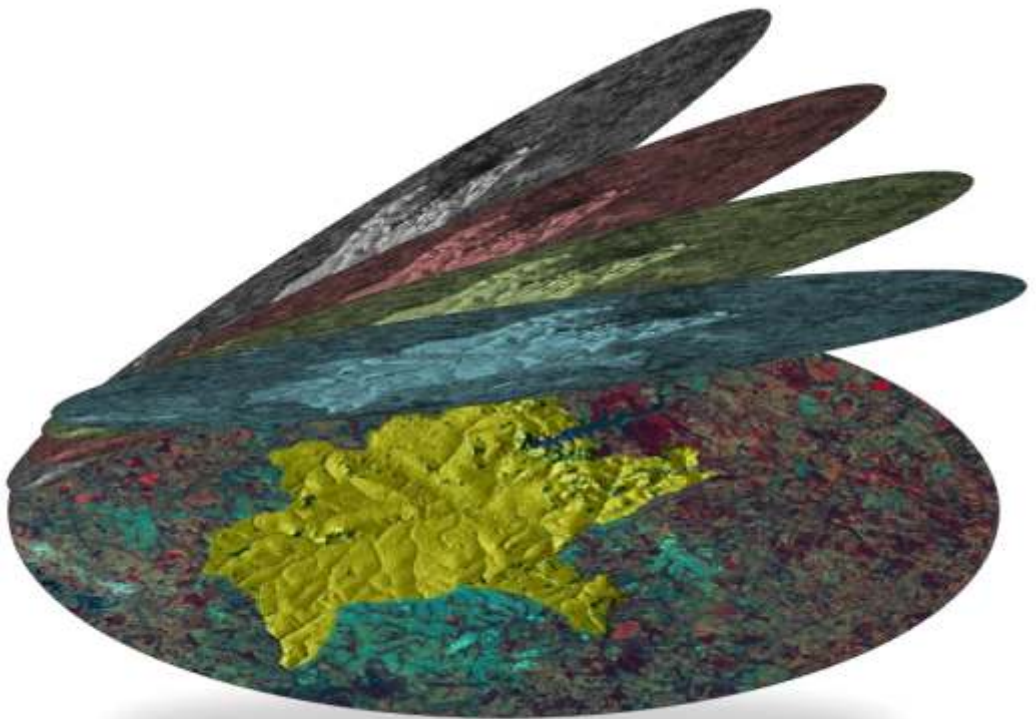


Metodologia de Monitoramento de Cobertura Vegetal – Estudo de Caso no Município de Goiânia, GO



*Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
Embrapa Gestão Territorial
Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento*

Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento 1

Metodologia de Monitoramento de Cobertura Vegetal – Estudo de Caso no Município de Goiânia, GO

*Paulo Roberto Rodrigues Martinho
Wilson Anderson Holler
Beatriz Barbi de Oliveira Santos
Claudio Aparecido Spadotto
Sâmara Rachel da Silva Trajano
Jaudete Daltio
Natália Santos Fois*

Embrapa Gestão Territorial
Campinas, SP
2012

Exemplares desta publicação podem ser adquiridos na:

Embrapa Gestão Territorial

Av. Soldado Passarinho, 303, Fazenda Chapadão

CEP 13070-115 Campinas, SP, Brasil

Fone: + 55 (19) 3211-6200

www.sgte.embrapa.br

sac.sgte@embrapa.br

Comitê de Publicações da Embrapa Gestão Territorial

Presidente: *Mirian Therezinha Souza da Eira*

Secretária-Executiva: *Rosângela Galon Arruda*

Membros: *Alba Chiesse da Silva*

Helena Sicoli

Ivan Sérgio Freire de Sousa

Eliane Gonçalves Gomes Assunta

Rosana Hoffman Câmara

Chang das Estrelas Wilches

Marita Féres Cardilo

Otávio Valentim Balsadi

Jeane de Oliveira Dantas

Supervisão editorial: *Erika do Carmo
Lima Ferreira*

Revisão de texto: *Jane Baptostone de
Araújo*

Normalização bibliográfica: *Sabrina Déde
Degaut Pontes*

Editoração eletrônica: *Carlos Eduardo
Felice Barbeiro*

Ilustrações da capa e do documento:
*Paulo Roberto Rodrigues Martinho e
Wilson Anderson Holler*

1ª edição

On-line (2012)

Todos os direitos reservados

A reprodução não-autorizada desta publicação, no todo ou em parte, constitui violação dos direitos autorais (Lei no 9.610).

Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP)

Embrapa Gestão Territorial

Metodologia de Monitoramento de Cobertura Vegetal - estudo de caso:

Município de Goiânia, GO / Paulo Roberto Rodrigues Martinho
[et al.]. Campinas, SP: Embrapa, 2012.

38 p.: il. – (Boletim de Pesquisa e Desenvolvimento / Embrapa
Gestão Territorial, ISSN 2317-8779 ; 1)

1. Sensoriamento remoto 2. Correção atmosférica 3. Índice de ve-
getação I. Martinho, Paulo Roberto Rodrigues. II. Holler, Wilson Ander-
son. III. Santos, Beatriz Barbi de Oliveira. IV. Spadotto, Cláudio Apare-
cido. V. Trajano, Sâmara Rachel da Silva. VI. Daltio, Jaudete. VII. Fois,
Natalia Santos. VIII. Embrapa Gestão Territorial. IX. Série.

CDD 621.3678

© Embrapa 2012

Sumário

Resumo	5
Abstract	7
Introdução	8
Premissas.....	10
Objetivo	13
Metodologia	13
Processo de Análise.....	18
Estudo de Caso	21
Conclusões	31
Referências	35

Metodologia de Monitoramento de Cobertura Vegetal – Estudo de caso no Município de Goiânia, GO

Paulo Roberto Rodrigues Martinho¹

Wilson Anderson Holler²

Beatriz Barbi de Oliveira Santos³

Claudio Aparecido Spadotto⁴

Sâmara Rachel da Silva Trajano⁵

Jaudete Daltio⁶

Natália Santos Fois⁷

Resumo

Este trabalho apresenta uma proposta para a análise da variação da cobertura vegetal, utilizando dados de acesso público. Os procedimentos de análise multitemporal propostos foram aplicados no município de Goiânia, GO, como estudo de caso. Aplicou-se o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), obtido a partir de imagens Landsat-5, em três anos de referência: 1997, 2004, 2011. Consideraram-se três classes de cobertura: “corpos d’água”, “vegetação” e “outros usos”. Foram utilizadas técnicas de

¹ Engenheiro-agrônomo, mestre em Agricultura Tropical e Subtropical, analista da Embrapa Gestão Territorial, Campinas, SP. E-mail: paulo.martinho@embrapa.br.

² Engenheiro-cartógrafo, especialista em Geoprocessamento, analista da Embrapa Gestão Territorial, Campinas, SP. E-mail: wilson.holler@embrapa.br.

³ Graduada em Geografia, estagiária na Embrapa Gestão Territorial, Campinas, SP. E-mail: beatriz.santos@colaborador.embrapa.br

⁴ Engenheiro-agrônomo, PhD em Agronomia, pesquisador da Embrapa Gestão Territorial, Campinas, SP. E-mail: claudio.spadotto@embrapa.br.

⁵ Geógrafa, mestre em Manejo de Solo e Água, analista da Embrapa Gestão Territorial, Campinas, SP. E-mail: samara.trajano@embrapa.br.

⁶ Graduada em Ciência da computação, mestre em Ciência da Computação, analista da Embrapa Gestão Territorial, Campinas, SP. E-mail: jaudete.daltio@embrapa.br.

⁷ Tecnóloga em Processamento de Dados, mestre em Engenharia Civil – Sistemas Computacionais, analista da Embrapa Gestão Territorial, Campinas, SP. E-mail: natalia.fois@embrapa.br.

processamento digital de imagens, visando à correção de erros gerados pela influência da atmosfera e à obtenção de uma melhor qualidade espectral dos alvos. Para esse fim, o modelo adotado foi o *dark object subtraction* (DOS). O resultado mostrou-se satisfatório, considerando-se a disponibilidade dos dados e suas limitações.

Palavras-chave: sensoriamento remoto, correção atmosférica, índice de vegetação, dinâmica de cobertura do solo.

Methodology for Monitoring Vegetation Cover – Case Study in Goiânia, GO

Abstract

This paper presents a proposal for analyzing the variation of vegetation cover using publicly available data. The proposed multitemporal analysis procedures were applied in Goiania, GO, as case study. We applied the Index Normalized Difference Vegetation (NDVI) obtained from Landsat-5 in three reference years: 1997, 2004, and 2011 and considered the three classes of coverage: bodies of water, vegetation and other uses. Techniques were used digital image processing to processing to correct errors generated by the influence of the atmosphere and get better spectral quality targets. To this end, the model used was dark object subtraction (DOS). The result proved satisfactory considering the availability of data and its limitations.

Index terms: remote sensing, atmospheric correction, vegetation index, soil cover dynamics.

Introdução

Em áreas urbanizadas (ambientes construídos urbanos e intraurbanos), as áreas de cobertura vegetal constituem um importante indicador de qualidade ambiental. Essas áreas garantem regiões permeáveis, reduzem a poluição atmosférica, contribuem para a regularização do microclima urbano, aumentam a circulação do ar, retêm até 70% da poeira em suspensão e, se bem projetadas, constituem espaços de lazer (PARANAGUÁ et al., 2003).

Em grandes municípios, o processo de urbanização provoca constantes alterações nas áreas verdes e do meio rural, processo esse que vem ocorrendo com maior celeridade nas últimas décadas. Diante dessa dinâmica, o uso de geotecnologias, convertidas em ferramentas de sistematização de informação e conhecimento, pode subsidiar o planejamento, implantação e monitoramento dessas áreas, auxiliando e aumentando a eficiência da gestão territorial.

A facilidade de acesso a informações provenientes do processamento de imagens orbitais permite o monitoramento de áreas de vegetação de forma eficiente e com custo reduzido, por meio do sensoriamento remoto (MAS, 1999). Os processos mais comumente aplicados nesse tipo de monitoramento são a classificação de imagens e as análises espaciais.

Para minimizar erros nesses processos e tornar os dados mais apropriados para classificações, as informações obtidas por meio de imagens orbitais necessitam de correções provenientes da influência de atmosfera (ZULLO JUNIOR, 1994), pois a presença da atmosfera entre o satélite e a superfície da Terra causa diminuição do contraste entre superfícies adjacentes e alteração do brilho de cada ponto da imagem. Existem diversos modelos para esse procedimento de correção, cada um com suas vantagens e limitações (ANDRADE et al., 2010). Neste trabalho, foi utilizado o modelo *dark object subtraction (DOS)*, proposto por Chavez Junior (1988; 1989). É um modelo simples que corrige o

espalhamento atmosférico e estima a interferência atmosférica a partir dos números digitais (ND) das imagens (ANDRADE et al., 2010).

Após a aplicação dessas correções, as análises em sensoriamento remoto são melhoradas e facilitadas por meio da geração de diversos índices. Índices de vegetação discriminam melhor as áreas verdes (áreas com vegetação fotossinteticamente ativa). Um dos mais difundidos e comumente utilizados é o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), definido por Rouse et al. (1974) e usado neste trabalho.

O objetivo desse trabalho é apresentar a análise da variação da cobertura vegetal no município de Goiânia nos últimos 15 anos. Optou-se por utilizar Goiânia como estudo de caso em razão de sua importância econômica, visto que é capital do Estado de Goiás, com componente urbano bem desenvolvido e com dimensões geográficas que caracterizam também sua importância na atividade agrícola. Diferentemente, por exemplo, de municípios como São Paulo e Curitiba (entre outros), que são quase que exclusivamente urbanos.

Para a análise da variação da cobertura vegetal, foram utilizadas imagens Landsat-5 dos anos de 1997, 2004 e 2011, priorizando os períodos de estiagem, para minimizar a influência da presença de nuvens. Essas imagens de acesso público estão disponíveis no portal da Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe).

Esse documento contém a seguinte organização: inicialmente, expõem-se as premissas e métricas utilizadas como embasamento teórico neste trabalho. Em sequência, apresenta-se a metodologia e os procedimentos aplicados no desenvolvimento do trabalho. Posteriormente, incluem-se os resultados obtidos com a classificação das imagens e as variações percentuais de cobertura vegetal nos períodos analisados. Finalmente, abordam-se as considerações finais com uma discussão sobre a relevância dos resultados obtidos.

Premissas

Este trabalho considera algumas premissas como verdadeiras para chegar ao resultado final apresentado.

Índices de vegetação são bons indicadores para discriminar áreas verdes (áreas com vegetação fotossinteticamente ativa). Um dos mais difundidos e comumente utilizados é o índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI), definido por Rouse et al. (1974) e usado neste trabalho. Os valores do NDVI variam de -1 a +1. Em superfícies cobertas por vegetação, esses valores são sempre positivos; enquanto em nuvens e em espelhos d'água, os valores são geralmente negativos. Quanto mais próximo de 1, maior a densidade da cobertura vegetal, ou seja, ela se apresenta em seu estágio denso, úmida e bem desenvolvida. Gradativamente esse valor diminui em uma vegetação menos densa (rala e esparsa), que apresenta valores positivos, mas não muito elevados. Assim, quando são atribuídos valores limítrofes ao NDVI, deve-se considerar a variação na biomassa verde da vegetação presente na imagem e a data de aquisição dessas imagens, especialmente se essas épocas se diferenciam em relação aos anos chuvosos e secos. Dessa forma, variações na determinação das áreas ocupadas por vegetação podem estar associadas à dinâmica sazonal e podem ser atribuídas às condições climáticas, especificamente em relação aos índices pluviométricos dos anos de interesse e antecedentes à tomada das imagens. A sazonalidade climática influencia a fenologia da vegetação (HUXMAN et al., 2004) com períodos de maior produtividade vegetal e brotação de folhas, quando são registrados maiores valores do índice de vegetação NDVI (estação chuvosa), e períodos de menor produtividade e senescência de folhas, com valores baixos de NDVI (estação seca).

Trabalhos publicados por Barbosa (1998), Barbosa et al. (2006) e Barbosa e Silva Junior (2010) associam o uso do NDVI à precipitação na paisagem semiárida brasileira. Esses autores concluíram ainda que há um intervalo de tempo entre a época chuvosa e o acúmulo de biomassa verde, com uma defasagem temporal de pelo menos um mês em relação à precipitação, ou seja, a precipitação de um mês relaciona-se melhor

com o NDVI do próprio mês. Essa defasagem deve ser ampliada para dois meses, quando considerada a disponibilidade de água no solo e não apenas a precipitação. Dessa forma, as variações das chuvas e as condições limitantes do solo refletem nas características fisionômicas da vegetação. Portanto, a análise dos dados de precipitação e temperatura referente a 60 dias antes da tomada das imagens se faz necessária para estudos sobre a variação temporal da cobertura vegetal, de forma que seja possível descrever as variações nos índices de vegetação em função das diferentes condições climáticas encontradas o longo dos anos.

O método de correção atmosférica adotado neste trabalho foi o *dark object subtraction* (DOS), proposto por Chavez Junior (1988, 1989). Trata-se de um modelo simples que corrige o espalhamento atmosférico e estima a interferência atmosférica a partir dos números digitais (ND) das imagens (ANDRADE et al., 2010). O método considera somente o fenômeno de espalhamento da atmosfera, desprezando completamente o de absorção e ainda assume que a influência atmosférica é homogênea para toda a cena (imagem de satélite).

Os resultados dos valores do NDVI, para uma mesma cena (imagem de satélite) e data de aquisição de dados, podem variar de acordo com a resolução espacial, espectral e radiométrica do sensor com o qual se está trabalhando, pois a pureza espectral ou a composição do pixel é afetada. Outro fator que influencia o resultado é a ocorrência de sombras, tanto de nuvem, como do próprio relevo em relação à angulação solar na hora da tomada da imagem. Satélites artificiais de imageamento, denominados passivos, dependem de uma fonte de iluminação externa, proveniente do sol, para captar e gerar imagens da superfície terrestre. Dessa forma, áreas com relevo acidentado (ex.: Serra do Mar e Município de São Paulo) terão maior ocorrência de sombra do lado oposto à incidência do sol. A sombra também depende do ângulo de elevação solar na época em que a imagem foi captada pelo sensor (Figura 1). Com isso, essas áreas apresentam tonalidades escuras na imagem, o que dificulta a caracterização dos alvos na superfície terrestre. Como a incidência de luz é muito baixa

em áreas sombreadas, pouca energia refletida chegará aos sensores do satélite (MOREIRA, 2001). Essas sombras provocadas pelo próprio relevo, e considerando ainda a presença de nuvens, geraram dados inconsistentes em relação à resposta espectral dos alvos identificados como “vegetação” e “outros usos”.

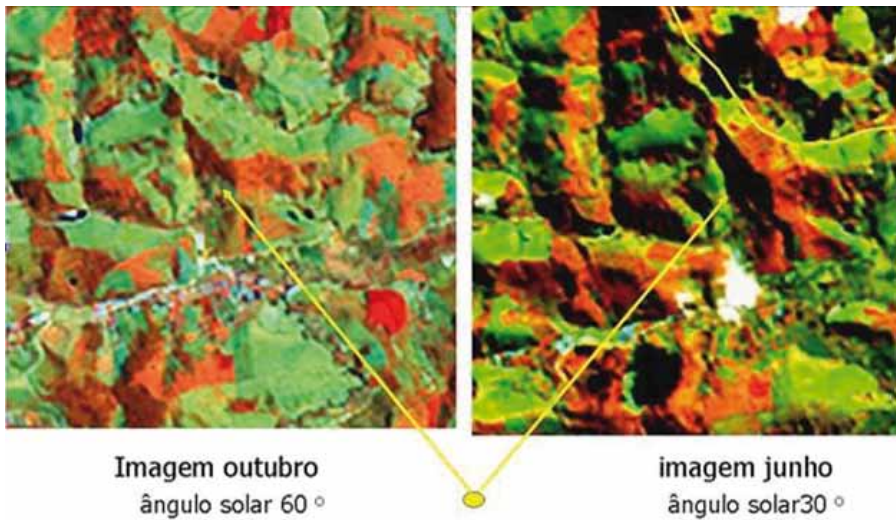


Figura 1. Imagens TM/Landsat-5 da Zona da Mata de Minas Gerais obtidas em junho e em outubro de 2007, que mostram o efeito de sombreamento do relevo causado pelo ângulo de elevação solar.

Fonte: Moreira et al. (2010).

A área total encontrada para o município neste trabalho difere em 1% do dado oficial. Essa diferença ocorre em razão do formato de arquivo utilizado (raster), que, em virtude da resolução espacial, apresenta pequenas variações para cálculo de área em relação ao formato vetorial. Outro fator que deve ser levado em consideração é o processo de conversão de coordenadas e de registro das imagens, que também influenciou nessa diferença.

Objetivo

Utilizar dados de acesso público para analisar e quantificar as variações nas áreas de vegetação no Município de Goiânia, por meio do processamento de imagens Landsat-5, considerando três anos de referência: 1997, 2004 e 2011.

Metodologia

Aquisição das Imagens

Foram utilizadas imagens orbitais do sensor thematic mapper (TM), a bordo do satélite Landsat-5, disponibilizadas pela Divisão de Geração de Imagens (DGI) do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (Inpe¹). Esse sensor opera em sete bandas, e cada banda representa uma faixa do espectro eletromagnético. No estudo, as bandas 1, 2, 3 e 4 foram consideradas para compor a visualização RGB e para o uso de índice de vegetação, aplicado na diferença entre os valores das bandas 3 e 4, como forma de obter o mapa de NDVI.

Foram escolhidas as imagens com datas de referência de passagens em 1997, 2004 e 2011 (Tabela 1), com fator de cobertura de nuvem igual a zero. Historicamente, esses períodos registram, em média, os menores índices pluviométricos.

Tabela 1. Datas de aquisição das imagens para Goiânia.

Município	Cena	Data		
Goiânia	222/71	24/7/1997	27/7/2004	28/5/2011
	222/72	24/7/1997	27/7/2004	28/5/2011

¹ Disponível em: <www.dgi.inpe.br>

Para compor todo o Município de Goiânia, foi necessária a composição (mosaico) de duas cenas de imagens de satélite por data. As cenas 222/71 ocupam a porção norte do município e as cenas 222/72, a porção sul.

Registro das Imagens

Registro é uma transformação geométrica que relaciona as coordenadas da imagem (linha e coluna) com coordenadas de imagem de um mapa ou uma imagem de satélite, devidamente georreferenciados. Essa transformação minimiza distorções de sobreposição existentes nas imagens.

O modelo matemático utilizado para o registro geométrico das imagens foi o polinomial de terceira ordem, e o interpolador para a reamostragem foi o de convolução cúbica com pontos de controle extraídos da rede hidrográfica, malha rodoviária e divisão administrativa (municípios), todos disponibilizados pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) nas escalas 1:25.000 e 1:50.000, além de dados auxiliares provenientes do *OpenStreetMap* (OSM). O sistema de referência utilizado foi o SAD69, e o sistema de projeção foi o UTM, fuso 22S.

Correção Atmosférica

A atmosfera é uma das principais fontes de degradação que altera radiometricamente e por completo uma imagem de satélite, cuja intensidade de efeitos depende do comprimento de onda, da data de imageamento e da trajetória da radiação. Normalmente, os efeitos dessa degradação são sempre o de diminuir o contraste entre os alvos presentes na imagem. Inúmeros trabalhos analisaram e demonstraram os efeitos da influência da atmosfera em aplicações de imagens de satélite. Zullo Junior e Bezerra (1993) e Zullo Junior (1994) demonstraram, comparativamente, a influência exercida pela atmosfera no NDVI, indicando que os valores dos índices obtidos com imagens corrigidas resultaram em imagens mais contrastantes, e isso auxiliou a interpretação dos resultados.

Operações matemáticas visando à correção atmosférica das imagens são viáveis para inúmeras aplicações que pretendam realizar comparações entre diferentes sensores ou entre imagens obtidas em datas distintas. Essa proposta utiliza o modelo *Dark Object Subtraction* (DOS), que consiste em um modelo simples que corrige o espalhamento atmosférico e estima a interferência atmosférica a partir dos números digitais (ND) das imagens (ANDRADE et al., 2010). Para calcular essa interferência, a metodologia proposta por Chavez Junior (1989) necessita do histograma de frequência de números digitais de uma das bandas da imagem, a fim de encontrar o nível digital mais baixo em que há resposta espectral.

Esse método parte do princípio de que os alvos escuros existentes na imagem, em geral sombras de nuvens, ou ocasionados pela própria topografia, deveriam apresentar um número digital muito baixo na imagem. Entretanto, o valor encontrado é geralmente muito superior em razão de dois fatores principais: o ruído do próprio sensor (mesmo quando não está recebendo radiação, retorna um sinal como resposta); e o espalhamento atmosférico, que exerce maior interferência nos comprimentos de onda mais curtos, e pode ser corrigido, entre outras formas, pelo método DOS. Detalhes sobre o método DOS podem ser encontrados em Chavez Junior (1988, 1989, 1996), Pax Lenney et al. (2001) e Song et al. (2001). A correção atmosférica é feita primeiramente pelo cálculo da radiação e depois da reflectância. Os valores de referência para cálculo da radiação e da reflectância para cada banda do sensor TM/Landsat-5 estão na Tabela 2.

A radiação de cada banda é obtida segundo a equação:

$$L_{\lambda} = \left(\frac{Lmax_{\lambda} - Lmix_{\lambda}}{Qcalmax - Qcalmin} \right) (Qcal - Qcalmin) + Lmix_{\lambda},$$

em que:

L_{λ} = radiação espectral calculada ao nível do sensor (W/m^2 sr μm).

$Lmax_{\lambda}$ = valor de referência para radiação máxima (W/m^2 sr μm).

$Lmin_{\lambda}$ = valor de referência para radiação mínima (W/m^2 sr μm).

Q_{cal} = valor de intensidade do pixel (NC).

Q_{calmax} = valor de intensidade máxima do pixel (igual a 255 em bandas TM/LandSat-5).

Q_{calmin} = valor de intensidade mínima do pixel (igual a 1 em bandas TM/LandSat-5).

Tabela 2. Valores de referência para cálculo da radiância e da reflectância para cada banda do sensor TM/Landsat-5.

Bandas	De 1/3/1984 a 4/5/2003		Esun (até 4/5/2003)	Após 4/5/2003		Esun (após 4/5/2003)
	Lmin _λ	Lmax _λ		Lmin _λ	Lmax _λ	
	W/m ² sr μm	W/m ² sr μm	W/m ² sr μm	W/m ² sr μm	W/m ² sr μm	
1	-1,52	152	1957	-1,52	193	1983
2	-2,84	296,81	1826	-2,84	365	1796
3	-1,17	204,3	1554	-1,17	264	1536
4	-1,51	206,2	1036	-1,51	221	1031
5	-0,37	27,19	215	-0,37	30,2	220
6	1,2378	15,303	-	1,2378	15,303	-
7	-0,15	14,38	80,67	-0,15	16,5	83,44

Fonte: adaptado de Chander e Markhan (2003) e Chander et al.(2009).

A reflectância de superfície de cada banda é obtida pela equação:

$$P_{\lambda} = \frac{\pi \cdot L_{\lambda} \cdot d^2}{Esun_{\lambda} \cdot Cos\theta_s}$$

em que:

P_{λ} = reflectância de superfície (adimensional).

π = constante matemática, igual a 3,14159 (adimensional).

L_{λ} = radiância espectral calculada ao nível do sensor (W/m² sr μm).

d^2 = distância Terra-Sol (unidades astronômicas).

E_{sun_λ} = valor médio da irradiância solar exoatmosféricas ($W/m^2 \mu m$).

$Cos\theta_s$ = ângulo zenital solar (graus).

Índice de Vegetação

O desenvolvimento do sensoriamento remoto tem se orientado na procura de relações funcionais entre as informações espectrais obtidas dos satélites e os parâmetros biológicos representativos do estado real dos dosséis vegetais.

Guyot e Seguin (1988), analisando dados fornecidos pelas diferentes bandas espectrais dos satélites, observaram que 90% das informações sobre cobertura vegetal estão contidas nos canais vermelho, que compreendem o comprimento de onda na faixa entre $0,65 \mu m$ e $0,70 \mu m$, e infravermelho próximo (de $0,70 \mu m$ a $1,3 \mu m$). Na faixa espectral do vermelho, há alta absorção de energia solar devido à presença da clorofila e isso ocasiona baixa reflectância. Por sua vez, na faixa do infravermelho próximo, essa absorção é baixa e resulta em alta reflectância. Portanto, quanto maior o contraste, maior é o vigor da vegetação na área imageada e a combinação dessas duas faixas espectrais realçam as áreas de vegetação nas imagens. Os índices de vegetação baseiam-se nesse princípio (LOURENÇO; LANDIM, 2004). Um dos índices mais comumente utilizados é o NDVI, que foi definido por Rouse et al. (1974), e correlaciona o estado da vegetação à atividade fotossintética. Esse índice é usado para identificar a presença de vegetação fotossinteticamente ativa na superfície, o que permite caracterizar sua distribuição espacial, bem como a evolução do seu estado ao longo do tempo, a qual é determinada pelas variações das condições climáticas dominantes e pelos ciclos fenológicos anuais (FOLHES, 2007). Especificamente em estudos de áreas urbanas, o NDVI tem sido muito aplicado a partir de imagens da série Landsat, como nos trabalhos de Affonso et al. (2005), Gallo e Tarpley (1996), Jardim-Lima e Nelson (2003), Nichol (1996) e Wilson et al. (2003).

A partir do resultado obtido da operação algébrica que calculou a reflectância de superfície das bandas do vermelho e infravermelho próximo, obtém-se o NDVI, definido como:

$$NDVI = \frac{\rho_{\lambda_{ivp}} - \rho_{\lambda_v}}{\rho_{\lambda_{ivp}} + \rho_{\lambda_v}},$$

em que:

$NDVI$ = índice de vegetação por diferença normalizada.

$\rho_{\lambda_{ivp}}$ = reflectância de superfície para canal infravermelho próximo.

ρ_{λ_v} = reflectância de superfície para canal vermelho.

Os valores do NDVI variam de -1 a +1. Em superfícies vegetadas, esses valores são sempre positivos e em nuvens e espelhos d'água, os valores são geralmente negativos.

Processo de Análise

A realização da correção atmosférica foi facilitada a partir da adição de um conjunto de funções no ArcToolbox do ArcGIS 10. Esse conjunto, quando adicionado ao ArcToolbox, recebe o título de Normalização de Imagem Landsat, desenvolvido por Pereira (2011), a partir de scripts escritos em Python². A utilização dessa ferramenta permite converter imagens orbitais, a partir dos valores de nível de cinza (NC), para radiância espectral ao nível do sensor, e posterior transformação para reflectância de superfície com base no método de subtração por pixel escuro (DOS). A vantagem da aplicação desse método está no fato de não exigir informações relacionadas às condições atmosféricas no momento de coleta da cena. Outras informações sobre o DOS podem ser encontradas em Chander et al. (2009). Após o processo de normalização das imagens, gerou-se o NDVI para os anos de referência

² Disponível em: <<http://bit.ly/liDMQN>>

(1997, 2004 e 2011). Os dados auxiliares usados foram obtidos do IBGE, do Instituto Nacional de Meteorologia (Inmet), do *OpenStreetMap* (OSM), do Google Earth e da Wikimapia. O OSM e o Wikimapia são projetos colaborativos de mapeamento, os quais, junto com os dados do IBGE, auxiliaram no registro das imagens utilizadas. Dados auxiliares foram utilizados na validação, apenas comparativamente.

Nesta proposta, optou-se por escolher uma quantidade mínima de classes/agrupamentos para representação e comparação. Dessa forma, definiu-se apenas três classes, quais sejam: a) área com vegetação fotossinteticamente ativa, identificada como “vegetação”; b) cursos d’água, rios, represas, identificados como “corpos d’água”; c) o restante está representado como “outros usos”, e compreende, principalmente, áreas urbanas, solos expostos e áreas rurais.

De maneira geral, valores abaixo de zero identificam a classe “corpos d’água”. Em cenas com vegetação, o NDVI varia de 0,1 a 0,6. Os valores mais altos são associados ao maior vigor e à densidade da cobertura vegetal (LOURENÇO; LANDIM, 2004). Segundo Ponzoni e Shimabukuro (2007), o limite superior pode aproximar-se de 0,80, o que, de acordo com Silva et al. (2007), está associado à vegetação vigorosa. Cada classe foi definida por intervalos de valores do NDVI. Podem ocorrer pequenas variações nesses intervalos de acordo com as características de sazonalidade no momento da tomada das imagens.

O limite de corte entre as classes a partir do NDVI gerado foi feito visualmente e comparativamente à combinação RGB das bandas 1, 2, 3 e 4 e aos dados auxiliares. A simplicidade utilizada para representação das classes facilitou esse trabalho.

Usualmente, em técnicas de classificação a partir de imagens de satélite, é necessário promover a generalização das áreas em estudo aplicando algum tipo de filtragem que elimine a presença de “ruídos”, os quais podem ser identificados por várias pequenas áreas representadas por pixels isolados ou pequenos grupos de pixels que não representam com fidelidade os objetos na superfície terrestre. Esse processo consiste na eliminação dos polígonos menores do que uma

área predeterminada. Para isso, promoveu-se a vetorização da imagem raster classificada, e procedeu-se à eliminação de todos os polígonos menores ou iguais à área predeterminada, associando-os às áreas maiores e mais representativas. Adotou-se a eliminação de áreas de até 3.600 m² (quatro pixels para imagens Landsat-5). Essa agregação dos pixels visa dar maior segurança na definição das classes. Com os dados padronizados foram calculadas as áreas que realmente são representativas de cada classe temática.

Tentou-se, com essa simplificação, separar as áreas verdes com mais precisão, o que foi comprovado pelo índice Kappa, que apresentou exatidão na classificação geral igual a 88% (média geral registrada para as três datas consideradas). Essa média, de acordo com Landis e Koch (1977), é classificada como excelente. A generalização da classe "outros usos" minimizou a confusão espectral atribuída à dificuldade de separar outros alvos, já que essa classe engloba diferentes usos. A validação do resultado da classificação foi realizada pela matriz de erro ou de confusão, que apresenta a tabulação cruzada entre os planos de informação referentes à interpretação visual da imagem RGB (bandas 1, 2, 3 e 4), considerada como verdade campo (pixels de referência), e pela classificação obtida a partir do NDVI (Figura 9). Ela identifica o erro global da classificação para cada classe temática e expõe como ocorreram os conflitos entre elas (BRITES, 1996), mas principalmente exhibe os pixels classificados corretamente. Para tanto, foi feita a distribuição aleatória de 240 pontos de controle (gerados no programa Erdas) e a identificação visual desses pontos na imagem RGB (a simplicidade das classes permitiu executar essa identificação diretamente na imagem RGB). Posteriormente, realizou-se a comparação com as classes temáticas da imagem classificada e gerou-se uma matriz de erro.

O fluxograma representado na Figura 2 apresenta a sequência dos processos de análises aplicados nas imagens, desde a aquisição das imagens, seu registro, correção atmosférica (que consiste na obtenção da radiância e posterior reflectância de superfície) e o ordenamento das classes propostas a partir do NDVI.

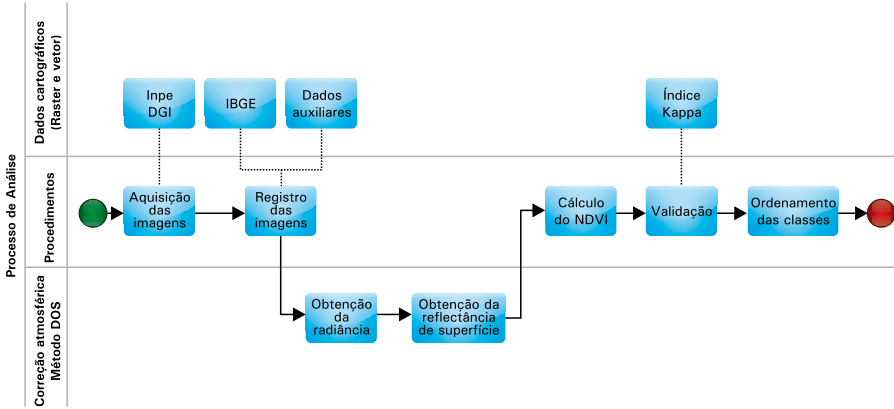


Figura 2. Fluxograma com os processamentos realizados.

Estudo de Caso

Goiânia apresenta uma área de 733 km² e sua população é de 1.302.001 habitantes (IBGE, 2010). Localizada no Planalto Central, entre o planalto dissecado e embutido, chapadões, terraços e planícies do rio Meia Ponte e os fundos dos vales. Possui uma topografia relativamente aplainada (relevo suave ondulado) na maior parte do território, apresentando poucos declives, com poucos morros e baixadas, e altitude média de 749 m. A cidade tem clima tropical semiúmido com temperatura média em torno de 22 °C (PREFEITURA DE GOIÂNIA, 2012). Localizada predominantemente no domínio do Cerrado, a cidade apresenta alguns parques urbanos, como o Lago das Rosas e o Vaca Brava (AGÊNCIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE, 2012). A Figura 3 apresenta o mapa de localização do Município de Goiânia.

A composição colorida da imagem de satélite em “falsa cor” apresentada na Figura 4 intensifica e favorece a visualização da vegetação destacada em tom vermelho, com contornos em verde-escuro. A mancha urbana recebe a cor azul-clara e lagos e represas foram definidos em azul-escuro, nos quais se observa, no nordeste do município, no ano de 2011, a barragem do Ribeirão João Leite (Figura 4, em azul-escuro), construída a montante da cidade de Goiânia, destinada ao abastecimento

de água e finalizada em 2009. A barragem é lindeira ao Parque Ecológico de Goiânia Altamiro Moura Pacheco, situado em torno da represa, caracterizado por formações florestais fechadas e considerado uma das mais importantes matas de Cerrado do País.

Particularmente, o Município de Goiânia teve de ser composto por duas cenas de satélite por data para compor todo o município (Tabela 1). Por esse motivo, os parâmetros limítrofes para separação das classes, utilizando informações do NDVI, também tiveram de ser atribuídos separadamente para cada cena adquirida (Tabela 3). Mesmo para cenas adquiridas no mesmo ano, mês e dia, os limites são diferentes. Nesses casos, justificam-se ainda mais o uso da correção atmosférica das cenas.

Tabela 3. Intervalos dos valores NDVI obtidos para as três datas, Município de Goiânia, GO.

Município	Uso	Ano					
		1997		2004		2001	
Goiânia	Vegetação	0,77	1,00	0,75	1,00	0,79	1,00
	Corpos d'água	-1,00	0,10	-1,00	-0,02	-1,00	-0,05
	Outros usos	0,10	0,77	-0,02	0,75	-0,05	0,79
	Vegetação	0,8	1,00	0,78	1,00	0,79	1,00
	Corpos d'água	-1,00	0,11	-1,00	0,00	-1,00	-0,08
	Outros usos	0,11	0,8	0,00	0,78	-0,08	0,79

A pequena variação nos limites de corte utilizados para classificação (Tabela 3) reflete a sazonalidade nas datas de aquisição das imagens. Como a sazonalidade climática influencia a fenologia da vegetação, que, por sua vez, interfere diretamente nos valores de NDVI, a análise dos dados climáticos (precipitação e temperatura) antecedentes à aquisição das imagens pode ajudar a entender essa variação.

Trabalhos já citados (BARBOSA, 1998; BARBOSA et al., 2006; BARBOSA; SILVA JUNIOR, 2010; HUXMAN et al., 2004) demonstraram que as variações de chuva e disponibilidade de água no solo refletem diretamente nas características fisionômicas da vegetação, as quais interferem na análise do índice de vegetação. Isso demonstra a necessidade de análise dos dados de precipitação e temperatura referentes a 60 dias antes da tomada das imagens para estudos sobre a variação temporal da cobertura vegetal.

As Figuras 5, 6 e 7 mostram os índices pluviométricos registrados e as temperaturas máximas atingidas nos dois meses (60 dias) que antecederam a tomada das imagens. Os dados foram adquiridos no Instituto Nacional de Meteorologia (INMET, 2011).

Na Figura 5, do total de 60 dias analisados, em apenas seis ocorreu chuva, sendo observados dois picos: um no dia 6/6/1997 com 29,1 mm e o maior no dia 15/6/1997 com 33,2 mm. O acumulado até

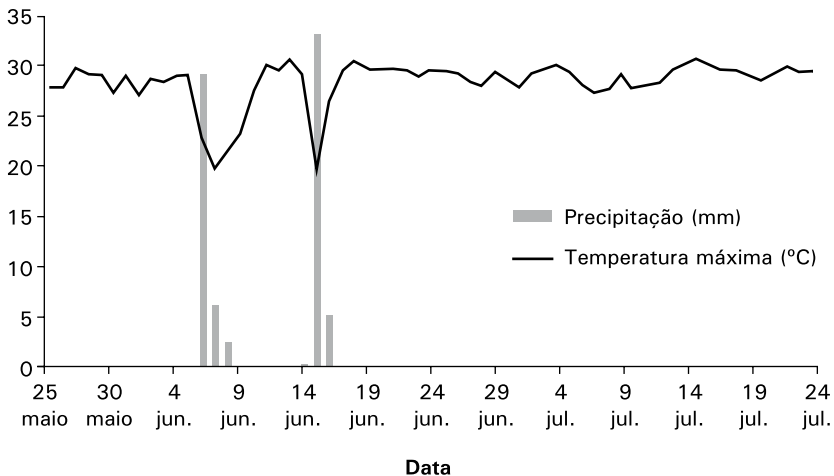


Figura 5. Registro diário do índice pluviométrico e da temperatura máxima, referente aos 60 dias antes da tomada da imagem Landsat-5 (24/7/1997), Município de Goiânia, GO.

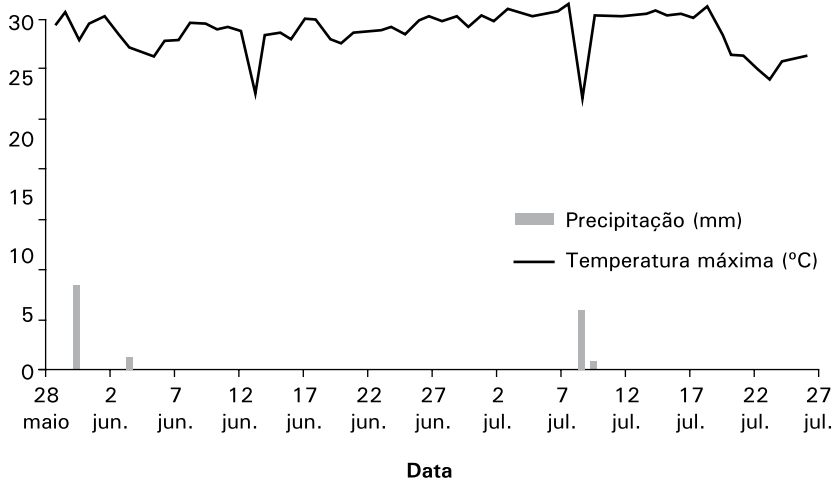


Figura 6. Registro diário do índice pluviométrico e da temperatura máxima, referente aos 60 dias antes da tomada da imagem Landsat-5 (27/7/2004), município de Goiânia, GO.

Fonte: Inmet (2011).

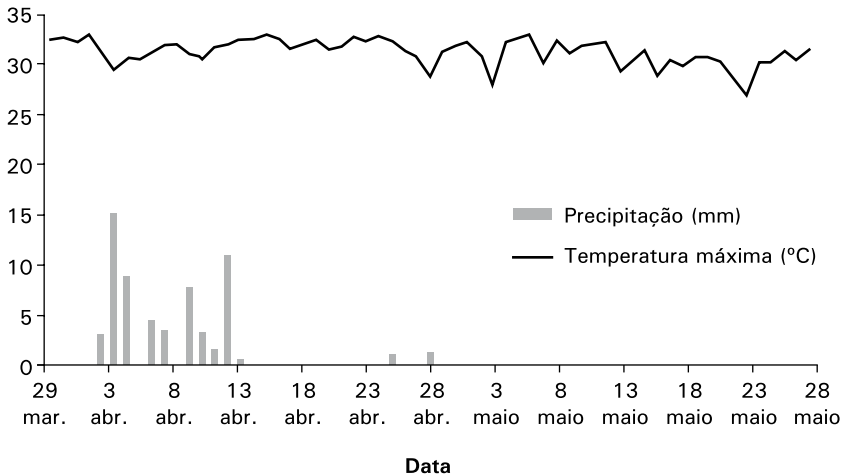


Figura 7. Registro diário do índice pluviométrico e da temperatura máxima, referente aos 60 dias antes da tomada da imagem Landsat-5 (28/5/2011), Município de Goiânia, GO.

Fonte: Inmet (2011).

o último dia com registro de chuva (16/6/1997) antes da aquisição das imagens foi de 76,4 mm. Considerando a data de aquisição da imagem (24/7/1997) e a data anterior com registro pluviométrico, somaram-se 37 dias sem chuva. Essa condição de estiagem tem influência direta na atividade fotossintética das plantas presentes na região e, conseqüentemente, nos valores NDVI gerados. A temperatura máxima apresentou duas variações bem características e exatas nos dias de chuva, com registro próximo a 20 °C. No restante do período, pouca variação foi observada, e a média foi de 28 °C.

No ano de 2004 (Figura 6), do total de 60 dias acompanhados antes da tomada das imagens, em apenas quatro dias ocorreu chuva, e o acumulado nesse período foi de 14,1 mm. Nesse ano, a condição de estiagem foi evidente, se aliarmos esse baixo índice pluviométrico registrado aos 54 dias sem chuva nesse período. O dia 10/7/2004 foi o último com registro de chuva antes da aquisição das imagens, com apenas 0,7 mm, o que totaliza então 16 dias sem chuva. A temperatura máxima oscilou entre 23 °C e 32 °C.

Na Figura 7, referente ao ano de 2011, também se observa um período de estiagem antes da aquisição das imagens. Ao longo dos 60 dias, foram registradas precipitações no total de 62,3 mm, as quais basicamente se concentraram no início do período, até o dia 13/4/2011. A partir dessa data até a aquisição das imagens, foram contados 44 dias. Durante esse período, houve registro de chuva em dois dias (25/4 e 28/4/2011), com precipitação de apenas 1,1 mm e 1,3 mm, respectivamente. A temperatura máxima registrada oscilou em torno de 31 °C.

Observa-se que não houve grandes variações nos valores dos índices de vegetação (Tabela 3). No entanto, a estiagem (seca) mais severa observada no ano de 2004, em relação aos outros anos (1997 e 2011) pode justificar os menores índices atribuídos às cenas referentes ao ano de 2004.

A Figura 8 caracteriza a distribuição dos índices de vegetação. A cor verde com os contornos em verde-escuro destaca a presença de "vegetação", a qual se concentra no nordeste do município,

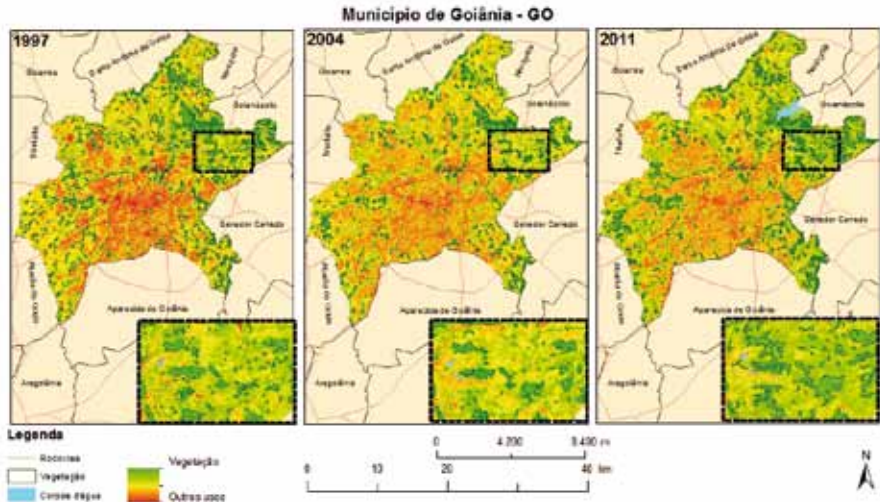


Figura 8. Resultados para as três datas, considerando-se os valores de NDVI, Município de Goiânia, GO.

especificamente em torno da barragem do Ribeirão João Leite, implantada em 2009 e claramente visível no ano de 2011, em azul-claro. Tonalidades entre laranja e amarelo caracterizam a classe identificada como “outros usos”, os quais englobam a mancha urbana, facilmente distinguida em tons laranja, e as áreas rurais identificadas em tons de amarelo.

A Figura 9 mostra a classificação obtida a partir dos limiares de corte para cada classe considerada a partir do NDVI apresentado na Figura 8.

Pela classificação apresentada (Figura 9), observa-se uma concentração de área com vegetação no nordeste do município em torno da barragem e caracterizada pela presença do Parque Ecológico de Goiânia Altamiro Moura Pacheco, criado em 1992. Possivelmente por esse motivo, a formação florestal nativa em torno da barragem tenha sofrido poucas alterações ao longo dos anos.

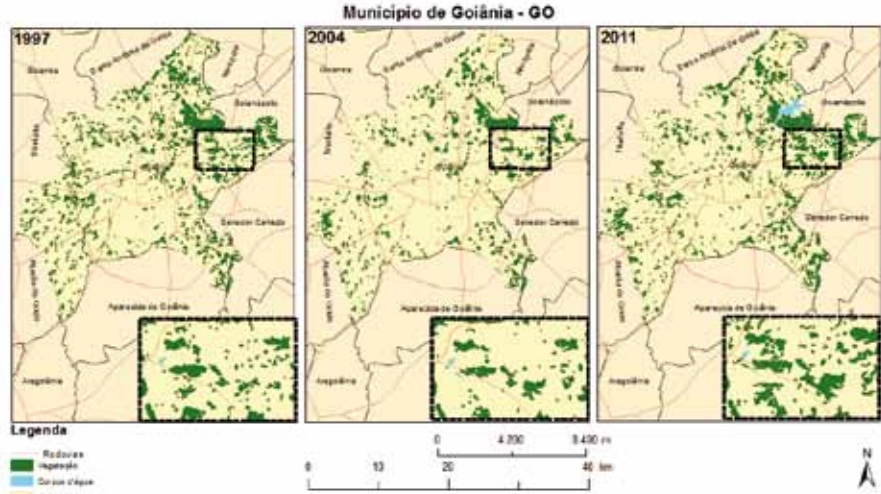


Figura 9. Classificação dos valores NDVI obtidos para as três datas, Município de Goiânia, GO.

A Tabela 4 apresenta o cálculo de ocupação de área para cada classe considerada, a partir do mapa de classificação obtido (Figura 9). Demonstra que a classe “outros usos” apresenta os maiores valores de área ocupada com porcentagem acima de 90% nos três anos. Observa-se um pequeno aumento em 2004 e praticamente um retorno a mesma ocupação de 1997 em 2011. De forma inversa, observa-se para a classe “vegetação” uma retração (-18 km²) em 2004 em relação ao ano de 1997, e uma expansão no ano de 2011, com um retorno à mesma área (59 km²) de ocupação inicial que foi apresentada em 1997. Essa condição pode estar caracterizando elevada similaridade nos limites do NDVI para definir essas duas classes (“outros usos” e “vegetação”) no ano de 2004, causada por uma confusão espectral entre classes com baixa biomassa, condição atribuída principalmente às regiões de Cerrado. A classe “corpos d’água” não apresenta alteração (0%) entre 1997 e 2004. No entanto, com a presença da barragem percebe-se um aumento de 1% na área ocupada pela classe “corpos d’água” em 2011, que representa 4 km² em valor absoluto em comparação ao ano anterior (2004).

Tabela 4. Taxa de ocupação das áreas considerando-se as três datas, Município de Goiânia, GO.

Classe	1997		2004		2011	
	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%	Área (km ²)	%
Vegetação	59	8	41	6	59	8
Corpos d'água	1	0	2	0	6	1
Outros usos	679	92	696	94	674	91
Total	739	100	739	100	739	100

A taxa de maior variação, de 267% (2004–2011), é atribuída à classe “corpos d’água” e caracteriza a presença da barragem, criada em 2009 (Tabela 5). Já a classe “vegetação” sofreu retração entre 1997–2004 (-30%) e depois acréscimo em 2004–2011 (43%).

Tabela 5. Variação das classes de cobertura, município de Goiânia, GO.

Período	Variação das classes de uso (%)		
	Vegetação	Corpos d'água	Outros usos
1997–2004	-30	37	3
2004–2011	43	267	-3
Variação total	13	303	-1

A Figura 10 mostra as alterações ocorridas ao longo dos anos estudados considerando-se as áreas ocupadas com a classe “vegetação”. Em verde-escuro, estão as áreas que não sofreram alterações; em amarelo, as áreas que passaram a ser ocupadas por “vegetação” sobrepondo-se às outras duas classes. Em vermelho, estão as áreas que deixaram de ser ocupadas pela classe “vegetação”.

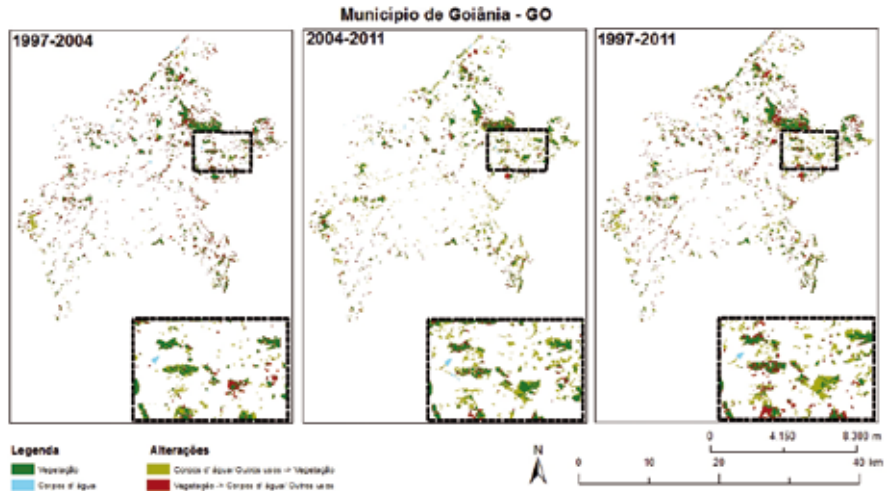


Figura 10. Mapa da dinâmica nas áreas ocupadas com “vegetação”, Município de Goiânia, GO.

As dinâmicas de mudanças apresentadas na Tabela 6, considerando-se os períodos analisados, apresentam altas taxas de manutenção para a classe “outros usos”, com 99% no primeiro período (1997–2004) e 95% no segundo (2004–2011). A classe “vegetação” manteve somente 56% de suas áreas sem alteração no período entre 1997 e 2004 e 73% no segundo período (2004–2011). Entre essas áreas, praticamente toda a classe de “vegetação” alterada foi substituída pela classe “outros usos” – 44% no primeiro período (1997–2004) e 26% no segundo período (2004–2011). A taxa de manutenção para a classe “corpos d’água” foi baixa entre 2004 e 2011 (40%); no entanto, nesse período essa classe absorveu uma área referente à 5 km² provenientes da classe “outros usos”. Essa absorção foi atribuída à implantação da barragem do Ribeirão João Leite na região. Os valores em destaque na cor amarela descrevem as áreas de “outros usos” e “corpos d’água” que foram substituídas por “vegetação”.

Tabela 6. Dinâmica das mudanças nas classes de cobertura, Município de Goiânia, GO.

Classe de uso				Classe de uso			
1997	2004	km ²	%	1997	2011	km ²	%
Vegetação	Vegetação	33	56	Vegetação	Vegetação	30	73
Vegetação	Corpos d'água	0	0	Vegetação	Corpos d'água	0	1
Vegetação	Outros usos	26	44	Vegetação	Outros usos	11	26
Corpos d'água	Vegetação	0	0	Corpos d'água	Vegetação	0	0
Corpos d'água	Corpos d'água	1	63	Corpos d'água	Corpos d'água	1	40
Corpos d'água	Outros usos	0	37	Corpos d'água	Outros usos	1	60
Outros usos	Vegetação	8	1	Outros usos	Vegetação	29	4
Outros usos	Corpos d'água	1	0	Outros usos	Corpos d'água	5	1
Outros usos	Outros usos	669	99	Outros usos	Outros usos	661	95

Conclusões

Estudos em sensoriamento remoto aplicam-se a níveis distintos de coletas de dados, áreas geográficas, escalas e relacionam-se com diversas áreas de conhecimento, além de desenvolverem ferramentas que tornam o conhecimento do território mais acessível aos gestores. Isso requer determinados cuidados e análises, fatores que justificam o preparo do material e a escolha da metodologia utilizada neste trabalho.

Questões ambientais tornaram-se tema de preocupação global. Nesse quesito, a análise do impacto ambiental a partir da descaracterização e do monitoramento da cobertura vegetal natural é de extrema relevância. Nesse processo, o uso de imagens orbitais de acesso público, capazes

de gerar informações como NDVI, contribui para o entendimento do processo de variação da cobertura vegetal, uma vez que confirma a ocorrência tanto do aumento quanto da supressão de vegetação fotossinteticamente ativa.

Neste trabalho, foram geradas imagens a partir do NDVI com correção atmosférica a partir das bandas 3 e 4, originais do sensor TM do Landsat-5, e verificadas as áreas de vegetação. Os procedimentos adotados podem ser utilizados na análise da variação da cobertura vegetal de outros municípios, permitindo a caracterização de processos de expansão urbana sobre o espaço rural e de áreas cobertas por vegetação.

A utilização das imagens TM do Landsat-5 a partir da composição do NDVI apresentou resultados satisfatórios para o acompanhamento temporal e sazonal das modificações do estado fenológico da vegetação natural e das outras categorias de análise (“outros usos” e “corpos d’água”). De modo geral, considerando-se os anos analisados no Município de Goiânia, as classes “outros usos” e “vegetação” apresentaram ocupações inversas e proporcionais, ou seja, quando uma apresentou retração, a outra apresentou aumento das áreas.

As técnicas de correção atmosférica utilizadas para o cálculo do NDVI e para sua classificação são imprescindíveis para monitoramento e análise temporal. Além de demonstrarem as condições da vegetação na região em estudo, possibilitaram a elaboração de mapas nos quais se pode observar a diferença entre os dados de NDVI para os anos considerados e identificar as áreas que mais sofreram alterações.

O refinamento da classificação a partir do NDVI, no intuito de promover a separação das áreas urbanas e rurais, pode dar mais subsídios e informações a respeito da expansão das áreas urbanas sobre as áreas rurais. Normalmente, os planos diretores dos municípios com mais de 20 mil habitantes trazem a delimitação oficial da área urbana no município; no entanto, o processo de urbanização transcende essa

delimitação e tende a pressionar as áreas com vegetação bem como áreas rurais.

No espaço amostral entre duas imagens (ou mais), pode-se observar a descaracterização ou recuperação da vegetação nativa de uma determinada região. Nesse trabalho, fica evidente também que a maior porcentagem refere-se a áreas onde não ocorreram mudanças, o que é justificado pela presença do Parque Ecológico de Goiânia.

A diferença temporal de cerca de 7 anos entre uma cena e outra (1997, 2004 e 2011) foi pertinente e relevante para indicar a retração e a posterior expansão das áreas ocupadas com “vegetação”. Em um primeiro momento (1997–2004), a classe “vegetação” perdeu espaço diante da expansão da classe “outros usos”. No segundo período (2004–2011), a classe “vegetação” praticamente recuperou toda sua área no entorno da barragem, em razão da presença do parque.

Essa retração e o posterior aumento da classe “vegetação” pode caracterizar elevada similaridade nos limites do NDVI que separam as classes “vegetação” e “outros usos” no ano de 2004. Essa similaridade foi causada por uma confusão espectral entre classes com baixa biomassa, condição atribuída principalmente às regiões de Cerrado, que foi agravada pela severa estiagem observada no ano de 2004.

A escala temporal adotada (intervalos de 7 anos) foi importante para ressaltar mudanças em curto prazo. A utilização de escalas temporais mais longas pode não identificar algum fenômeno microrregional, como no caso analisado, no qual não seria possível observar a retração e a posterior expansão nas áreas classificadas como “vegetação”. Se fossem comparados somente os anos de 1997 e 2011, não haveria alteração na área de vegetação.

A utilização de dados de acesso público para monitorar a cobertura vegetal torna esse processo reproduzível para qualquer especialista em geoprocessamento. Neste trabalho, foi abordada a variação da

cobertura vegetal, mas outros tipos de análises podem ser realizados com os mesmos conjuntos de dados e metodologias similares.

A quantificação e a identificação das alterações de cobertura vegetal promovem o ordenamento territorial, de acordo com suas aptidões, e permitem balizar programas de adequação às diretrizes de planejamento municipais além de normas legais incidentes sobre essas áreas mitigando os efeitos das alterações de cobertura vegetal nos municípios.

Referências

AFFONSO, A. G.; VALERIANO, D. M.; BATISTA, G. T. Caracterização da Vegetação do município de Marabá, no Estado do Pará, através de dados e transformações espectrais (Índice de Vegetação por Diferença Normalizada do sensor ETM+/Landsat 7. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 12., 2005, Goiânia. **Anais...** São José dos Campos: Inpe, 2005. p. 1407-1414.

AGÊNCIA MUNICIPAL DO MEIO AMBIENTE (Goiânia). **Parques e bosques de Goiânia**. Disponível em: <<http://www.goianiabr.com.br/2009/07/parques-e-bosques-de-goiania.html>>. Acesso em: 26 jul. 2012.

ANDRADE, R.; DEL'ARCO SANCHES, I.; VICTORIA, D. de C.; FURTADO, A. L. dos. Análise de metodologias para correção atmosférica e estimativa do albedo da superfície usando imagens Landsat 5, TM. In: SIMPÓSIO DE GEOTECNOLOGIAS NO PANTANAL, 3., 2010, Cáceres. **Anais...** Campinas: Embrapa Informática Agropecuária; São José dos Campos: Inpe, 2010. p. 133-141.

BARBOSA, H. A. **Análise espaço temporal de índice de vegetação AVHRR/NOAA e precipitação na região Nordeste do Brasil em 1982-85**. 1998. 167 f. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) – Divisão de Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos.

BARBOSA, H. A.; HUETE, A. R.; BAETHGEN, W. E. A 20-year study of NDVI variability over the Northeast region of Brazil. **Journal of Arid Environments**, London, GB. v. 67, n. 2, p. 288-307, 2006. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0140196306000796>>. Acesso em: 14 ago. 2012.

BARBOSA, H. A.; SILVA JUNIOR, I. W da. Variabilidade temporal de índice de vegetação NDVI e sua conexão com o clima: biomas Caatinga brasileira e Savana africana. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE METEOROLOGIA, 16., 2010, Belém, PA. **A Amazônia e o clima global**: anais. Belém: Sbmec, 2010. Disponível em: <http://www.cbmet2010.com/anais/artigos/705_59422.pdf>. Acesso em: 14 ago. 2012.

BRITES, R. S. **Verificação de exatidão em classificação de imagens digitais orbitais:**

efeito de diferentes estratégias de amostragem e avaliação de índices de exatidão. 1996. 101 f. Tese (Doutorado em Ciências Florestais)–Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, MG. Disponível em: <ftp://ftp.bbt.ufv.br/teses/ciencia_florestal/1996/111128f.pdf>. Acesso em: 17 ago. 2010.

CHANDER, G., MARKHAM, B. Revised Landsat-5 TM Radiometric Calibration Procedures and Post-Calibration Dynamic Ranges. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, Ann Arbor, v. 41, n. 11, pt 2, p. 2674-2677, 2003. Disponível em: <<http://landsat7.usgs.gov/documents/L5TMCAL2003.pdf>>. Acesso em: 15 abr. 2012.

CHANDER, G.; MARKHAM, B. L.; HELDER, D. L. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM +, an EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 113, n. 5, p. 893-903, 2009.

CHAVEZ JUNIOR, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 24, n. 3, p. 459-479, 1988.

CHAVEZ JUNIOR, P. S. Image-based atmospheric corrections-revisited and improved. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v. 62, n. 9, p.1025-1036, 1996.

CHAVEZ JUNIOR, P. S. Radiometric calibration of Landsat Thematic Mapper multispectral images. **Photogrammetric Engineering and Remote Sensing**, Bethesda, v. 55, n. 9, p. 1285-1294, 1989.

FOLHES, M. T. **Modelagem da evapotranspiração para a gestão hídrica de perímetros irrigados com base em sensores remotos.** 2007. 175 f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto)–Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2007.

GALLO, K. P.; TARPLEY, J. D. The comparison of vegetation index and surface temperature composites of urban heat-island analysis. **International Journal of Remote Sensing**, London, GB, v. 17, n. 15, p. 3071-3076, 1996.

GUYOT, G., SEGUIN, B. Possibilités d'utilisation de la télédétection satellitaire en agrométéorologie. **Agronomie**, Les Ulis, v. 8, n.1, p. 1-113, 1988.

HUXMAN, T. E.; SMITH, M. D.; FAY, P. A.; KNAPP, A. K.; SHAW, R.; LOIK, M. E.; SMITH, S. D.; TISSUE, D. T.; ZAK, J. C.; WELTZIN, J. F.; POCKMAN, W. T.; SALA, O. E.; HADDAD, B. M.; HARTE, J.; KOCH, G. W.; SCHWINNING, S.; SMALL, E. E.; WILLIAMS, D. G. Convergence across biomes to a common rain-use efficiency. **Nature**, [S.l.], v. 429, n. 6992, p. 651-654, 2004.

IBGE. **Resultados do Censo de 2010.** Disponível em: <<http://www.censo2010.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 jul. 2012.

INMET. Instituto Nacional de Meteorologia. **Portal**. 2011. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/>>. Acesso em: 25 jul. 2012.

JARDIM-LIMA, D.; NELSON, B. W. Uso de índices de vegetação no monitoramento da cobertura verde no perímetro urbano da cidade de Manaus. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: Inpe, 2003, p. 1827-1833.

LANDIS, J. R.; KOCH, G. G. The measurement of observer agreement for categorical data. **Biometrics**, Washington, DC, v. 33, n. 1, p. 159-174, 1977.

LOURENÇO, R. W.; LANDIM, P. M. B. Estudo da variabilidade do "Índice de Vegetação por diferença normalizada/NDVI" utilizando krigagem indicativa. **Holos environment**, Rio Claro, v. 4, n. 1, p. 38-55, 2004.

MAS, J. F. Monitoring land-cover changes: a comparison of change detection techniques. **International Journal of Remote Sensing**, London, GB, v. 20, n. 1, p. 139-152, 1999.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001. 208 p.

MOREIRA, M. A.; RUDORFF, B. F.T.; BARROS, M. A.; FARIA, V. G. C. de; ADAMI, M. Geotecnologias para mapear lavouras de café nos estados de Minas Gerias e São Paulo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1123-1135, 2010. Disponível em: <<http://www.scielo.br/pdf/eagri/v30n6/a13v30n6.pdf>>. Acesso em: 14 ago. 2012.

NICHOL, J. E. Analysis of the urban thermal environment with Landsat data. **Environmental and Planning B: planning and design**, London, GB, v. 23, n. 6, p. 733-747, 1996.

PARANAGUÁ, P.; MELO, P.; SOTTA, E. D.; VERÍSSIMO, A. **Belém sustentável**. Belém: Imazon, 2003. 107 p. Disponível em: <<http://www.imazon.org.br/publicacoes/livros/belem-sustentavel>>. Acesso em: 25 jun. 2012.

PAX-LENNEY, M. ; WOODCOCK, C. E.; MACOMBER, S. A.; GOPAL, S.; SONG, C. Forest mapping with a generalized classifier and Landsat TM data. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 77, n. 3, p. 241-250, 2001.

PEREIRA, O. J. R. **Toolbox para a calibração de bandas Landsat e correção atmosférica no ArcGis**. Disponível em: <<http://geotecnologias.wordpress.com/2011/05/14/toolbox-para-a-calibracao-de-bandas-landsat-e-correcao-atmosferica-no-arcgis/>>. Acesso em: 3 abr. 2012.

PONZONI, F. P.; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos: Parêntese, 2007. 144 p.

PREFEITURA DE GOIÂNIA. **Principais características de Goiânia**. Disponível em: <<http://prefeituradegoiania.net.br/site/conhecagoiania.php?tla=2&cod=45>>. Acesso em: 26 jul. 2012.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SHELL, J. A. **Monitoring the vernal advancement and retrogradation of natural vegetation**. College Station: Texas A&M University: Remote Sensing Center, 1974. 371 p.

SILVA, M. R.; RIBEIRO, M. G.; CENTENO, J. A. S. Monitoramento de estiagens com imagens MODIS. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: Inpe, 2007.

SONG, C.; WOODCOCK, C. E.; SETO, K. C.; LENNEY, M. P.; MACOMBER, S. A. Classification and change detection using Landsat TM data: when and how to correct atmospheric effects? **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 75, n. 2, p. 230-244, 2001.

WILSON, J. S.; CLAY, M.; MARTIN, E.; STUCKEY, D.; VEDDER-RISCH, K. Evaluating environmental influences of zoning in urban ecosystems with remote sensing. **Remote Sensing of Environment**, New York, v. 86, n. 3, p. 303-321, 2003.

ZULLO JUNIOR, J. **Correção atmosférica de imagens de satélite e aplicações**. 1994. 191 f. Tese (Doutorado em Engenharia Elétrica) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Elétrica, Campinas.

ZULLO JUNIOR, J.; BEZERRA, P. C. Correção atmosférica de imagens de satélite utilizando o 5S. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 7., 1993, Curitiba. **Anais...** São José dos Campos: Inpe, 1993. 7 p.

Embrapa

Gestão Territorial

Ministério da
**Agricultura, Pecuária
e Abastecimento**

GOVERNO FEDERAL
BRASIL
PAÍS RICO E PAÍS SEM POBREZA

CGPE 10621