PKS

PUBLIC
KNOWLEDGE
PROJECT

REVISTA DE
GEOGRAFIA

Programa de Pós-Graduação em Geografia da UFPE

OJS

OPEN
JOURNAL
SYSTEMS

<https://periodicos.ufpe.br/revistas/revistageografia>

ANÁLISE DO ÍNDICE DE VEGETAÇÃO POR DIFERENÇA NORMALIZADA (NDVI) NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DO CEDRO, MUNICÍPIO DE PRESIDENTE PRUDENTE, SP, BRASIL

Marcel Bordin Galvão Dias¹

¹Doutorando do Programa de Pós-Graduação em Geografia da Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Unesp), campus de Presidente Prudente (SP). E-mail: mbgdias@gmail.com.

Artigo recebido em 25/09/2018 e aceito em 25/12/2019

RESUMO

A utilização do sensoriamento remoto como ferramenta para a obtenção de informações ambientais tem crescido nas últimas décadas, atrelada a melhorias nas técnicas e procedimentos adotados, que permitem a obtenção de resultados cada vez mais próximos da realidade. Neste contexto, o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (Normalized Difference Vegetation Index - NDVI) trouxe importantes contribuições aos estudos ambientais, em especial, aos estudos sobre a vegetação e sua degradação pelas atividades antrópicas em áreas rurais e urbanas. O presente estudo buscou aplicar o referido índice na bacia hidrográfica do córrego do Cedro, situada no município de Presidente Prudente (SP), utilizando como recorte temporal os anos de 1997 e 2017. Para a identificação das transformações ocorridas na vegetação da referida área de estudo, o NDVI foi calculado utilizando imagens do sensor TM/Landsat-5 para o ano de 1997, e do sensor OLI/Landsat-8 para o ano de 2017. Os resultados obtidos atestam a redução da área vegetada na referida bacia, atrelada à expansão das áreas destinadas à urbanização e às atividades agropecuárias.

Palavras-chave: sensoriamento remoto; NDVI; córrego do Cedro; Presidente Prudente.

ANALYSIS OF THE NORMALIZED DIFFERENCE VEGETATION INDEX (NDVI) IN THE HYDROGRAPHIC BASIN OF THE CEDRO STREAM, MUNICIPALITY OF PRESIDENTE PRUDENTE, SP, BRAZIL

ABSTRACT

The use of remote sensing as a tool to obtain environmental information has grown in recent decades, together with improvements in the techniques and procedures adopted, allowing results to be obtained which are ever closer to reality. In this context, the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) has provided important contributions to environmental studies, especially studies on vegetation and its degradation through anthropic activities in rural and urban areas. The present study aimed to apply this index in the hydrographic basin of the Cedro stream, located in the municipality of Presidente Prudente (SP), using as a time frame the years 1997 and 2017. For identification of transformations occurred in vegetation of referred study area, the NDVI was calculated using TM/Landsat-5 sensor images for the year 1997 and the OLI/Landsat-8 sensor for the year 2017. The obtained results evidence the reduction in vegetated area in the studied basin, linked to the expansion of areas destined for urbanization and agricultural activities.

Keywords: remote sensing; NDVI; Cedro stream; Presidente Prudente.

INTRODUÇÃO

Historicamente, as civilizações humanas assentaram-se nas proximidades dos cursos d'água, utilizados para o abastecimento e o desenvolvimento das atividades agrícolas. Com o advento das cidades, as bacias hidrográficas situadas em áreas urbanas ou em suas proximidades passaram por inúmeras intervenções, no intuito de atender as demandas da crescente população urbana.

No caso brasileiro, o rápido crescimento dos aglomerados urbanos nas décadas de 1970-80 promoveu a ocupação de áreas ambientalmente vulneráveis e alterações na dinâmica e morfologia dos canais fluviais. A inobservância das especificidades do meio físico no processo de uso e ocupação da terra resultou em impactos ambientais diversos, com destaque para a degradação da vegetação, a intensificação dos processos erosivos e o consequente assoreamento dos canais de drenagem.

Com a urbanização, o desmatamento e a ocupação das áreas verdes se intensificaram. A substituição da vegetação por áreas urbanizadas causou mudanças diversas no ambiente, como alterações no clima local, através da geração de ilhas de calor, por exemplo; diminuição das taxas de infiltração e respectivo aumento do escoamento superficial das águas, além da redução significativa da biodiversidade.

Nesse contexto, a análise da densidade da cobertura vegetal, assim como sua espacialidade, torna-se fundamental em estudos voltados à análise da degradação ambiental, gestão e planejamento dos recursos naturais, compreensão dos processos hidrológicos, diagnóstico do dinamismo dos espaços urbano e agrário, entre outras finalidades, principalmente quando se utiliza a bacia hidrográfica como unidade espacial de análise (MELO, 2008).

Para esta análise, a utilização de índices de vegetação tem colaborado na obtenção de informações sobre a referida temática, tornando viável a avaliação temporal das transformações ocorridas na superfície terrestre.

Um dos instrumentos mais utilizados para a detecção destas transformações é o sensoriamento remoto, importante veículo para a obtenção de informações para o mapeamento do uso e cobertura da terra, visto que é possível adquirir dados de regiões remotas. Além disso, propicia traçar um panorama de uso e cobertura da terra em outros recortes temporais para a compilação de informações que possam auxiliar no entendimento da dinâmica das paisagens e na elaboração de cenários futuros (LANG; BLASCHKE, 2009).

Em se tratando da análise da cobertura vegetal, destaca-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (IVDN ou NDVI, em inglês) proposto inicialmente por Rouse et al. (1973). Este índice permite identificar a presença de vegetação verde e caracterizar sua distribuição espacial, como também sua evolução no decorrer do tempo.

O NDVI é calculado a partir de valores de refletância das bandas referentes ao espectro do vermelho e infravermelho próximo. A depender do sensor utilizado no imageamento, as bandas referentes a estes espectros podem variar. De acordo com Novo (2010), à medida que aumenta a quantidade de vegetação verde, aumenta a reflexão na banda do infravermelho próximo e diminui a reflexão na banda do vermelho, fazendo com que o aumento da razão seja potencializado, realçando assim a vegetação.

O presente trabalho se propõe a realizar uma avaliação espaço-temporal da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do Cedro, localizada no município de Presidente Prudente (SP), a partir da obtenção do NDVI para os anos de 1997 e 2017, associada à análise das transformações no uso e cobertura da terra ocorridas na área de estudo.

A escolha desta bacia para estudo e aplicação do procedimento deveu-se ao fato desta ter se constituído como área de expansão urbana do município, sobretudo a partir dos anos de 1980-90 e, por isso, apresentar significativas transformações no uso e cobertura da terra, em especial, a redução da área vegetada considerando o aumento da área urbanizada e a expansão das atividades agropecuárias.

As informações e os produtos cartográficos representativos dos aspectos ambientais descritos a seguir foram extraídos de Dibieso (2007).

ÁREA DE ESTUDO

A bacia hidrográfica do córrego do Cedro (Figura 1) localiza-se na porção sul do município de Presidente Prudente (SP), entre as latitudes 22° 07' 58" S e 22° 13' 33" S e longitude 51° 22' 15" W e 51° 28' 56" W.

Figura 1. Mapa de localização da bacia do córrego do Cedro, município de Presidente Prudente (SP)

Elaboração: do autor

A bacia conta com uma área total de 40,36 km² e integra a rede de drenagem do rio Santo Anastácio. Suas nascentes localizam-se na porção sul-sudeste do município, a uma altitude aproximada de 440 metros, seguindo a direção E-SW, até desaguar na represa de abastecimento público da SABESP¹. A bacia foi classificada, de acordo com a proposta de Strahler (1956), como de 4^a ordem. Possui padrão predominantemente dendrítico, com densidade hidrográfica de 3,89 segmentos de canais fluviais por km² e densidade de drenagem de 2,14 km de canais por km². O córrego do Botafogo é o seu principal afluente, localizado em sua margem direita. O canal, de acordo com o Decreto Estadual 10.755/77, é classificado como classe 2.

Em relação aos aspectos ambientais, o córrego do Cedro está, geologicamente, situado nos domínios do Grupo Bauru, cujas origens remontam ao Cretáceo Superior. Tal grupo compreende as formações Marília, Adamantina, Caiuá e Santo Anastácio. Na área de estudo encontram-se os arenitos da formação Adamantina (Ka), constituída por depósitos fluviais, com a presença de siltitos de matriz arenosa e argilosa. Os arenitos, de granulação fina a muito fina, encontram-se dispostos em bancos pouco espessos, com cimentação carbonática e ocorrências pontuais de nódulos carbonáticos. Encontram-se ainda, nos vales do córrego do Cedro,

¹ Companhia de Saneamento Básico do Estado de São Paulo

depósitos de sedimentos aluvionares, constituídos de areias esbranquiçadas, com granulometria variando de muito fina à média (IPT, 1981a).

Quanto à geomorfologia, a bacia está inserida nos domínios do Planalto Ocidental Paulista (Figura 2). Segundo Ross e Moroz (1996), esta morfoescultura apresenta, no geral, relevo levemente ondulado, com predomínio de colinas amplas e baixas com topos aplainados. Na área de estudo, encontram-se interflúvios em colinas onduladas, com a presença de alguns espigões residuais, vertentes curtas, entre 100 e 250 metros, com formas convexo-retilíneo-côncavas e declividades entre 8 e 20% (CARVALHO, 1997). Nos fundos de vale nota-se a ocorrência de relevo aplainado, constituindo as planícies e terraços aluvionares, nos quais se encaixam os canais afluentes e subafluentes do córrego do Cedro.

Dibieso (2007) corrobora a descrição morfológica elaborada pelo IPT (1981b) e por Ross e Moroz (1996) a respeito das feições típicas do Planalto Ocidental Paulista. As áreas com menores declividades localizam-se nas porções oeste e sul da bacia, enquanto as maiores declividades encontram-se no setor leste, no qual estão localizadas as principais nascentes do córrego do Cedro.

Figura 2. Mapa de unidades geológicas e geomorfológicas da bacia hidrográfica do córrego do Cedro

Fonte: Dibieso (2007)

A área de estudo localiza-se nos domínios do clima tropical, numa área de transição climática, sofrendo a atuação da maioria dos sistemas atmosféricos presentes na América do Sul. Os sistemas tropicais lhe conferem elevadas temperaturas de primavera e verão, enquanto os sistemas extratropicais ocasionam episódios de invasão das frentes frias e do ar polar no

A vegetação nativa (Floresta Estacional Semidecidual) deu lugar às atividades urbanas e agropecuárias, restando apenas 4,78% de cobertura vegetal original, localizada nas áreas de maior declividade (>20%) e nas proximidades dos cursos d'água (Figura 4).

Desta forma, há na bacia uma relação “simbiótica” entre a vegetação nativa e as áreas de ruptura do relevo, pois a vegetação nativa protege as áreas de ruptura do relevo dos processos erosivos, e a alta declividade do local inviabiliza a supressão da vegetação para a utilização antrópica dessas áreas (DIBIESO, 2007, p. 69).

Figura 4. Mapa com vegetação nativa remanescente e áreas com declividade superior a 20% na bacia hidrográfica do córrego do Cedro

Fonte: Dibieso (2007)

A Floresta Estacional Semidecidual é caracterizada por espécies arbóreas, endêmicas, com alta diversidade e dossel em torno de 20 metros. Conforme IBGE (2012, p. 93),

O conceito ecológico deste tipo florestal é estabelecido em função da ocorrência de clima estacional que determina semideciduidade da folhagem da cobertura florestal. Na zona tropical, associa-se à região marcada por acentuada seca hiberna e por intensas chuvas de verão; na zona subtropical, correlaciona-se a clima sem período seco, porém com inverno bastante frio (temperaturas médias mensais inferiores a 15°C), que determina repouso fisiológico e queda parcial da folhagem.

Apresenta quatro formações: Aluvial, Terras Baixas, Submontana e Montana, estabelecidas de acordo com as faixas altimétricas de ocorrência. A figura 5, a seguir, contém o perfil esquemático da Floresta Estacional Semidecidual.

Figura 5. Perfil esquemático da Floresta Estacional Semidecidual

Autores: Veloso, Rangel Filho e Lima (1991)

Fonte: IBGE (2012)

O uso e ocupação da terra na bacia hidrográfica do córrego do Cedro caracterizam-se pela presença majoritária das atividades agropecuárias e da área urbanizada. Vale ressaltar que as atividades agropecuárias são desenvolvidas em pequenas propriedades, localizadas nas imediações da área urbanizada, do aeroporto e das principais vias de acesso que interceptam a bacia (rodovias Raposo Tavares (SP-270) e Assis Chateaubriand (SP-425)).

As maiores propriedades situam-se nas proximidades da represa de abastecimento da SABESP, localizada na confluência entre os córregos do Cedro e Cedrinho. As principais atividades agrícolas desenvolvidas na área são o plantio do milho e da cana-de-açúcar, utilizados na alimentação do rebanho bovino. O relevo suavemente aplainado favorece os cultivos mecanizados e a urbanização.

A área urbanizada concentra-se na porção norte da bacia. A partir dos anos de 1980/90, a cidade intensifica sua expansão em direção à porção sul, onde se localiza a bacia do córrego do Cedro. Diversos loteamentos e empreendimentos imobiliários foram construídos a partir de então, caso do Jardim Rio 400, Jardim Alto da Boa Vista, Residencial Damha I, Conjuntos Habitacionais Ana Jacinta e Mário Amato e Jardim Prudentino, com padrões construtivos diversificados.

PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

Para o cálculo do NDVI deve-se utilizar a seguinte equação:

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{NIR} + \text{R})$$

Onde:

NIR é a refletância no comprimento de onda correspondente ao infravermelho próximo (0,76 a 0,90 μm).

R é a refletância no comprimento de onda correspondente ao vermelho (0,63 a 0,69 μm).

A vegetação é caracterizada por uma intensa absorção, devido à clorofila, na região do vermelho (0,63 – 0,69 μm) e por uma intensa energia refletida na região do infravermelho próximo (0,76 – 0,90 μm), causada pela estrutura celular das folhas. A figura 6, a seguir, traz a refletância dos materiais em função do comprimento de onda.

Figura 6. Curva espectral da refletância em função do comprimento de onda

Fonte: Ramos (2016)

O índice assume valores entre -1 e 1, sendo que a vegetação possui valores positivos e corpos d'água e áreas úmidas, valores negativos. Isso se deve ao fato da água, por exemplo, ter uma refletância menor no infravermelho próximo do que no vermelho, resultando em um NDVI negativo. Superfícies não vegetadas (solo exposto) possuem valores de refletância semelhantes

no infravermelho próximo e no vermelho, resultando em um NDVI em torno de zero. Para superfícies em que a refletância no vermelho é menor que no infravermelho próximo, caso das superfícies vegetadas, o NDVI é positivo.

Para realizar o cálculo do NDVI na área de estudo para os anos de 1997 e 2017, foram selecionadas imagens dos sensores TM/Landsat-5 e OLI/Landsat-8, adquiridas gratuitamente no Catálogo de Imagens do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE). Os dados da série Landsat são adequados a este tipo de estudo, uma vez que possuem resolução espacial e temporal compatível com a análise das mudanças no uso e cobertura da terra.

As imagens do satélite Landsat 5, sensor TM (*Thematic Mapper*), órbita/ponto 222/75, com resolução espacial de 30 m, de 02 de março de 1997, foram utilizadas para o cálculo do NDVI no ano de 1997. O referido sensor opera com 7 bandas nas regiões do visível, infravermelho próximo, médio e termal. As bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 possuem 30 metros de resolução e a banda 6 possui 120 metros, que corresponde à banda do termal. A resolução temporal do satélite é de 16 dias, ou seja, a cada 16 dias este imageia a mesma órbita/ponto, que corresponde a uma área de abrangência de 185 x 185 km. Conforme exposto anteriormente, o NDVI é calculado a partir de valores de refletância das bandas referentes ao espectro do vermelho e ao infravermelho próximo. No caso do sensor TM, estas bandas são respectivamente as de número 3 e 4.

Para o cálculo do NDVI do ano de 2017, foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8, sensor OLI (*Operational Land Imager*), órbita/ponto 222/75, com resolução espacial de 30 m, de 09 de março de 2017. O referido sensor possui 9 bandas, com resoluções de 30 metros nas bandas de 1 a 7 e 9, e resolução de 15 metros na banda 8 (pancromática). Também possui um ciclo de 16 dias, com capacidade de imagear uma área de 185 x 185 km. Para a obtenção do NDVI foram utilizadas as bandas 4 e 5.

Utilizaram-se imagens obtidas no mesmo período nos anos escolhidos para análise, de modo que fosse possível compará-las em uma mesma estação do ano, a fim de que fatores determinantes à resposta espectral da imagem estivessem em patamares equivalentes como, por exemplo, o ciclo anual da vegetação e o das chuvas.

As imagens foram georreferenciadas na projeção UTM, Zona 22 Sul e datum SIRGAS 2000 e posteriormente recortadas pelo limite da área de estudo. O georreferenciamento e confecção dos mapas finais foram realizados no ArcGis^{®2} 10.4.1.

² Marca registrada ESRI.

Antes do cálculo do NDVI, as imagens TM-Landsat 5 foram submetidas à correção radiométrica. A correção radiométrica é necessária porque a habilidade de detectar mudanças no ambiente terrestre depende das informações dos sensores e, em casos de detecção de mudanças, as medidas precisam ser calibradas, tornando-se consistentes para as análises temporais (ROSAN, 2015).

Neste procedimento, os números digitais (*Digital Numbers*, em inglês) das bandas selecionadas são convertidos em radiância (L_λ). Para isto, é necessário o cálculo da radiância espectral, procedimento realizado a partir da equação proposta por Chander, Markham e Helder (2009), onde os dados de uma imagem em números digitais brutos (DN) são convertidos para números digitais calibrados (Q_{cal}), com significado físico.

$$L_\lambda = \left(\frac{LMAX_\lambda - LMIN_\lambda}{Q_{calmax} - Q_{calmin}} \right) (Q_{cal} - Q_{calmin}) + LMIN_\lambda$$

Onde:

L_λ = radiância espectral no sensor [$W / (m^2 \text{ sr } \mu m)$].

Q_{cal} = radiância calibrada e escalonada para o intervalo 0 a 255, em unidades de número digital.

Q_{calmin} = Valor mínimo calibrado correspondente ao valor do pixel para $LMIN_\lambda$ (DN).

Q_{calmax} = Valor máximo calibrado correspondente ao valor do pixel para $LMAX_\lambda$ (DN).

$LMIN_\lambda$ = Radiância espectral no sensor que é dimensionado para Q_{calmin} [$W / (m^2 \text{ sr } \mu m)$].

$LMAX_\lambda$ = Radiância espectral no sensor que é dimensionado para Q_{calmax} [$W / (m^2 \text{ sr } \mu m)$].

Já para as imagens OLI-Landsat 8, o procedimento foi realizado utilizando os valores extraídos do arquivo de informações disponibilizado junto com as imagens. A equação para a conversão dos números digitais para radiância foi disponibilizada pelo Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, em inglês). Este procedimento foi realizado utilizando-se o software ENVI^{®3}5.2.

$$L_\lambda = M_L \cdot Q_{cal} + A_L$$

Onde:

L_λ = radiância espectral no sensor [$W / (m^2 \text{ sr } \mu m)$].

³ Marca registrada SulSoft.

M_L = fator multiplicativo de cada banda.

Q_{cal} = número digital de cada pixel.

A_L = fator aditivo de cada banda.

Na sequência, as imagens foram submetidas à correção atmosférica utilizando-se o software ENVI® 5.2 e o algoritmo FLAASH de correção atmosférica. Este procedimento é importante para a geração do NDVI, para que não haja interferência da atmosfera nos valores do índice.

Realizadas as correções (radiométrica e atmosférica), procedeu-se a geração do NDVI, também no ENVI® 5.2. A partir da radiância espectral, calcula-se a refletância aparente da superfície. Com os valores de refletância aparente, calcula-se o NDVI por meio da equação $NDVI = (NIR - R) / (NIR + R)$, descrita anteriormente.

Para complementar a análise do NDVI na área de estudo, foram elaborados os mapas de uso e cobertura da terra para os anos de 1997 e 2017. As imagens foram classificadas utilizando o classificador SVM (*Support Vector Machines*), com as seguintes classes: 1. Solo exposto; 2. Vegetação; 3. Agropecuária; 4. Área urbana. Após a classificação, as imagens foram submetidas a uma edição matricial para correção de erros inerentes ao classificador, uma vez que as classes “solo exposto” e “área urbana” apresentaram certa confusão espectral. O layout final foi elaborado no ArcGis® 10.4.1.

Os mapas do NDVI e de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Cedro para os anos de 1997 e 2017, serão apresentados a seguir.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

A partir da realização dos procedimentos anteriormente descritos, obtiveram-se os mapas temáticos representativos do NDVI para os anos eleitos nesta amostragem (Figuras 7 e 8).

Figura 7. Mapa do NDVI na bacia hidrográfica do Cedro no ano de 1997

Elaboração: do autor

Figura 8. Mapa do NDVI na bacia hidrográfica do Cedro no ano de 2017

Elaboração: do autor

Para subsidiar as análises a respeito das transformações no NDVI no intervalo entre uma amostragem e outra, foram elaborados os mapas temáticos de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Cedro (Figuras 9 e 10).

Figura 9. Mapa de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Cedro no ano de 1997

Elaboração: do autor

Figura 10. Mapa de uso e cobertura da terra na bacia hidrográfica do Cedro no ano de 2017

Elaboração: do autor

A análise comparativa evidencia as intensas transformações no uso e cobertura da terra na área de estudo, em especial, a expansão da área urbanizada. Conforme aponta Dibieso (2007), a bacia serviu como área de expansão urbana do município, iniciada na década de 1950 e intensificada nas décadas posteriores com a instalação de novos bairros. Destacam-se neste contexto a Vila Nova Prudente, implantada no período de 1953-1967; o Parque Higienópolis, no período de 1967-1982; os Jardins Rio 400 e Alto da Boa Vista, o Residencial Damha I e Conjuntos Habitacionais Ana Jacinta e Mário Amato, no período de 1982-1998; e partir de 2002, o Residencial Século XXI, Jardim Prudentino e Residenciais Golden Village e Quinta das Flores.

A expansão urbana na área foi facilitada pelas condições de relevo, com declividades pouco acentuadas, iniciando-se a partir dos espigões divisores de água. Tal expansão resultou na redução da área vegetada na bacia, em especial no seu setor norte, considerando a criação dos novos loteamentos e a limpeza dos terrenos para edificação. Este fato é evidenciado ao comparar-se o NDVI no ano de 1997 com a segunda amostragem, realizada 20 anos depois. As áreas com valores positivos, indicativos da maior densidade da cobertura vegetal, foram reduzidas, dando lugar a valores próximos ou inferiores a zero, indicativos da menor densidade ou ausência da cobertura vegetal.

As atividades agropecuárias se expandiram no intervalo amostrado, o que também contribuiu para a redução da área com vegetação nativa. Segundo Dibieso (2007), as principais atividades rurais na bacia estão relacionadas à pecuária, sendo que mais de 70% da área é ocupada por pastagens e menos de 3% pelos cultivos agrícolas. Dentre os cultivos, destacam-se o milho e a cana. Vale ressaltar que as áreas cultivadas e as pastagens têm comportamentos espectrais diferenciados, considerando-se parâmetros biofísicos como a área foliar, biomassa e porcentagem de cobertura do solo, variáveis em função da sazonalidade climática e fenológica. Tais parâmetros interferem na refletância e, por sua vez, no NDVI.

Apesar da intensa expansão urbana nas últimas décadas, a área urbanizada equivale a menos de 20% da área total da bacia, o que não a tornou imune aos impactos decorrentes deste processo, tais como a concentração dos fluxos de escoamento superficial devido à impermeabilização do solo, o que desencadeia e acelera os processos erosivos lineares (Figura 11); e a degradação dos canais de drenagem pelo assoreamento (Figura 12) e lançamento inadequado de resíduos sólidos urbanos.

Figuras 11 e 12. Processo erosivo linear (A); e assoreamento do canal por material remobilizado pelos fluxos de escoamento superficial concentrado (B) na bacia do córrego do Cedro

Fonte: acervo pessoal do autor

Ainda em relação à área urbanizada, vale destacar a heterogeneidade de padrões construtivos entre os loteamentos/empreendimentos existentes na bacia. Esta heterogeneidade manifesta-se, por exemplo, no tamanho e disposição dos lotes, na área construída/impermeabilizada dos terrenos, no total de áreas verdes existentes em meio à área urbana e nos materiais construtivos utilizados, aspectos estes que repercutem na qualidade ambiental urbana, podendo gerar desconfortos ou amenidades, percebidos de maneira distinta pelos indivíduos que ocupam esses espaços urbanizados.

CONSIDERAÇÕES FINAIS

O sensoriamento remoto constitui uma importante ferramenta para a análise de processos na superfície terrestre, pois permite a obtenção de dados e informações em diferentes recortes temporais e espaciais. Tal fato possibilita o monitoramento e acompanhamento da evolução destes processos, seja para fins de planejamento ambiental ou mitigação de impactos.

A partir das técnicas e produtos do sensoriamento remoto é possível desenvolver estratégias de atuação relacionadas à apropriação dos recursos naturais, ao uso das terras e as intervenções antrópicas no meio físico, com vistas à redução de impactos que levam à degradação ambiental manifestada de diversas formas, como a erosão acelerada dos solos, o assoreamento dos corpos d'água superficiais, a contaminação dos reservatórios subterrâneos, a poluição atmosférica, dentre outros.

O uso de ferramentas do sensoriamento remoto, especificamente o NDVI, mostrou-se bastante eficiente para a avaliação espaço-temporal da cobertura vegetal na bacia hidrográfica do córrego do Cedro. O índice pode ser utilizado como parâmetro indicador de mudanças nos

padrões de uso e cobertura da terra, tornando-se importante instrumento para o planejamento e tomada de decisões quanto às análises e avaliação de impactos ambientais, como aqueles provenientes do desmatamento, da perda de biodiversidade e degradação dos recursos naturais, processos estes desencadeados pela produção do espaço a partir da transformação da natureza.

Do mesmo modo, os mapas temáticos gerados com os resultados do NDVI podem ser utilizados para subsidiar análises espaciais que viabilizem o monitoramento, diagnóstico e planejamento ambiental por parte do poder público, com a vantagem de ser um método de baixo custo em relação a outros disponíveis, considerando a gratuidade no acesso às imagens Landsat. Dessa maneira, é possível elaborar um material consistente para análise ambiental, onde os índices de cobertura vegetal podem ser importantes indicativos da preservação ou degradação ambiental da área estudada.

REFERÊNCIAS

BRASIL. Ministério do Planejamento, Orçamento e Gestão. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Manual Técnico da Vegetação Brasileira**. 2. ed. rev. e ampl. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

CARVALHO, W. A. (Coord.). Levantamento semidetalhado dos solos da bacia do rio Santo Anastácio-SP. Boletim Científico, Presidente Prudente, n. 2, 1997.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; 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, n. 5, p. 893-903, 2009.

BARRIOS, N. A. Z., SANT'ANNA NETO, J. L. A circulação atmosférica no extremo oeste paulista. Boletim climatológico, Presidente Prudente, v.1, n.1, p. 8-9, 1996.

DIBIESO, E. P. **Planejamento Ambiental da Bacia Hidrográfica do Córrego do Cedro – Presidente Prudente/SP**. 2007. 171 f. Dissertação (Mestrado em Geografia) - Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

LANG, S.; BLASCHKE, T. **Análise da Paisagem com SIG**. Tradução de Hermann Kux. São Paulo: Oficina de Textos, 2009.

MELO, E. T. **Diagnóstico físico-conservacionista da microbacia hidrográfica do riacho dos Cavalos – Crateús – CE**. 2008. Dissertação (Mestrado em Desenvolvimento e Meio Ambiente) – Programa de Pós-Graduação em Desenvolvimento e Meio Ambiente, Universidade Federal do Ceará, Fortaleza.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento Remoto: Princípios e Aplicações**. 4. ed. rev. São Paulo: Blucher, 2010.

RAMOS, M. F. **Estudo da variação temporal do Índice de Vegetação por Diferença Normalizada em Juiz de Fora a partir de imagens de satélite**. 2016. 41 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Engenharia Ambiental e Sanitária) – Faculdade de Engenharia, Universidade Federal de Juiz de Fora, Juiz de Fora.

ROSAN, T. M. **Deteção de mudanças de uso e cobertura da terra na Amazônia mato-grossense: um estudo de caso de Cláudia – MT**. 2015. 73 f. Trabalho de conclusão de curso (Graduação em Geografia) – Faculdade de Ciências e Tecnologia, Universidade Estadual Paulista, Presidente Prudente.

ROUSE, J. W. et al. **Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS**. In: EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE SYMPOSIUM, 3. , 1973. Proceedings. Washington, 1973, v.1, Sec. A, p. 309-317.

ROSS, J. L. S.; MOROZ, I. C. Mapa Geomorfológico do estado de São Paulo. Rev. do Departamento de Geografia, São Paulo, n. 10, p. 41-58, 1996.

SANT'ANNA NETO, J. L.; TOMMASELLI, J. T. G. **O tempo e o clima de Presidente Prudente**. Presidente Prudente: FCT/UNESP, 2009.

SÃO PAULO (Estado). Decreto n. 10.755, de 22 de nov. de 1977. **Dispõe sobre o enquadramento dos corpos de água receptores na classificação prevista no Decreto nº 8.468, de 8 de setembro de 1976, e dá providências correlatas**. São Paulo, SP, nov. 1977.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Divisão de Minas e Geologia Aplicada. **Mapa geológico do estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981a. Escala 1:500.000.

SÃO PAULO (Estado). Secretaria de Desenvolvimento Econômico, Ciência, Tecnologia e Inovação. Instituto de Pesquisas Tecnológicas. Divisão de Minas e Geologia Aplicada. **Mapa geomorfológico do estado de São Paulo**. São Paulo: IPT, 1981b. Escala 1:1.000.000.

STRAHLER, A. N. Quantitative slope analysis. Geological Society of America Bulletin, Boulder, n. 67, p. 571-596, 1956.