto, alterações no uso do solo da região durante o período analisado (ocupações clandestinas e industrialização) provocaram alterações significativas nos valores dos índices relativos.

A região R3 caracteriza-se pelo aumento de áreas pavimentadas, pouca arborização, ausência de reservatórios de água. Essa ausência de vegetação e água propicia temperaturas de superfície mais elevadas, uma vez que, a capacidade térmica dos edifícios e da pavimentação é relativamente mais alta.

Em geral, observa-se que nas áreas onde a vegetação de alguma forma se torna mais presente, as temperaturas são relativamente mais frias, o que justificaria afirmar que existe uma tendência de que, quando o NDVI<sub>R</sub> aumenta, os valores de DN<sub>R</sub> diminuem e vice-versa. Assim sendo, áreas urbanas com vegetação tendem a ser relativamente mais frias, devido a influência da presença de vegetação, do que as áreas densamente urbanizadas ou com maior predominância de solo exposto e impermeabilizado.

A aplicação de testes estatísticos para confirmação dessas tendências não foi possível devido à necessidade de aquisição de um maior número de imagens com anos diferenciados e referentes ao mesmo período (setembro). Tal aquisição depende da passagem do satélite e das condições de imageamento (presença de nuvens, ruídos, etc.), que não foram satisfatórias.

## Conclusão

De modo geral, os resultados confirmaram a

evidência de que o processo de urbanização induz a mudanças significativas da superfície, neste caso, em particular, identificadas através das variações dos índices relativos em função das alterações nos níveis de concentração urbana e de vegetação.

Na maioria dos casos, a presença significativa de vegetação foi um fator determinante para obtenção de valores de  $NDVI_R$  expressivos. Os valores de  $DN_R$  identificados demonstraram uma variação no comportamento termal entre superfícies distintas do município. Observou-se que à medida que os níveis de concentração de vegetação e de área urbana aumentavam ou diminuam, os índices relativos  $NDVI_R$  e  $DN_R$  eram afetados em sentido contrário, apresentando tendência de correlação inversa e, portanto, confirmando o pressuposto de que ambos são sensíveis a mudanças relacionadas à vegetação e ao aumento de áreas construídas.

Conclui-se que, tais índices aplicados em regiões distintas de um município podem auxiliar no entendimento da evolução temporal do uso do solo, servindo como instrumento de avaliação das mudanças ocorridas no tecido urbano e de suas conseqüências em termos ambientais. Os impactos gerados pela supressão de vegetação são evidenciados através do aumento de temperatura relativa. O comportamento termal é um produto da morfologia urbana, ou mais especificamente, da composição e estrutura tridimensional dos materiais que constituem a cobertura urbana.

A partir dessa perspectiva, a caracterização da qualidade ambiental de áreas urbanas se torna especialmente importante, pois é influenciada por diversos fatores, tais como presença de vegetação, desmatamentos, solos degradados, ocupações desordenadas, entre outros. Desse modo, tentativas para monitorar essas diversas características, por meio de técnicas de sensoriamento remoto mais precisas, são extremamente necessárias para auxiliar a visualização desses aspectos junto aos processos de planejamento e sistemas de gestão.

## Referências Bibliográficas

ASRAR, G., MYNENI, R. B. & KANEMASU, E. T. Estimation of plant canopy attributes from spectral reflectance measurements, Chap. 7. In G. Asrar (Ed.), **Theory and applications of optical remote sensing**

(pp. 252–296). New York: Wiley, 1989.

BARET, F. & GUYOT, G. Potential and limits of vegetation indices for LAI and APAR assessment. **Remote Sensing of Environment**, V. 35, p. 161-173, 1991.

BAUSCH, W. C. Soil Background Effects on Reflectance-Based Crop Coefficients for Corn. **Remote Sensing Environmental**. V. 46, p. 213-222, 1993.

CARLSON, T.N, & ARTHUR, S.T. The impact of land use/land cover changes due to urbanization on surface microclimate and hydrology: A satellite perspective. **Global and Planetary Change**, V. 25, p. 49-65, 2000.

CARLSON, T.N. and SANCHEZ-AZOFEIFA, G.A.; Satellite Remote Sensing of Land Use Changes in around San José, Costa Rica. **Remote Sens. Environ.** Elsevier Science Inc. V. 70, p. 247-256, 1999.

CIHLAR, J., TCHEREDNICHENKO, I., LATIFOVIC, R., LI, Z. & CHEN, J. Impact of variable atmospheric water vapor content on AVHRR data corrections over land. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. V. 39, p. 173–180, 1997.

ELVIDGE, C. D.; CHEN, Z. Comparison of broadband and narrow-band red and near-infrared vegetation indices. **Remote Sensing of Environment**, V. 54, (1), p. 38-48, 1995.

GAO, X., HUETE, A. R., WENGE NI, TOMOAKI, M. Optical–Biophysical Relationships of Vegetation Spectra without Background. **Remote Sensing Environment**. 74:609–620 Elsevier Science Inc., New York, NY. 2000.

GREENHILL, D.R., RIPKE, L.T. HITCHMAN, A.P., JONES, G.A., WILKINSON, G.G. Characterization of Suburban Areas for Land Use Planning Using Landscape Ecological Indicators Derived from Ikonos-2 Multispectral Imagery. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. V. 41, (9), p. 2015-2021, 2003.

- HOOK, S. J., ABBOTT, E. A., GROVE, C., KAHLE, A. B., PALLUCONI, F. Use of Multispectral Thermal Infrared Data in Geological Studies. **Remote Sensing for the Earth Sciences: Manual of Remote Sensing**, 3 ed., V. 3, Chapter 2, p. 59-110, 1999.
- HUETE, A. & WARRICK, A. W. Assessment of Vegetation and Soil Water Regimes in Partial Canopies with Optical Remotely Sensed Data. **Remote Sensing Environmental**. V. 32, p. 155-167, 1990.
- KEALY, P. S. HOOK, S. J. Separating Temperature and Emissivity in Thermal Infrared Multispectral Scanner Data: Implications for Recovering Land Surface Temperatures. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, V. 31, (6), p.1155-1164, 1993.
- LIU, H. Q., HUETE, A. A Feedback Based Modification of the NDVI to Minimize Canopy Background and Atmospheric Noise. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**. V. 33 (2), 1995.
- MOREIRA, R. da C. **Influência do posicionamento e da largura de bandas de sensores remotos e dos efeitos atmosféricos na determinação de índices de vegetação**. 2000. Dissertação de Mestrado. INPE.
- PETERSON, D. L., ABER, J. D., MATSON, P. A., CARD, D. H., SWANBERG, N., WESSMAN, C. & SPANNER, M. Remote sensing of forest canopy and leaf biochemical contents. **Remote Sensing of Environment**, V. 24, 85– 108. 1988.
- ROMERO, M.A.B.; Caracterização do clima. **Princípios Bioclimáticos para o Desenho Urbano**. Ed. Projeto; 1997. 123p.
- SABINS, F.F. **Remote Sensing – Principles and Interpretation**. 3<sup>rd</sup> ed. W. H. Freeman and Company. New York. 1999. 494 p.
- SHORT, N. M. The Warm Earth – Thermal Remote Sensing. **Science Systems & Applications, Inc.**, NASA.GSFC. Section 9. US. Government Printing Office, 2003.
- SUITS, G.H. **The nature of electromagnetic Radiation**. In: manual of remote sensing. 2nd ed. American Society of Photogrammetry, Falls Church, Va, 1983.
- TARPLEY, J.D.; SCHNEIDER, S.R.; MONEY, R.L. Global Vegetation Indices from the NOAA-7 Meteorological Satellite. **Journal of Applied Meteorology**. V. 23, p. 491-494, 1984.
- TOWNSHEND, J. R. G., JUSTICE, C., LI, W., GURNEY, C., MCMANUS, J. Global land cover classification by remote sensing: present capabilities and future possibilities. **Remote Sensing of Environment**. V. 35, p. 243–256, 1991.
- TOWNSHEND, J. R. G.; JUSTICE, C. O.; SKOLE, D.; The 1 km resolution global data set: needs of the International Geosphere Biosphere Programme. **International Journal of Remote Sensing**. V. 15, p. 3417-3441, 1994.
- TUCKER, C. J., TOWNSHEND, J. R. G., & GOFF, T. E. African land-cover classification using satellite data. **Science**, V. 227, p. 369–375, 1985.
- WHITFORD, V.; ENNOS, A.R.; HANDLEY, J.F. City form and natural process – indicators for the ecological performance of urban areas and their application to Merseyside, UK. **Landscape and Urban Planning**. V. 57, p. 91-103, 2001.