

Revista Brasileira de Cartografia (2014) N<sup>o</sup> 66/2: 321-336  
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto  
ISSN: 1808-0936

## **MAPEAMENTO DA COBERTURA E USO DA TERRA: UMA ABORDAGEM UTILIZANDO DADOS DE SENSORIAMENTO REMOTO ÓPTICO MULTITEMPORAIS E PROVENIENTES DE MÚLTIPLAS PLATAFORMAS**

*Land Cover and Land Use Mapping: An Approach Based on Multi-temporal Optical Remote Sensing Data from Multiple Platforms*

**Silvio Braz de Sousa<sup>1</sup> & Laerte Guimarães Ferreira<sup>1</sup>**

**<sup>1</sup>Universidade Federal de Goiás – UFG**  
**Laboratório de Processamento de imagens e Goeprocessamento – LAPIG**  
Campus Samambaia, Cx 131 CEP 7400-970, Goiânia, Goiás, Brasil  
sousasb@gmail.com; laerte@iesa.ufg.br

*Recebido em 30 de Março, 2013/ Aceito em 24 de Janeiro, 2014*  
*Received on March 30, 2013/ Accepted on January 24, 2014*

### **RESUMO**

Mapas de cobertura e uso da terra são importantes instrumentos de gestão territorial, em particular quando capazes de representarem a dinâmica de ocupação. Especificamente, este estudo buscou entender e quantificar as transformações ocorridas na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite (e nos sete municípios sob sua influência direta), estado de Goiás, Brasil, em quatro períodos distintos (1984, 1992, 2000 e 2011), a partir de um processo de classificação supervisionada (algoritmo Bhattacharya) de imagens Landsat 5 e 7, o qual também foi acompanhado do uso de dados sazonais e máscaras (obtidas via um modelo linear de mistura espectral e uso do índice NDBI - normalized difference built-up land index), com vistas à melhor identificação e delimitação de áreas agrícolas e urbanas e redução de erros causados pelo sombreamento em áreas de relevo declivoso. Para o ano de 2011, a identificação e separabilidade das classes foram ainda refinadas com o apoio de dados de campo e interpretação de uma imagem do satélite Thailand Earth Observation (THEOS / 2m de resolução) e de fotografias aéreas adquiridas com um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT), modelo Sense Fly – Swinglet CAM, o que resultou em uma acuidade total entre 80 e 90%. Em 27 anos, período compreendido neste estudo, a vegetação natural remanescente na bacia e adjacências foi reduzida em aproximadamente 35%, ao mesmo tempo que se observou aumentos significativos da área agrícola (~ 47%) e malha urbana (~122%). Nossos resultados corroboram ainda o uso integrado de dados com múltiplas resoluções e provenientes de diferentes níveis de aquisição, à exemplo da combinação de dados orbitais tipo “Landsat” e de alta resolução espacial (> 5m) e mosaicos aéreos com detalhamento centimétrico.

**Palavras chaves:** Cobertura e Uso da Terra, Bacia Hidrográfica, VANT, Ribeirão João Leite.

### **ABSTRACT**

Land cover and land use maps are instrumental for the territorial governance, particularly when capable of representing the occupation dynamics. Within this context, this study was focused on understanding and quantifying the changes in the Ribeirão João Leite watershed (including the seven municipalities under its direct influence), Goiás State, Brazil,



da terra na área da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite. Mais que isso, é importante lançar um olhar regional, principalmente no que diz respeito à expansão urbana, um dos processos mais dinâmicos na região, os quais nem sempre vem acompanhado do planejamento necessário, gerando uma variada gama de impactos ambientais (GUERRA; MARÇAL, 2006, p 13). A cartografia deve servir de pano de fundo para diagnósticos e prognósticos, fornecendo aos gestores do espaço instrumentos que subsidiem decisões e políticas públicas mais eficientes na compatibilização da realidade com o modelo de desenvolvimento esperado. Vários autores, em diversas áreas de estudo espalhadas, se valem de dados multitemporais para cartografar e analisar a cobertura e uso da terra, sendo que a maioria destes estudos tem como base a utilização de dados da série Landsat (ADEOYE, 2005; YUAN *et al.*, 2005; ALTMAN *et al.*, 2009; NAYAK & MANDAL, 2012), certamente, o programa mais bem-sucedido de sensoriamento remoto para fins de mapeamento e monitoramento sistemático da superfície terrestre (FERREIRA *et al.*, 2008).

Este artigo apresenta resultados e métodos relacionados ao processo de classificação da cobertura e uso da terra para os municípios com território na bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, Goiás, Brasil, para os anos de 1984, 1992,

2000 e 2011. Entre os objetivos e contribuições deste estudo, destacamos: 1) Estabelecer uma metodologia para mapeamento da dinâmica de cobertura e uso da terra; 2) Avaliar a acuidade do mapa de 2011 com base em dados auxiliares e de campo; 3) Identificar padrões de mudanças na cobertura e uso das terras para o recorte regional dos municípios da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, e sua influencia quanto à preservação e condições ambientais.

### 1.1 Área de Estudo

A bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, com uma área aproximada de 761 km<sup>2</sup> e abrangendo os municípios de Goiânia, Anápolis, Nerópolis, Ouro Verde de Goiás, Goianápolis, Campo Limpo e Terezópolis de Goiás (Figura 1), está inserida no chamado “Mato Grosso de Goiás”, uma zona de rico potencial agrícola que há décadas é utilizada de forma intensiva para o plantio de culturas agrícolas e constituição de pastagens (ESTEVAM, 1998, pg. 114).

A área de estudo, cortada pela recém-implantada Ferrovia Norte-Sul, bem como pela rodovia BR153 (rodovia Belém-Brasília), se configura como uma das mais importantes do estado de Goiás, abrigando seus principais núcleos urbanos, entre eles a capital Goiânia, e grande parte da população, cerca de 30% em

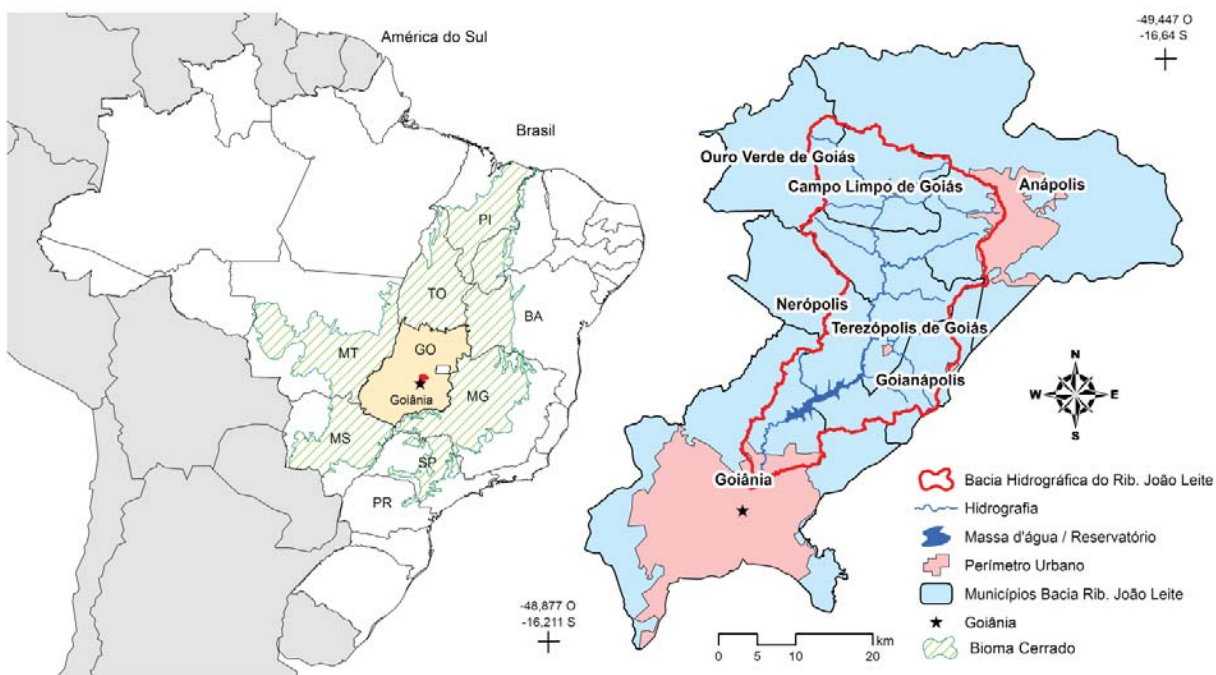


Fig. 1 - Localização da bacia do Ribeirão João Leite, estado de Goiás – Brasil, com destaque para os sete municípios inseridos entre seus limites.

uma área territorial de apenas 0,22% do total do estado (IBGE, 2012).

Desde a década de 1950 a região, em especial Goiânia, passou por intensos fluxos demográficos e econômicos, os quais foram intensificados com a construção de Brasília e da rodovia Bélem-Brasília, atraindo tanto migrantes interestaduais, bem como dos municípios do interior Goiano (CHAUL 1988, p.109; NASCIMENTO (1993 p 95). Entre as décadas de 1940 e 2010, Goiânia apresentou um crescimento populacional em torno de 2.700%, saltando de 48.166 para 1.302.001 habitantes. Este mesmo fenômeno também se observa para o município de Anápolis, o qual, mesmo após intensa fragmentação territorial, que originou a grande maioria dos municípios da região (até mesmo Goiânia, a qual foi emancipada em 1935 composta por fragmentos territoriais de Anápolis e Bela Vista de Goiás), se mantém entre a terceira maior cidade do estado, alcançando em 2010 o quantitativo de 334.613 habitantes.

Para o mapeamento do uso e cobertura da terra, escolheu-se trabalhar com as áreas territoriais totais dos municípios, ainda que apenas dois municípios (Terezópolis de Goiás e Campo Limpo de Goiás) estejam integralmente inseridos nos limites naturais da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite, e assim, totalmente sob a influência da APA. Contudo, em uma metrópole regional como Goiânia, e em uma área de reservatório no eixo Goiânia-Brasília, o nível de dependência entre os municípios tende a ser alto, assim como a pressão, via processos endógenos e exógenos, sobre a bacia.

## 2. MATERIAIS E MÉTODOS

Todos os procedimentos metodológicos envolvidos neste estudo, os quais incluíram aquisição, classificação das imagens orbitais e avaliação da exatidão dos mapas resultantes, são detalhados no fluxograma mostrado na figura 2.

### 2.2 Dados Landsat

Os dados Landsat utilizados para classificação da cobertura e uso da terra para os anos de 1984, 1992, 2000 e 2011 foram selecionados no catálogo de imagens do Instituto de Pesquisas Espaciais (INPE - <http://www.dgi.inpe.br>). Foram utilizadas imagens dos satélites Landsat 5 e 7, sensores TM e ETM+ (dados

ETM+ apenas para o ano 2000), órbitas/pontos 222/71 e 222/72, as quais foram registradas para o fuso UTM 22S, Datum WGS 1984, conforme 35 pontos de controle bem distribuídos, o que resultou em um erro médio quadrático de 0,3 pixel. Para cada ano de análise, foi efetuado mosaico e recorte das imagens, utilizando como máscara os limites territoriais administrativos dos sete municípios que possuem áreas sob influência da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite.

Os respectivos recortes temporais (1984, 1992, 2000 e 2011) foram delimitados por meio da seguinte lógica: O ano de 1984 representa o primeiro ano de disponibilidade dos dados Landsat 5 - TM, lançado em 1 de março de 1984. O ano de 1992 foi escolhido por ser o mais próximo ao levantamento estatístico populacional, o Censo de 1991, com disponibilidade de imagens com boa qualidade. No ano de 2000 foi realizado novo levantamento do Censo e, 2011, além de ter sido o último ano de obtenção das imagens Landsat 5 (o qual foi desativado no mês de novembro daquele ano), também coincide, aproximadamente, com os dados do censo de 2010. Os dados do Censo compreendem um conjunto de informações estatísticas sobre os habitantes de todo Brasil, e serviram para melhor entender a dinâmica da cobertura e uso da terra em associação com os dados urbanos desdobrados das imagens de satélite.

Com vistas à uma separação mais efetiva de classes, o processo de classificação considerou imagens do período chuvoso (outubro – abril) e do período seco (maio – setembro), a fim de incorporar, por meio de uma abordagem não estática da superfície, o efeito da sazonalidade sobre os diferentes alvos. Este é o caso, por exemplo, dos diversos campos de plantio, com solo exposto durante o período seco, cuja análise sazonal permitiu a identificação e discriminação, com maior precisão, das áreas de cultivo rotativo e/ou temporário.

As imagens TM e ETM+ que foram utilizadas para entrada no modelo linear de mistura espectral, passaram por um processo de calibração, tendo como resultado valores de reflectância aparente (i.e. topo de atmosfera / ToA). Para esta calibração é necessário à utilização de parâmetros intrínsecos e extrínsecos

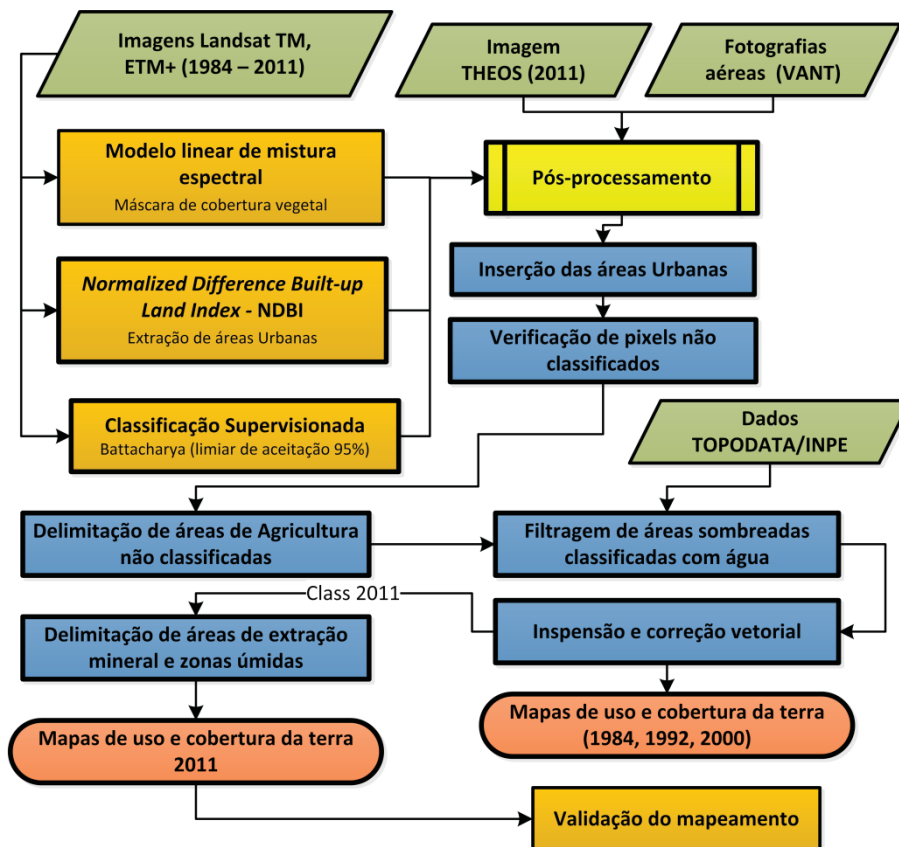


Fig. 2 - Fluxograma esquemático referente ao conjunto de dados e procedimentos metodológicos adotados neste estudo

aos sensores, conforme especificados em Chander *et. al.* (2009) e utilizados na equação 1:

$$\rho_{\lambda} = \frac{\pi \times L_{\lambda} \times d^2}{ESUN_{\lambda} \times \cos \theta_s} \quad (1)$$

Onde:

$\rho_{\lambda}$  – Reflectância aparente topo de atmosfera (ToA)

$L_{\lambda}$  – Radiância espectral [ $W/(m^2 sr^{-1} \mu m^{-1})$ ]

$d$  – Distância Terra Sol para o dia do ano em unidades astronômicas

$ESUN_{\lambda}$  – Irradiâncias solares exo-atmosfera [ $W/(m^2 sr^{-1})$ ]

$\theta_s$  – Ângulo zenital solar em graus

### 2.3 Dados SRTM – TOPODATA/INPE

Áreas com altos valores de declividade, com produção de sombras, muitas vezes resultam em erros de classificação, na qual extensas superfícies sombreadas são interpretadas pelo algoritmo de classificação como corpos hídricos. Assim, e utilizando os dados altimétricos disponibilizados via projeto Topodata / INPE

([www.dsr.inpe.br/topodata](http://www.dsr.inpe.br/topodata)) (quadrícula 16S495), os valores de declividade do terreno foram modelados através de um Sistema de Informações Geográficas (SIG), a partir dos quais, áreas com declividade maior que 20% foram individualizadas e os rótulos dos pixels inicialmente classificados como água substituídos para vegetação (principal cobertura encontrada nestas superfícies declivosas e sombreadas).

### 2.4 Dados de Referência

Os dados de referência para avaliação da acurácia do mapeamento realizado para o ano de 2011 consistiram de imagens de alta resolução espacial do satélite *Thailand Earth Observation* (THEOS) (Tabela 1), passagem de 05 de agosto de 2011, e ortomosaicos coletados em campo (2013) através de um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) modelo *Sense Fly - Swinglet CAM*.

As imagens THEOS, após fusão das bandas multiespectrais e pancromática, apresentam resolução espacial de 2m, suficiente para a localização,

identificação e discriminação de alvos de interesse. Já os dados *Swinglet CAM* foram tomados preferencialmente a uma altitude de voo de 274 metros, o que resultou em uma resolução espacial aproximada de 10 cm. Ao todo, foram realizados sete voos, recobrindo uma área de 793,58 há, onde se buscou abranger as diferentes paisagens de cobertura e uso da terra encontradas (Tabela 2). A figura 3 apresenta um panorama dos dados base e de referência, bem como, alguns ortofotomosaicos adquiridos com o VANT *Sense Fly- Swinglet CAM*. É importante ressaltar que não foi realizado ajuste geométrico entre os diferentes dados de sensoriamento remoto. Portanto, cada dado possui sua própria estrutura em relação ao georreferenciamento.

## 2.5 Mapeamento de uso e cobertura da terra

Para cada ano de análise (1984, 1992, 2000, 2011), as imagens TM e ETM+ (agosto) foram realçadas através de um modelo linear de mistura espectral (MLME) (FERREIRA *et al.*, 2007), com vistas à separar os componentes da paisagem em imagens fração solo, vegetação e água. Observou-se em análises visuais que áreas com cobertura de vegetação natural apresentavam entre 19 e 35% de contribuição de solos em seus pixels, critério este adotado na etapa de verificação pós-processamento, por meio de uma máscara de áreas vegetadas. O modelo linear utilizado neste estudo é descrito na equação 2:

Tabela 1: Comparativo entre faixa espectral e resolução espacial dos sensores TM, ETM+ e THEOS

Banda	Faixa Espectral μm		Região do Espectro	Resolução Espacial (m x m)	
	TM - ETM <sup>+</sup>	THEOS		TM - ETM <sup>+</sup>	THEOS
1	0,45 - 0,52	0,45 - 0,52	Azul	30	15
2	0,52 - 0,60	0,52 - 0,60	Verde	30	15
3	0,63 - 0,69	0,62 - 0,69	Vermelho	30	15
4	0,76 - 0,90	0,77 - 0,90	IV Próximo	30	15
5	1,55 - 1,75	-	IV Médio	30	-
6	10,4 - 12,5	-	IV Termal	TM 120, ETM <sup>+</sup> 60	-
7	2,08 - 2,35	-	IV Médio	30	-
PAN (ETM <sup>+</sup> )	0,52 - 0,90 <sup>1</sup>	0,45 - 90	VIS IV Próximo	15	2

Tabela 2: Metadados dos voos e das fotografias aéreas coletadas por meio do *Sense Fly – Swinglet CAM*.

Voo	Data	Partida (hs:m)	Aterrissagem (hs:m)	Altitude de Voo (m)	Vel. vento (m/s)	Res. espacial (cm x cm)	Área fotografada (ha)
1	03/03/2013	09:26	09:42	274	4,9	10 x 10	126,34
2	03/03/2013	11:14	11:37	274	5	10 x 10	130,23
3	03/03/2013	13:45	13:57	274	2,3	10 x 10	68,19
4	17/03/2013	10:06	10:26	331	2,1	13 X 13	162,8
5	17/03/2013	11:32	11:50	274	3,9	10 x 10	117,59
6	17/03/2013	12:30	12:45	274	3,2	10 x 10	89,73
7	26/03/2013	12:13	12:30	274	6,4	10 x 10	98,7
<b>Tempo total de voo:</b>		<b>121min</b>		<b>Área total fotografada:</b>		<b>793,58 ha</b>	

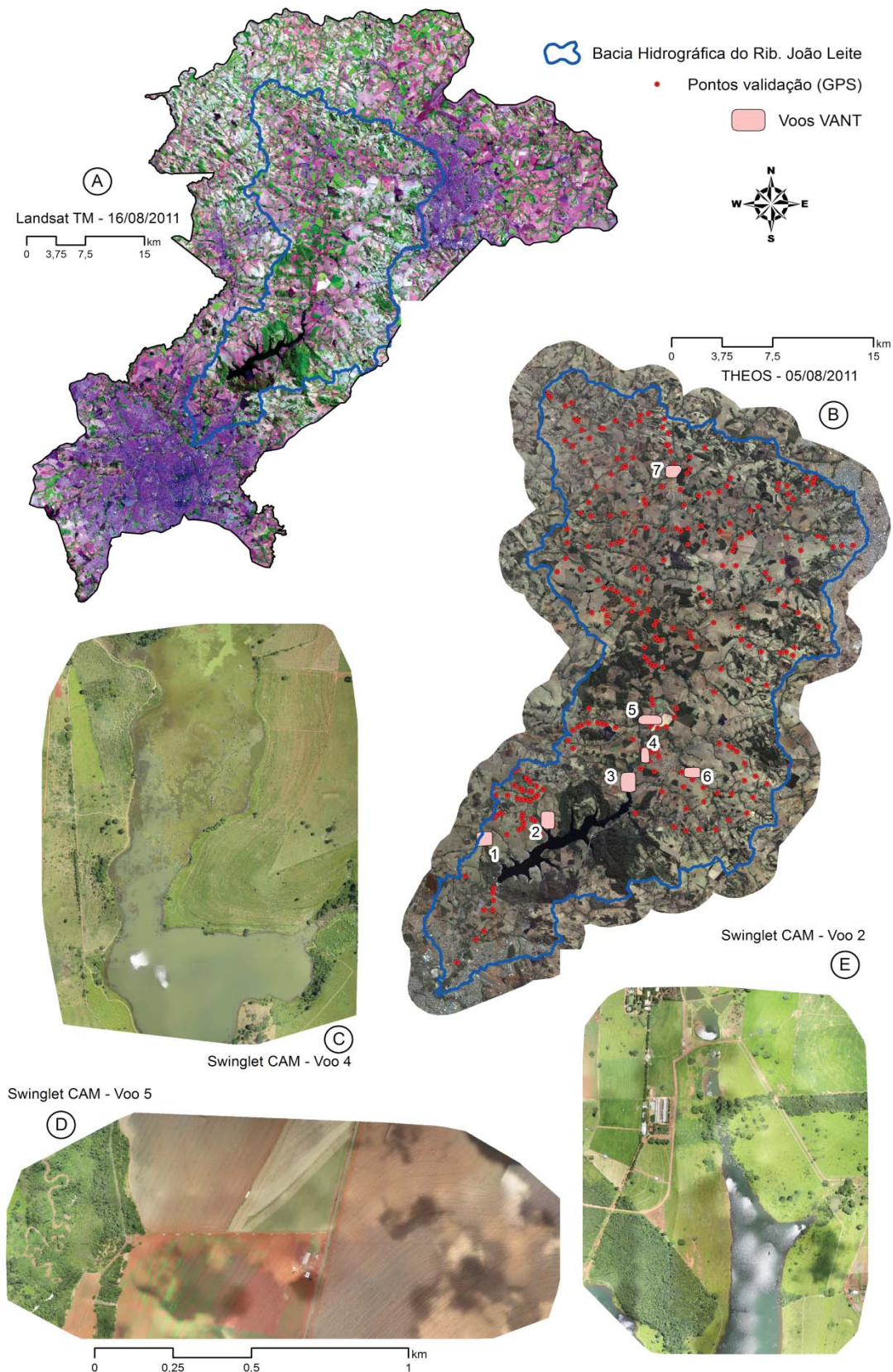


Fig. 3 – A: Imagem Landsat TM (2011) recobrendo os municípios da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite (resolução espacial de 30 metros). B: Imagem THEOS (2011) relativa à bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite. C, D, E: Voos realizados em 2013, com VANT modelo *Sense Fly – Swinglet CAM*.

$$r_i = a * vege_i + b * solo_i + c * \acute{a}gua_i + e_i \quad (2)$$

Onde  $r_i$  é a resposta da reflectancia do pixel na banda  $i$ ;  $a, b$  e  $c$  são as proporções de vegetação, solo e água, respectivamente.  $vege_i$ ,  $solo_i$  e  $\acute{a}gua_i$  são as respostas espectrais dos componentes vegetação, solo e água;  $e_i$  é o erro na banda  $i$ ,  $i$  sendo as bandas 1 a 5, e 7 dos sensores TM e ETM+.

As áreas urbanas foram delimitadas por meio do método de extração proposto por Zha *et. al.* (2003), utilizando o índice espectral *Normalized Difference Built-up Land Index* (NDBI). Esse índice, calculado por meio da equação 3, tem como base o fato de que áreas construídas apresentam maiores reflectâncias no infravermelho de ondas médias, comparativamente ao infravermelho de ondas curtas (XU HANQIU, 2007):

$$NDBI = \frac{MIR - NIR}{MIR + NIR} \quad (3)$$

Onde *MIR* é infravermelho de ondas médias e *NIR* infravermelho próximo ou ondas curtas

Através da inspeção visual e correção vetorial (em ambiente SIG) dos dados adquiridos por meio do NDBI, as áreas urbanas foram redefinidas quanto às suas formas e delimitações. É importante ressaltar que para este processo foram utilizadas imagens do mês de maio ou abril, nas quais as pastagens ainda estão verdes e, portanto, menos susceptíveis a confusão em relação às áreas urbanas.

Uma vez excluídas (mascaradas) as áreas urbanas das imagens do mês de agosto para os diversos anos, procedeu-se à segmentação e classificação supervisionada, utilizando-se o algoritmo Bhattacharya com limiar de aceitação 95% (MATHER, 1999; GUIMARÃES *et. al.*, 2009), aplicado às imagens do período seco, em especial do mês de agosto, por ser este o mês de maior contraste entre os alvos. Esse processo resultou em uma classificação preliminar, submetida à análises visuais e correções vetoriais conforme as seguintes etapas: 1) inclusão dos dados referentes às manchas urbanas, delimitadas isoladamente (NDBI); 2) identificação dos pixels não classificados, os quais foram rotulados; 3)

substituição (por vegetação) dos rótulos das áreas com alta declividade classificadas erroneamente como água; 4) utilização de imagens ao longo de todo ano para refinamento das áreas agrícolas; 5) correção, via máscara derivada da imagem fração solo, de eventuais discrepâncias e erros de classificação das superfícies cobertas por vegetação; 6) delimitação (mapa 2011), via análise das imagens THEOS e VANT *Swinglet CAM*, de áreas de extração mineral (cascalheiras) e áreas úmidas.

## 2.6 Avaliação e validação do mapa de uso e cobertura da terra 2011

A validação do mapa de cobertura e uso da terra para o ano de 2011 se baseou em dados coletados em campo com aparelho GPS de navegação (ao longo das estradas), observações visuais da imagem THEOS e dados de superfície adquiridos por meio do VANT *Sense Fly - Swinglet CAM*.

No total foram coletados 268 pontos em campo, os quais foram utilizados para cálculo da exatidão global (*Overall Accuracy*). As fotografias aéreas geradas pelo VANT foram utilizadas tanto para comparações com as imagens orbitais (2011), com vistas à confirmação e refinamento de padrões espaciais, quanto para prover, através de amostragem aleatória simples, 140 pontos de controle adicionais (20 pontos para cada mosaico). Com menos limitações em ambiente SIG, comparativamente aos dados de GPS, a partir dos pontos amostrados das fotografias aéreas foi obtida uma matriz de confusão, indicativa dos principais erros de classificação ocorridos. Além disso, dados estatísticos do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e disponíveis no portal do Instituto de pesquisas econômicas aplicadas (IPEA - <http://www.ipeadata.gov.br/>) foram utilizados para comparar a extensão das áreas de cultivo levantadas pelo Censo em 2010 e áreas mapeadas neste estudo para o ano de 2011.

## 3. RESULTADOS E DISCUSSÕES

### 3.1 Avaliação da acurácia da classificação ano 2011

O mapa de uso e cobertura da terra (2011), quando avaliado utilizando como referência 268 pontos adquiridos em campo, apresentou



uma exatidão global de aproximadamente 90% (Tabela 3). Por outro lado, a exatidão global deste mapa, estimada com base em pontos amostrados das fotografias aéreas, ficou em torno de 79% (Tabela 4), sendo que a classe “Área úmida” apresentou a maior porcentagem de erro na classificação, com todos os três pontos amostrais identificados erroneamente como vegetação, a qual, por sua vez, também apresenta certa confusão com as áreas de pastagens (Tabela 5). Quanto à classe “Agricultura”, esta apresentou exatidão próxima a 70%, tendo sido confundida principalmente com as áreas de pastagens (Tabela 4).

Tais resultados indicam o nível de detalhe e acurácia da metodologia empregada na construção do mapa 2011, sendo que em torno de 91 e 86% dos pontos colhidos sobre as áreas de pastagens e vegetação, respectivamente, foram validados positivamente. Em contrapartida, apenas 70% dos pontos de áreas cultivadas foram validados (Tabela 4). Tal fato pode ser em parte atribuído ao caráter circunstancial da agricultura na região, sendo comum a interrupção da produção ou sua substituição por pastagens.

A comparação entre as imagens Landsat, THEOS e as fotografias aéreas *Sense Fly - Swinglet CAM* também apontaram similaridades entre estes produtos, ao mesmo tempo em que possibilitou o refinamento da identificação e

separabilidade das classes representadas no mapa 2011 (Figura 4).

Comparativamente aos quantitativos de área plantada e colhida levantados em campo pelo IBGE em 2010, os dados de áreas cultivadas (2011) produzidas por este estudo são bem correlacionados ( $r^2 = 0,84$ ), ainda que discrepâncias significativas tenham sido observadas para o município de Anápolis, cuja área mapeada foi muito maior àquela informada pelo IBGE (Figura 5). Estas diferenças, por sua vez, além de associadas às dificuldades e limitações inerentes à classificação de imagens orbitais, também podem ser atribuídas à falta de exatidão nas declarações dos proprietários rurais, que ora omitem, ora superestimam dados de suas propriedades (NETO, 2011).

### 3.1 Cobertura e uso da terra 1984 – 2011

A análise visual do mapeamento da cobertura e uso da terra para os anos de 1984, 1992, 2000 e 2011 (Figura 6) indica que durante os 27 anos compreendidos nesta análise, houve um intenso processo de desmatamento e expansão urbana, principalmente nos municípios de Anápolis e Goiânia. É possível observar, de forma progressiva, a consolidação da cobertura de pastagens, a qual se torna predominante na área de estudo em 2011 (46,3%). Contudo, é interessante notar que, entre 1984 e 2011, houve uma redução de aproximadamente 3% na área

Tabela 3: Avaliação das classes do mapa de cobertura e uso da terra (2011) por meio de dados de campo (GPS)

Classes Avaliadas	Pastagem	Agricultura	Vegetação	Floresta- mento	Área úmida
Total de pontos coletados	132	68	51	12	5
Validação positiva	121	55	47	10	5
<b>Acurácia por classe</b>	<b>91,67%</b>	<b>80,88%</b>	<b>92,16%</b>	<b>83,33%</b>	<b>100,00%</b>
<b>Overall Accuracy</b>	<b>89,61%</b>				

Tabela 4: Avaliação das classes do mapa de cobertura e uso da terra (2011) por meio das fotografias aéreas (VANT)

Classes Avaliadas	Pastagem	Agricultura	Vegetação	Floresta- mento	Área úmida	Água
Total de pontos coletados	78	27	14	8	3	10
Validação positiva	71	19	12	7	0	6
<b>Acurácia por classe</b>	<b>91,0%</b>	<b>70,4%</b>	<b>85,7%</b>	<b>87,5%</b>	<b>0,0%</b>	<b>60,0%</b>
<b>Overall Accuracy</b>	<b>78,9%</b>					

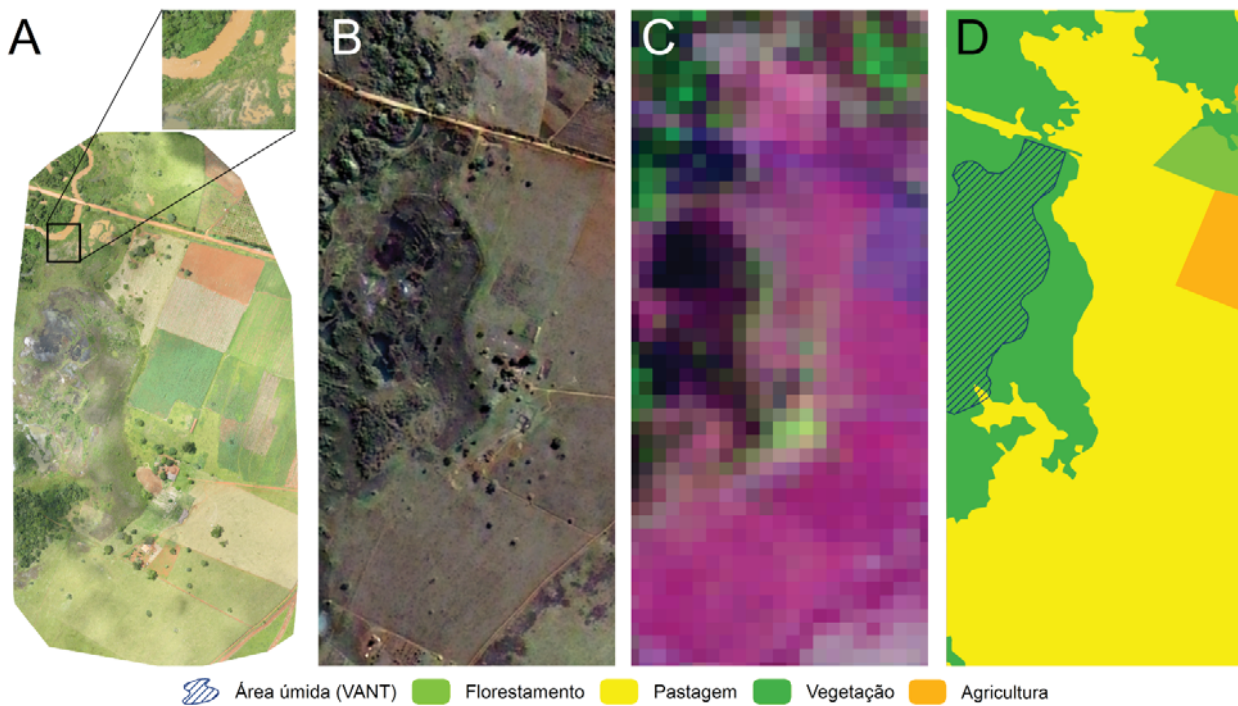


Fig. 4 - A: Fotografia aérea *Sense Fly - Swinglet CAM*, voo 3, área imageada 68,19 ha, resolução espacial de 10 cm. B: Imagem THEOS (2 metros de resolução espacial). C: Composição colorida Landsat TM (2011), resolução espacial de 30 metros. D – Classificação de cobertura e uso da terra (2011), área úmida com destaque em A não identificada inicialmente no processo de classificação

Tabela 5: Matriz de Confusão *Sense Fly - Swinglet CAM* versus Classificação de cobertura e uso da terra (2011)

		Coberturas do mundo real ( <i>Sense Fly – Swinglet CAM</i> )					
		Pastagem	Agricultura	Vegetação	Florestamento	Área úmida	Água
Classificação TM 2011	Pastagem	71	8	2	1		1
	Agricultura	2	19				1
	Vegetação	4		12		3	1
	Florestamento				7		1
	Água	1					6
	Área úmida						
<b>Total</b>		<b>78</b>	<b>27</b>	<b>14</b>	<b>8</b>	<b>3</b>	<b>9</b>

ocupada com pastagens (Tabela 6), haja vista que estas foram, em parte, absorvidas pela expansão da mancha urbana, principalmente de Goiânia.

Conforme os dados mostrados na tabela 6, constata-se, durante o período analisado (1984 – 2011), uma perda total de 315,4 km<sup>2</sup> da cobertura vegetal natural, ou aproximadamente 35% da área total vegetada existente em 1984. Cabe ressaltar que o período de maior intensificação dos desmatamentos ocorreu entre 1992 e 2000, com perda de 164,8 km<sup>2</sup> de áreas vegetadas, convertidas em áreas para uso agrícola e,

principalmente, constituição de pastagens.

Quanto as massas d'água e corpos hídricos, nota-se um incremento em 2011, em função da construção da barragem no leito do Ribeirão João Leite, que originou um reservatório com área aproximada de 10 km<sup>2</sup>, ocupando territórios dos municípios de Goiânia, Goianápolis, Terezópolis de Goiás e Nerópolis. No período analisado, o florestamento aumentou 1400 %, chegando a ocupar uma área de 52,9 km<sup>2</sup> em 2011. Tal expansão se deu pela demanda de madeira para suprir os fornos das

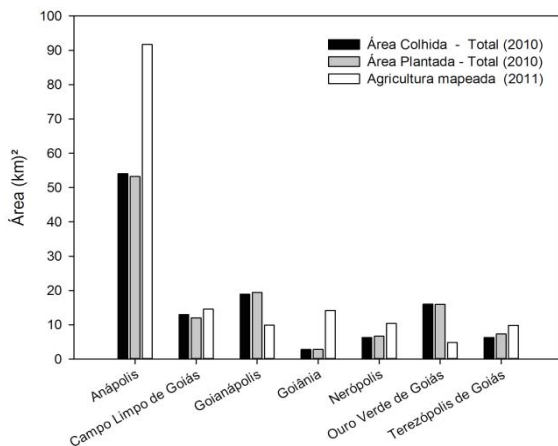


Fig. 5 - Comparativo entre área colhida e plantada em 2010 (IBGE / dados totais municipais) e agricultura mapeada a partir das imagens TM (2011).

olarias encontradas na região, o que resultou em extensas áreas de eucalipto plantadas entre 2000 – 2011, principalmente no município de Campo Limpo de Goiás, após sua emancipação, ocorrida em julho de 1997.

As áreas de cultivo apresentam-se distribuídas por toda a área de estudo, porém, é nítida a concentração na região leste do município de Anápolis, a partir de 1992, haja vista seus relevos aplainados, favoráveis à mecanização e desenvolvimento de monoculturas, principalmente soja, cana e milho. Não por outro motivo, esta área possui propriedades com maior tamanho médio em relação as áreas da bacia, o que aponta para práticas de agricultura não familiar.

As áreas urbanas apresentam um caráter muito peculiar em cada um dos sete municípios, os quais podem ser divididos em dois grupos: 1) Goiânia e Anápolis, com crescimento vertiginoso da área ocupada (Tabela 7), correspondendo à 96% de toda expansão urbana. Goiânia, como metrópole regional e capital do estado, responde por 77% desta expansão, tendo registrando um crescimento de 205,1 km<sup>2</sup>, i.e. um aumento de 43% em 27 anos. Anápolis também apresentou expressiva expansão da malha urbana, registrando no mesmo período um crescimento de 48 km<sup>2</sup>. 2) Os demais cinco municípios, com expressão urbana substancialmente menor, entre eles Ouro Verde de Goiás, com 0,7 km<sup>2</sup>, i.e. 517 vezes menor que Goiânia e apenas 0,13% do total de toda área urbanizada.

A figura 7 mostra a dinâmica espacial da expansão urbana nos municípios da bacia do Ribeirão João Leite entre 1984 e 2011, sendo possível observar o destaque para Goiânia e Anápolis e a forte influência das rodovias no processo de expansão urbana, principalmente em Goiânia, onde os maiores eixos de crescimento estão localizados na região oeste e sudeste do município, coincidentes com as rodovias GO 060, GO 070 e BR 060. Sem entraves à urbanização, esta região teve forte ocupação entre o período de 2000 e 2011, quando a cidade cresceu 113,2 km<sup>2</sup>. A influência rodoviária na expansão urbana também é percebida ao norte e a sudeste de Goiânia, ao longo da GO 462 e BR 352, respectivamente.

Conforme observado na figura 7, o padrão de crescimento em Goiânia se dá em função da fragmentação de seu tecido urbano. Esta prática, comum à especulação do mercado imobiliário, cria espaços vazios, os quais, além de servirem como justificativa para futuros parcelamentos, também atuam como elemento valorizador de terras, outroras rurais.

Trazendo os valores da expansão urbana à uma escala possível de comparação, através da razão entre expansão urbana e crescimento populacional, pode-se inferir se uma cidade cresceu de forma mais concentrada ou dispersa no espaço. Seguindo esta lógica, e destacando as três principais cidades consideradas neste estudo, Goiânia com índice de 0,52, se confirma a cidade com a maior dispersão do tecido urbano, relativamente ao crescimento populacional. Anápolis e Nerópolis, por sua vez, com índices de 0,43 e 0,28, respectivamente, apresentaram um crescimento bem mais compacto, sugerindo um melhor aproveitamento dos espaços e um desenvolvimento mais sustentável do ponto de vista ambiental e social.

Especificamente em relação à função do reservatório (i.e. abastecimento de água de qualidade), é importante ressaltar que o processo de expansão urbana em Goiânia, predominantemente ao longo das direções oeste e sul, não se constitui em uma ameaça premente. Da mesma forma, e ainda que ao norte e nordeste do município, em direção ao reservatório, sejam encontrados os maiores estoques de terras, a pressão de parcelamento e urbanização destes foi substancialmente reduzida em função da área da

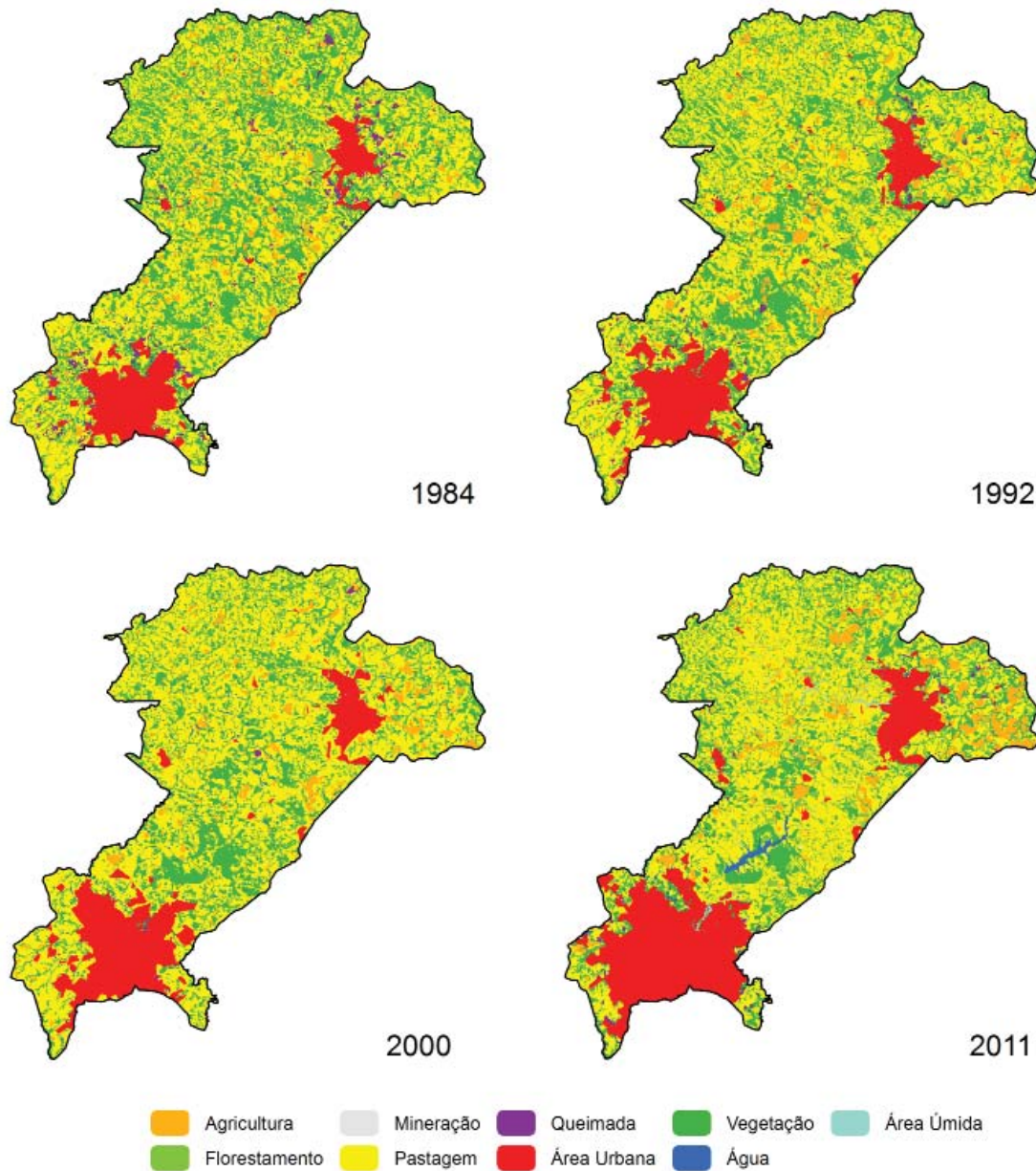


Fig. 6 - Dinâmica da cobertura e uso da terra (1984 a 2011) para os municípios da bacia do Ribeirão João Leite

bacia hidrográfica se constituir em uma Área de Preservação Ambiental (APA), bem como pela presença de unidades de conservação (Parque Altamiro de Moura Pacheco e o Parque dos Ipês) e de uma ampla faixa de proteção desapropriada pela companhia de Saneamento de Goiás S/A (SANEAGO).

Por outro lado, vários outros fatores que colocam em risco a qualidade da água do reservatório merecem atenção. Entre eles, a utilização de agrotóxico nas áreas de cultivo, que pode acelerar os processos de eutrofização da água e afetar a saúde dos seres vivos em geral (WHO, 2004), e a extensa cobertura de pastagens na bacia (em 2011, 452 km<sup>2</sup> ou 59%

da área total). Estas pastagens, em grande parte degradada e sem o adequado manejo, favorecem o transporte de partículas de solo, o que pode causar, além de turbidez na água, o assoreamento de cursos e até mesmo a diminuição da vida útil do reservatório.

#### 4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

Este artigo buscou analisar as mudanças na cobertura e uso da terra dos municípios da bacia hidrográfica do Ribeirão João Leite (Goiás) por meio de uma abordagem multitemporal, utilizando vários níveis de aquisição (orbital e aéreo), bem como múltiplas resoluções espaciais. Os resultados confirmam a intensa e rápida

Tabela 6: Quantificação da cobertura e uso da terra e estatísticas para os anos 1984 – 2011

Classes de uso e cobertura da terra	1984		1992		2000		2011		Mudança Relativa, 1984 - 2011 (%)
	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	km <sup>2</sup>	%	
Vegetação	904,2	36,2	824,8	33,0	660	26,4	588,8	23,6	-34,88
Área úmida	-	-	-	-	-	-	17,0	0,7	-
Água	25,5	1,0	5,2	0,2	19,7	0,8	34,5	1,4	23,54
Florestamento	3,6	0,1	3,2	0,1	3,3	0,1	52,9	2,1	1382,75
Pastagem	1192,0	47,7	1241,2	49,7	1367,2	54,8	1155,1	46,3	-3,10
Agricultura	105,6	4,2	123,6	4,9	113,5	4,5	155,4	6,2	47,15
Área urbana	215,5	8,6	270,2	10,8	329,5	13,2	479,1	19,2	122,26
Mineração	-	-	-	-	-	-	0,4	0,0	-
Queimada	50,2	2,0	27,9	1,1	2,6	0,1	13,5	0,5	-73,07
Total	2497	100	2496	100	2496	100	2497	100	

Tabela 7: População nos municípios da bacia do Ribeirão João Leite, e crescimento urbano, para os anos de 1984, 1992, 2000 e 2011.

Município	Área (km <sup>2</sup> )	População					Cres. Pop.	Área Urbana				exp. urbana (km <sup>2</sup> )
		1984	1992	2000	2011	1984		1992	2000	2011		
Anápolis	916,8	225.840	244.736	288.085	338.544	112.704	54,1	65,8	71,8	102,3	48,2	
Campo Limpo de Goiás	157,3	-	-	-	6.360	-	0,3	0,4	0,8	1,4	1,2	
Goianápolis	161,1	7.758	7.457	10.671	10.697	2.939	0,9	1,8	2,1	2,8	1,9	
Goiânia	737,6	923.333	940.757	1.093.007	1.318.148	394.815	157,4	197,6	249,2	362,4	205,1	
Nerópolis	204,3	10.338	13.338	18.578	24.642	14.304	2,1	2,8	3,7	6,1	4,0	
Ouro Verde	210,5	3.066	4.296	4.358	4.009	943	0,2	0,4	0,4	0,7	0,5	
Terezópolis de Goiás	108,1	-	3.589	5.083	6.674	3.085 <sup>1</sup>	0,7	1,2	1,3	3,4	2,7	
Total MBRJL	2495,7	944.495	1.214.173	1.419.782	1.709.074	528.790	215,5	270,0	329,3	479,1	263,5	

<sup>1</sup> Crescimento populacional para o período 1992 - 2011

conversão de áreas vegetadas e sua apropriação para atividades antrópicas, predominantemente agrícolas, uma característica comum à quase totalidade do bioma Cerrado. Da mesma forma, constatou-se um processo de urbanização bastante expressivo, principalmente em relação aos municípios de Goiânia e Anápolis. Contudo, e em que pesem os altos índices de crescimento, a expansão urbana não se constitui em ameaça premente ao reservatório formado a partir do represamento do Ribeirão João Leite. Por outro lado, as extensas áreas de pastagens e cultivo mapeadas merecem atenção e monitoramento sistemático, haja vista os impactos potenciais e significativos relacionados à produção e transporte de material particulado e contaminação por agrotóxicos.

O claro sinergismo observado entre os vários produtos de sensoriamento remoto utilizados neste estudo foi fundamental para o entendimento e redução dos erros de omissão e comissão inerentes ao mapeamento à escala da paisagem (~ 1:100.000). Ao mesmo tempo em que mais uma vez se confirmou o enorme potencial e desempenho operacional das imagens Landsat para mapeamentos sistemáticos da cobertura e uso da terra em abordagens locais e regionais, também foi demonstrado, de forma inequívoca, o potencial da imagem THEOS e das fotografias aéreas *Swinglet CAM* tanto para a validação quanto para o refinamento e atualização destes mapeamentos.

Em fato, enquanto dados tipo Landsat, i.e. imagens com resoluções entre 20 e 30

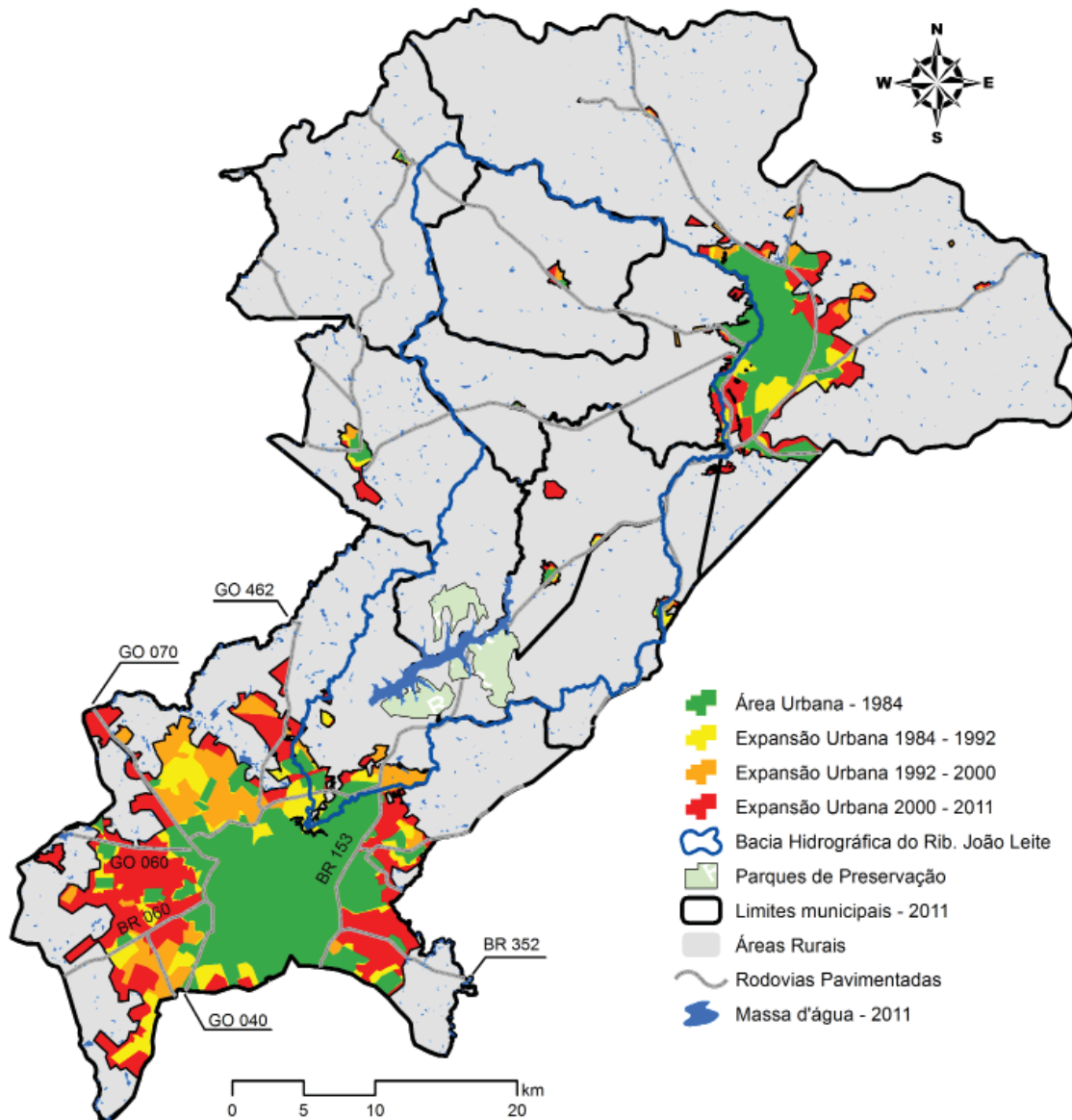


Fig. 7 - Dinâmica espacial da expansão urbana nos municípios da bacia do Ribeirão João Leite entre 1984 e 2011.

metros, à exemplo das fornecidas pelos sensores CBERS CCD e, em breve, pelo novo sensor *Operational Land Imager* (OLI), a bordo do recém lançado Landsat 8 (USGS, 2013), apresentam boa capacidade de discriminação dos principais alvos presentes na superfície terrestre, além de serem disponibilizados, em geral, de forma gratuita, dados orbitais de alta resolução espacial ( $> 5m$ , à exemplo das imagens GeoEye, Worldview 2 e RapidEye), ou mesmo aerotransportados, como aqueles obtidos via VANT, tendem a se tornar cada vez mais presentes e integrados, com vistas à obtenção de informações estatisticamente confiáveis e efetivamente passíveis de atualizações e/ou

detalhamentos futuros à escalas maiores.

Em fato, os VANT, com aplicações potenciais no mapeamento e detecções em geral (ex. destamamentos) e monitoramento contínuo de eventos (ex. assoreamento e contaminação de corpos hídricos), certamente irão revolucionar a área das geotecnologias, ocupando um espaço antes só ocupado pelos métodos aerofotogramétricos convencionais (NASA, 2006).

Por fim, reitera-se o papel da cartografia multitemporal da cobertura e uso da terra, como a realizada neste estudo, cujas representações consistentes do espaço se constituem em importante subsídio às decisões voltadas à gestão

territorial e, conseqüentemente, em importante instrumento na busca de uma sociedade mais justa e ambientalmente referenciada.

### AGRADECIMENTOS

Este trabalho se insere entre as várias iniciativas do Laboratório de Processamento de Imagens e Geoprocessamento do Instituto de Estudos Sócio-Ambientais da Universidade Federal de Goiás (LAPIG / IESA / UFG – www.lapig.iesa.ufg.br) voltadas ao monitoramento sistemático e gestão territorial do bioma Cerrado. O primeiro e segundo autores são bolsistas do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) (mestrado e produtividade em pesquisa, respectivamente). Os autores também agradecem à Agência Nacional de Águas (ANA) e à OSCIP Bioma Brasil pela disponibilização da imagem THEOS e apoio nos levantamentos de campo, bem como à Pix4D, a qual nos concedeu uma licença educacional do software Pix4Dmapper.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ALTMANN, A. L.; ECKHARDT, R. R.; REMPEL, C. Evolução Temporal Do Uso E Cobertura Da Terra - Estudo De Caso No Município De Teutônia - Rs - Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia** No 61/03, 273 – 283, 2009.
- ADEOYE, O. N. Spatio-Temporal Analysis of Land Use/Cover Change of Lokoja - A Confluence Town. **Journal of Geography and Geology**; Vol. 4, No. 4; p. 40 -51, 2012.
- CHANDER, G., B. MARKHAM., D. HELDER. Summary of current radiometric calibration coefficients for Landsat MSS, TM, ETM+, and EO-1 ALI sensors. **Remote Sensing of the Environment**, Vol. 113, p. 893-903, 2009.
- CHAUL, N. F. **A construção de Goiânia e a transferência da capital**. Goiânia: Cegraf-UFG 1988.
- COSTANZA, R., R. D'ARGE, R. DE GROOT, S. FARBER, M. Grasso, B. HANNON, S. Naeem, K. LIMBURG, J. PARUELO, R.V. O'NEILL, R. RASKIN, P. SUTTON, M. BELT, V. D. M. The value of the world's ecosystem services and natural capital. **Nature** 387:253-260, 1997.
- ESTEVAM, Luis. **O Tempo da Transformação: estrutura e dinâmica da Formação Econômica de Goiás**. Goiânia: Ed. do Autor, 1998. 238 p.
- FERREIRA, L.G.; FERREIRA, N.C.; FERREIRA, M.E. Sensoriamento remoto da vegetação: evolução e estado da arte. **Acta Sci. Biol. Sci**,v. 30, n. 4, p. 379-390, 2008.
- FERREIRA, M. E.; FERREIRA, L. G.; SANO, E. E.; SHIMABUKURO, Y. E. Spectral linear mixture modelling approaches for land cover mapping of tropical savanna areas in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28,n. 2, p. 413-429, 2007.
- GUERRA, A. J. T.; MARÇAL, M. dos S. **Geomorfologia Ambiental**. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2006. 192p.
- GUIMARAES, A. S.; SILVA, F. F. ; GHERARDI, D. F. M. ; FONSECA, L. M. G. . Delimitação de zonas de amortecimento em unidades de conservação: o caso da reserva extrativista Acaú/Goiana. In: XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 2009, Natal. **ANAI DO XIV SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**. São José dos Campos: INPE, 2009. p. 4593-4598.
- HANQIU, XU. Extraction of Urban Built-up Land Features from Landsat Imagery Using a Thematic Oriented Index Combination Technique. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, 1381-1391, 2007.
- IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo demográfico 2010**: resultados. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/estatistica/populacao/censo2010/>. Acesso em 03/08/2012.
- JEPSON, W. A disappearing biome? Reconsidering land cover change in the Brazilian savanna. **The Geographical Journal**. 17, pp. 99–111, 2005.
- KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. Conservation of the Brazilian Cerrado. **Conservation Biology**, vol. 19, n.3, p. 707-713, 2005.
- MATHER, P. M. **Computer processing of remotely-sensed images: an introduction**. 2ed. Chichester: John Wiley & Sons, 1999. 292 p.
- NASCIMENTO, M. A.; PODESTÁ Filho, A. Carta de risco de Goiânia. **Boletim Goiano de**

- Geografia**. Goiânia, v.13, n.1, p. 95 – 105, 1993
- NASA. **Earth Observations and the Role of UAVs**. 2006 disponível em [http://www.nasa.gov/centers/dryden/pdf/175939main\\_Earth\\_Obs\\_UAV\\_Vol\\_1\\_v1.1\\_Final.pdf](http://www.nasa.gov/centers/dryden/pdf/175939main_Earth_Obs_UAV_Vol_1_v1.1_Final.pdf)
- NAYAK, S.; MANDAL, M.; Impact of Land Use and Land Cover Change on Temperature Trends over Western India. **Current Science**, Vol. 102, No. 8, pp. 1166-1173. (2012)
- NETO, A. T. Estrutura Fundiária do Estado de Goiás – 2003. **Boletim Goiano de Geografia**. Goiânia, v.31, n.2, p. 129 – 160, jul/dez. 2011.
- SANEAGO, 2012. **As obras do Sistema que vai abastecer moradores da Grande Goiânia até o ano de 2040 serão visitadas pelo governador Marconi Perillo nesta sexta-feira**. Disponível em: <http://www.saneago.com.br/>. Acesso em 03/08/2012
- SEMARH – Secretaria do Meio Ambiente e dos Recursos Hídricos. Instituto de Desenvolvimento Tecnológico do Centro Oeste - ITCO. **Plano de Manejo APA João Leite** - Goiânia, 2007. 264 p.
- SOUSA, S. B. Impactos da Implantação da Barragem no Ribeirão João Leite Sobre a Oferta de Hortifruti Na Grande Goiânia. **Boletim Goiano de Geografia**, v. 33, p. 155-176, 2013.
- SOUSA, S. B.; FERREIRA, L. G. Análise da temperatura de superfície em ambientes urbanos: um estudo por meio de sensoriamento remoto no município de Goiânia, Goiás (2002 – 2011), **Confins** [Online], v. 15. URL : <http://confins.revues.org/7631> ; DOI : 10.4000/confins.7631, 2012.
- USGS. United States Geological Survey. **Landsat 8 (LDCM)**. Disponível em: <http://http://landsat.usgs.gov/>. Acesso em 19/03/2013.
- WHO. World Health Organization. **Guidelines for Drinking-Water Quality**. Geneva. Third edition. 2004. 668 p.
- YUAN, F.; SAWAYA, K. E.; LOEFFELHOLZ, B. C.; BAUER, M. E. Land cover classification and change analysis of the Twin Cities (Minnesota) Metropolitan Area by multitemporal Landsat remote sensing. **Remote Sensing of Environment** 98. 317 – 328, 2005.
- ZHA, Y.; GAO, J.; NI, S. Use of normalized difference built-up index in automatically mapping urban areas from tm imagery. **International Journal of Remote Sensing**, v. 24, n. 3, p. 583–594, 2003.