

Mobília e papel: análise temporal da silvicultura no município de Curitibanos - SC

Marco Aurélio Virtuoso^{1,2}
Livia Corrêa Crispim^{1,2}
Daniel Alves Aguiar²
Lucas Tessmann Schwalm³
Carlos Antônio Oliveira Vieira¹

¹Universidade Federal de Santa Catarina - UFSC
Florianópolis - SC, Brasil
marcovirtuoso@gmail.com
carlos.vieira@ufsc.br

²Agrosatélite Geotecnologia Aplicada
Florianópolis - SC, Brasil
{marco,livia,daniel}@agrosatelite.com.br

³Universidade do Extremo Sul Catarinense - UNESC
Criciúma - SC, Brasil
lucas.estop@gmail.com

Abstract. Given the importance of the preservation of Araucaria forests and the requirement to monitor the growth of forest masses for commercial purposes (Pinus and Eucalyptus), the use of remote sensing techniques is necessary because they allow to monitor large areas in a continuous and repetitive way. Regard this, the main objective of this article was to evaluate the dynamics of silvicultural expansion in Curitibanos - SC, from 2002 to 2016, using TM and OLI sensor images. The method used for the supervised classification of images was the maximum likelihood (MAXVER), and the collection of samples for classifier training were guided by visual identification techniques of the features that characterize the classes of interest, based on the interpretation key. This analysis showed the expansion of silviculture activities in Curitibanos - SC, where the plantations of Pinus and Eucalyptus, grew 510.4% and 557.9% between 2002 and 2016, respectively. It was also observed that 72.9% of the area classified as native vegetation in 2002 remained in 2016, while the agriculture and livestock class showed a reduction of 16.8%, this indicates the expansion of silviculture activities. This research indicates the importance of tools for monitoring land use and land cover change in territorial management applied to municipal scale.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, temporal analysis, cover mapping, sensoriamento remoto, processamento digital de imagens, análise temporal, mapeamento da cobertura da terra.

1. Introdução

Estima-se que a área de florestas plantadas no planeta aproxima-se de 264 milhões de hectares, o que representa cerca de 7% de todas as florestas globais e 22% das florestas destinadas à exploração comercial. A maior parte das áreas de floresta plantadas (61%) localiza-se na China, Índia e Estados Unidos. O Brasil, apesar de deter uma pequena parte do plantio de florestas (7,8 Mha), contribui anualmente com 17% de toda a madeira colhida, configurando-se o quarto maior produtor mundial de celulose e o nono maior produtor de papel do mundo (IBÁ, 2016).

O setor florestal brasileiro caracteriza-se por ser diverso, sendo composto basicamente por três cadeias produtivas: madeira industrial (celulose, papel e painéis de madeira reconstituída), processamento mecânico de madeira (serrados e compensados) e a madeira destinada à produção de energia (FBDS, 2014).

Historicamente, o processo de desflorestamento no estado de Santa Catarina foi impulsionado pela extração de madeira para infraestruturas, pela atividade agropecuária e pela indústria madeireira, que teve forte impulso no século XX (Carvalho, 2011).

A região do planalto Catarinense, atualmente a principal região produtora de Eucalipto e Pinus, caracterizou-se inicialmente como região produtora de gado de corte, em função da expansão pecuária. A partir da década de 1970, as políticas públicas incentivaram a indústrias de móveis, em expansão no estado (Carvalho, 2011).

Para atender as indústrias moveleiras e de papel e celulose, o estado de Santa Catarina aparece como o segundo estado brasileiro em plantio de Pinus, apresentando em 2015, mais de 542 mil ha de árvores plantadas e 116 mil ha de Eucalipto. As florestas remanescentes de Araucária, inseridas nas áreas de vegetação nativa referente à Floresta Ombrófila Mista não apresentaram redução significativa (IBA, 2016).

Dada a importância de preservação das florestas de araucária e a necessidade de monitoramento do crescimento dos maciços florestais para fins comerciais (Pinus e Eucalipto), o uso de técnicas que permitam monitorar grandes áreas de modo contínuo se faz necessário. Dessa forma, imagens de sensoriamento remoto (SR) adquiridas de plataformas orbitais permitem monitorar extensas áreas de forma repetitiva. Diversos trabalhos demonstraram a eficácia do uso de imagens de SR no monitoramento de florestas plantadas e nativas (GWF, 2016; Le Maire *et al.*, 2014; Câmara *et al.*, 2006).

Neste sentido, o objetivo desta pesquisa foi avaliar a dinâmica de expansão da silvicultura no município de Curitibanos, no período de 2002 a 2016, com o uso de imagens dos sensores TM e OLI.

2. Material e Método

2.1 Caracterização da área de Estudo

A área de estudos compreende o município de Curitibanos que possui uma localização privilegiada (Figura 1) com acesso facilitado ao estado do Paraná e regiões Oeste e Litoral de Santa Catarina, fator que garante uma vantagem estratégica e logística, como um dos principais municípios da região do planalto Catarinense.

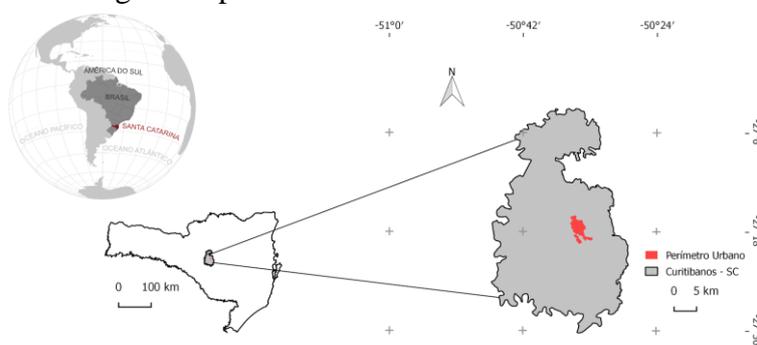


Figura 1. Mapa de localização do município de Curitibanos - SC.

O município de Curitibanos possui população estimada de 39.2 mil/habitantes (IBGE, 2016) em uma área de aproximadamente 940.000 km². Além das áreas de silvicultura, de acordo com o levantamento da Produção Agrícola Municipal (IBGE, 2015), há agricultura de subsistência e para comercialização local, onde se destacam as culturas de milho e trigo.

2.2 Dados de sensoriamento remoto e auxiliares

As imagens utilizadas para a classificação do uso e cobertura da terra no município de Curitibanos/SC foram adquiridas pelos sensores TM e OLI a bordo das plataformas Landsat 5 e 8 referentes à órbita/ponto 221/79 dos meses de Março de 2002 (TM/Landsat-5), 29 de julho de 2013 (OLI/Landsat-8) e 02 de maio de 2016 (OLI/Landsat-8) e são relativas aos produtos *Landsat Surface Reflectance Code* (LaSRC) para imagens do sensor OLI e *Satellite Signal in the Solar Spectrum* (6S) para as imagens do sensor TM, ambos com correção atmosférica e

geométrica e com resolução espacial de 30m para as bandas espectrais utilizadas neste estudo (Tabela 1).

Tabela 1. Bandas utilizadas para a classificação.

TM/Landsat-5 (Comp. de onda - μ)	OLI/Landsat-8 (Comp. de onda - μ)
Banda 1 (0.45 - 0.52)	Banda 2 (0.43 - 0.51)
Banda 2 (0.52 - 0.60)	Banda 3 (0.53 - 0.59)
Banda 3 (0.63 - 0.69)	Banda 4 (0.64 - 0.67)
Banda 4 (0.76 - 0.90)	Banda 5 (0.85 - 0.88)
Banda 5 (1.55 - 1.75)	Banda 6 (1.57 - 1.65)
Banda 7 (2.08 - 2.35)	Banda 7 (2.11 - 2.29)

Adicionalmente, para auxiliar na etapa de identificação do uso e cobertura da terra ao longo do período avaliado, foram utilizadas séries temporais de *Enhanced Vegetation Index* (EVI; Huete *et al.*, 1997) do período de 2002-2016 do sensor *Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer* (MODIS; Justice *et al.*, 2002). De acordo com Adami *et al.* (2012), as métricas extraídas de séries temporais de imagens MODIS permitem identificar a dinâmica de uso e cobertura da terra, já que a variação do EVI ao longo do tempo é a resposta do comportamento fenológico e sazonal da vegetação. Para a etapa de validação, como referência de uso e cobertura da terra, foram utilizadas as imagens de alta resolução disponíveis entre os anos de 2013-2014 na plataforma Google Earth Pro.

2.3 Classificação Supervisionada

O método adotado para classificação supervisionada das imagens foi o da máxima verossimilhança (MAXVER), que é uma regra de decisão relacionada a um método paramétrico, cuja classificação se baseia na maior probabilidade de pertencimento de um pixel a uma classe. Para tanto, assume-se a distribuição estatística normal a partir da matriz de variância, covariância e médias das classes (Mather, 1999).

As técnicas de classificação da máxima verossimilhança foram adotadas para análise multiespectral "pixel a pixel". Portanto, em tese, quanto maior for o número de pixels na extração do subconjunto amostral, melhor será o treinamento do MAXVER.

Os passos adotados para aplicar este classificador resumem-se inicialmente na definição das classes de interesse. Para este estudo foram selecionadas 6 classes informacionais: I (Vegetação Florestal Nativa), II (Uso Agropecuário), III (Solo exposto), IV (Corpo D'água), V (Silvicultura, Pinus), VI (Silvicultura, Eucalipto). Em seguida foi realizada uma seleção do subconjunto das amostras para treinamento, por região de interesse (Figura 2a e 2b). O processo de pós-classificação compreendeu utilização de um filtro estatístico da moda, a partir de uma janela móvel 3x3, técnica que tem por objetivo a minimização dos efeitos de ruídos na imagem temática gerada. Todos os passos supracitados foram executados individualmente para os três anos de análise, i.e., 2002, 2013 e 2016, utilizando amostras independentes para treinamento e teste da regra de decisão.

A coleta de amostras para treinamento do classificador supervisionado foi orientada por técnicas de identificação visual das feições que caracterizam as classes de interesse, a partir de chave de interpretação. De acordo com Silva *et al.* (2010), as áreas de floresta plantada, por exemplo, podem ser identificadas em imagens de sensores orbitais, em geral, por suas formas geométricas, textura lisa e presença de sombras no entorno dos talhões, sendo que esta última é a principal característica de diferenciação de tipologia de silvicultura, visto que o Pinus tem mais sombreamento em comparação ao eucalipto (Figura 2a).

Nesta etapa também foram utilizadas as séries temporais de EVI/MODIS (<https://www.satveg.cnptia.embrapa.br/satveg>) que permitiram ao intérprete obter informações históricas do uso e cobertura da terra para cada pixel MODIS de 250m x 250m, auxiliando na coleta correta de amostras das classes de uso e cobertura da terra.

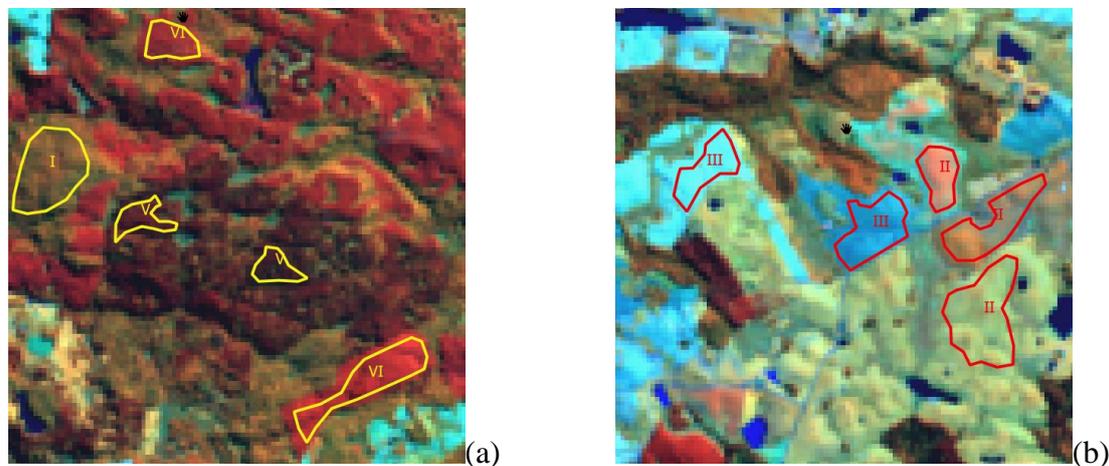


Figura 2. Exemplo de amostras para treinamento coletadas sobre imagens OLI. Classes I, VI e V (a) e II e III (b).

2.4 Método de Validação

Para a validação do mapa de uso e cobertura da terra foi elaborada uma grade de 50 pontos distribuídos de forma aleatória sobre o mapa temático resultante da classificação de 2013. Esses pontos foram classificados com base na interpretação visual de imagens de alta resolução espacial disponíveis na plataforma Google Earth Pro. Este método de validação adotado é uma adaptação de Adami *et al.* (2012), que prevê a obtenção de pontos de referência sem visita à campo, assumindo que a interpretação visual de imagens de alta resolução para classes genéricas de uso e cobertura da terra, como as adotadas neste trabalho permitem a avaliação de acurácia de mapas gerados com base em imagens de média resolução espacial (Landsat/TM e OLI).

A avaliação de acurácia da classificação foi realizada apenas para o ano de 2013, já que apenas para este ano haviam imagens de alta resolução disponível. Considerando que a metodologia adotada foi a mesma para os três anos e que as imagens utilizadas são corrigidas atmosféricamente, a acurácia encontrada para o ano de 2013 pôde ser associada ao resultado da classificação para os outros anos.

Em linhas gerais, o método compreendeu as seguintes etapas: distribuição aleatória de pontos sobre as imagens utilizadas para classificação; interpretação visual desses pontos com base em imagens de alta resolução (adquiridas na mesma época ou mais próximo possível das datas das imagens Landsat) e em séries temporais de EVI/MODIS e; avaliação da acurácia dos mapas com base em índice kappa e exatidão global.

3. Resultados e Discussão

A seleção das amostras foi realizada dentro do limite municipal, desconsiderando a área de Mancha Urbana (VII), previamente identificada com base em imagens de alta resolução e considerada como máscara de exclusão nos três anos de avaliação. Após a coleta de amostras de treinamento, o classificador foi treinado e foram gerados os mapas temáticos (Figura 3) para cada ano avaliado (2002, 2013 e 2016).

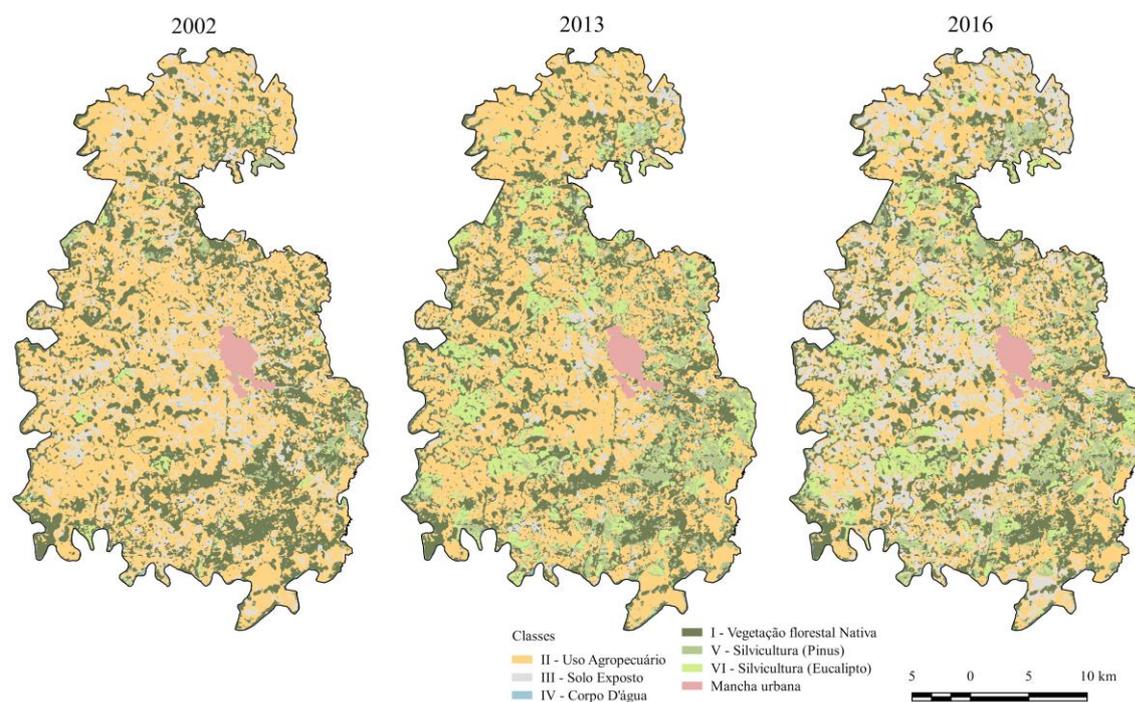


Figura 3. Mapas temáticos resultantes - município de Curitiba - SC.

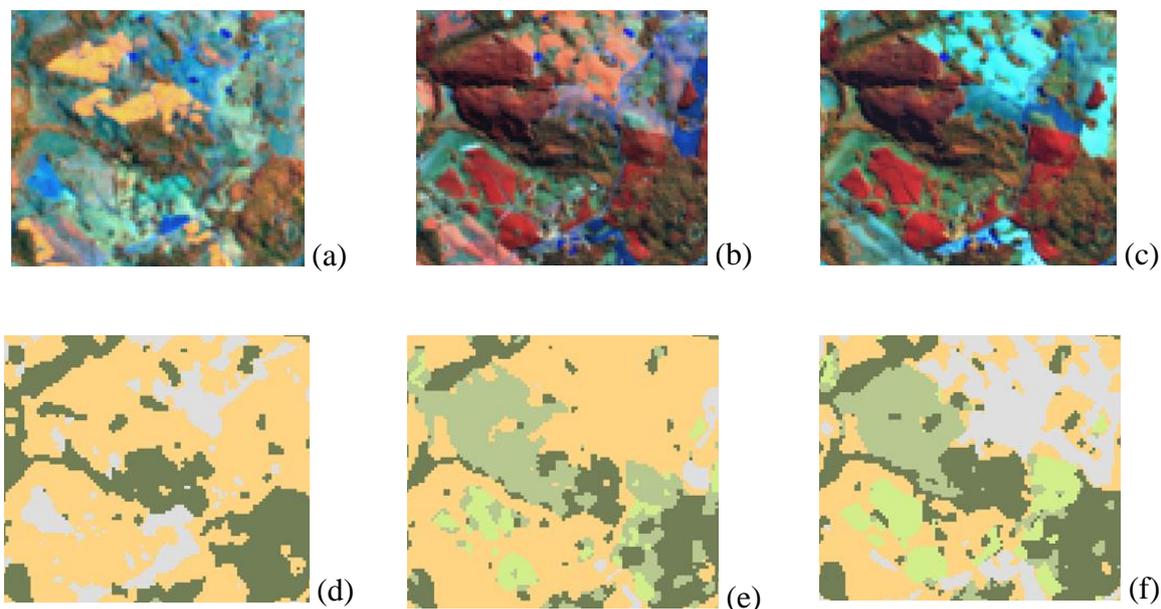


Figura 4. Imagem Landsat TM, composição das bandas 4R5G3B, referente 03/2002 (a); Imagens Landsat OLI, composição das bandas 5R6G4B, referente a 07/2013 (b) e 07/2013 (c); Mudança do uso e cobertura 2002 (d); 2013 (e); e 2016 (f).

3.1 Validação da classificação

A acurácia do mapeamento foi avaliada a partir de uma matriz de erro (Tabela 2) entre o resultado da classificação supervisionada e os pontos de referência (Figura 5; Congalton & Green, 2009). Este processo levou em consideração 50 pontos independentes distribuídos aleatoriamente dentro da área do município de Curitiba.

Tabela 2. Matriz de erro/confusão, na qual: I (Vegetação Florestal Nativa), II (Uso Agropecuário, III (Solo exposto), IV (Corpo D'água), V (Silvicultura, Pinus), VI (Silvicultura, Eucalipto).

Classes	I	II	III	IV	V	VI	Total	Usuário
I	9	0	0	0	0	0	9	100
II	0	14	3	0	0	0	17	82.4
III	0	1	1	0	0	0	2	50
IV	0	0	0	2	0	0	2	100
V	3	0	0	0	8	0	11	72.7
VI	0	0	0	0	1	8	9	88.9
Total	12	15	4	2	9	8	50	
Produtor	75	93.3	25	100	88.9	100		84

Observa-se que no geral os índices derivados da matriz de erro apresentaram valores satisfatórios. A exatidão global observada foi de 84%, índice Kappa e sua variância igual a 0,80 e 0,00427, respectivamente - com 95% de graus de confiança. O valor do teste Z Estatístico obtido foi de 12,17 - enquanto que o valor tabelado de Z foi de 1,96. Assim, dada a hipótese nula $H_0: Kappa = 0$, e a hipótese alternativa $H_1: Kappa <> 0$, H_0 foi rejeitada. Como o valor do teste Z estatístico foi maior do que o seu valor tabelado, assumindo 5% de erro, os resultados são considerados significativos, e neste caso as classificações são significativamente melhores do que uma classificação aleatória.

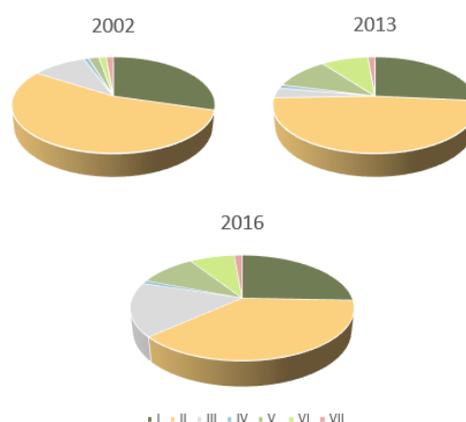
O maior erro na classe Solo Exposto (III) justifica-se pela dificuldade de se encontrar amostras representativas de toda a variabilidade desta classe, considerando os diferentes tipos de solo, técnicas de manejo adotadas e condições de umidade do solo na passagem do sensor orbital, fatores que influenciam na resposta espectral do alvo.

3.2 Análise multitemporal das classes e interpretação

A Tabela 3 apresenta as áreas das classes temáticas em cada ano analisado, bem como as mudanças de uso e cobertura da terra ocorridas nos períodos de 2002 a 2013 e 2013 a 2016. A superfície do município de Curitibaanos era ocupada majoritariamente por Agropecuária (II), com 54,5% da área municipal em 2002, já em 2016 este uso ocupava apenas 37,7% da área municipal. Destaque para os plantios de Pinus (V) e Eucalipto (VI), que cresceram 510,4% e 557,9% entre 2002 e 2016, respectivamente.

Tabela 3. Classes de uso e cobertura da terra (ha) em 2002, 2013 e 2016 e mudança nos períodos de 2002-2013 e 2013-2016

Classes	Total (ha)		
	2002	2013	2016
I	27.677	24.76	23.948
II	50.907	44.817	35.254
III	9.584	3.176	15.492
IV	889	1.119	941
V	1.823	10.008	9.305
VI	1.297	8.297	7.237
VII	1.281	1.281	1.281
Total	93.458	93.458	93.458



A Tabela 4 apresenta as mudanças de uso e cobertura da terra ocorridas entre os anos de 2002 e 2016. Destaca-se que apenas 72,9% da área classificada como Vegetação Nativa (II) em 2002 permanece em 2016, sendo que 14,8% foi classificada como Pinus em 2016 e 7,6% como Agropecuária (II). Como esperado, 81,5% da área classificada como Corpos d'Água (IV) em 2002 se manteve em 2016, sendo que 10,2% dos 889 ha (2002) foi classificada como Solo Exposto (III) em 2016, uma confusão comum para classificadores automáticos dada a possível semelhança espectral destes alvos.

A classe que mais sofreu conversão no período analisado foi Eucalipto (VI), apenas 27,4% da área mapeada em 2002 (1.297 ha) foi classificada da mesma forma em 2016, sendo que 53,4% foi classificada como Pinus (V) no último ano analisado. Entretanto, dos 50.907 ha classificados como Agropecuária (II) em 2002, 9,3% foram convertidos para Eucalipto em 2016 (Tabela 4).

Por fim, destaca-se que 45,3% da área de Solo Exposto (III) em 2002 foi classificada como Agropecuária em 2016, evidenciando a dinâmica do calendário agrícola entre as datas utilizadas para classificação. Nesse mesmo sentido, 10,4% e 14,7% das áreas classificadas em 2002 como Pinus e Eucalipto, respectivamente, foram classificadas como Solo Exposto em 2012, evidenciando a colheita (Tabela 4).

Tabela 4. Mudança de uso e cobertura da terra entre 2002 e 2016 (valores em %) no município de Curitiba/SC.

2002	2016						Total (ha)
	I	II	III	IV	V	VI	
I	72.9	7.6	1.6	0.1	14.8	3.0	27,677
II	6.7	55.4	22.1	0.2	6.3	9.3	50,907
III	2.2	45.3	36.8	1.0	5.9	8.7	9,584
IV	2.8	4.1	10.2	81.5	1.4	0.0	889
V	8.8	10.4	2.3	0.5	55.1	22.9	1,823
VI	1.1	14.7	3.3	0.1	53.4	27.4	1,297
Total (ha)	23,948	35,254	15,492	941	9,305	7,237	

Os resultados deste corroboram a tendência estadual de aumento da área de silvicultura, em especial de Eucalipto (Tabela 3). No entanto, também houve um crescimento acentuado da área cultivada com Pinus, o que demonstra que a indústria moveleira permanece como atividade econômica importante na região de Curitiba - SC.

4. Considerações finais

Esta pesquisa indica a importância de gestão territorial em escala municipal a partir do monitoramento do uso e cobertura da terra, pois permite otimizar o uso do território e as atividades econômicas considerando as necessidades de preservação ambiental. Contudo, é necessário difundir técnicas apuradas e sistemáticas para validação, contribuindo para a acurácia dos dados, principalmente oriundos de processos de classificação semiautomáticas. Para contribuir neste estudo de caso é indicado o aprofundamento, a partir de técnicas de classificação por regiões, e na correlação de datas no calendário agrícola, conferindo ao classificador melhor desempenho no processo.

Referências Bibliográficas

- Adami, M.; Mendes, F. S.; Aguiar, D. A.; Salgado, M. P. G.; Rudorff, B. F. T. Mudança do uso da terra devido à expansão da cana-de-açúcar em São Paulo de 2005 a 2011. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 16., 2013, Foz do Iguaçu. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2013. Artigos, p. 482-489.
- Câmara, G.; Valeriano, D. M.; Soares, J. V. **Metodologia para o cálculo da taxa anual de desmatamento na Amazônia Legal**. São José dos Campos: INPE, 2006, 37p.
- Carvalho, M. M. X. Os fatores do desmatamento da Floresta com Araucária: agropecuária, lenha e indústria madeireira. **Esboços - Revista do Programa de Pós-Graduação em História da UFSC**, Florianópolis, v. 18, n. 25, p. 32-52, jan. 2012.
- Congalton, R.G.; Green, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices**. New York: Lewis Publishers, 2009.
- FBDS. **Fundação Brasileira para o Desenvolvimento Sustentável. Silvicultura Brasileira - Oportunidades e desafios da Economia Verde**. Disponível em: <<http://www.fbds.org.br/IMG/pdf/doc-29.pdf>>. Acesso em: 20 set. 2016.
- Google. Google Earth Pro Version 7.1.5.1557. 2015. **Curitiba**. Disponível em: <<https://www.google.com.br/intl/pt-BR/earth/download/ge/agree.html>>. Acesso em: 01 out. 2016.
- Global Forest Watch (GFW). Disponível em:<<http://www.globalforestwatch.org/>>. Acesso em 30 set. 2016.
- Huete, A. R.; Liu, H. Q.; Batchily, K.; Van Leeuwen, W. A comparison of vegetation indices over a global set of TM images for EOS-MODIS. **Remote Sensing of Environment**, v. 59, p. 440-451, 1997.
- IBÁ. Indústria Brasileira de Árvores. **Relatório Anual 2016**. Disponível em: <http://iba.org/images/shared/Biblioteca/IBA_RelatorioAnual2016_.pdf>. Acesso em: 17 set. 2016.
- IBGE. SIDRA - **Produção Agrícola Municipal, 2015**. Disponível em<<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/acervo/acervo9.asp?e=c&p=PA&z=t&o=11>>. Acesso em: 20 out. 2016.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Cidades 2016**. Disponível em: <<http://www.cidades.ibge.gov.br/xtras/perfil.php?codmun=420480&search=&lang=>>>. Acesso em: 20 set. 2016.
- Justice, C. O.; Townshend, J. R. G.; Vermote, E. F.; Masuoka, E.; Wolfe, R. E.; Saleous, N.; Roy, D. P.; Morisette, J. T. An overview of MODIS land data processing and product status. **Remote Sensing of Environment**, v.83, p. 3-15, 2002.
- Le Maire G., Dupuy S., Nouvellon Y., Loos R.A., Hakamada R. Mapping short-rotation plantations at regional scale using MODIS time series: case of eucalypt plantations in Brazil. **Remote Sensing of Environment**, v.152, p. 136-149, 2014.
- Mather, P. M. Computer Processing of Remotely-Sensed Images: **An Introduction**, 2nd Edition, New York: John Wiley & Son Ltd., 1999.
- Pires, T. **O Pinus e o setor florestal em Santa Catarina**. 2013. 177 p. Monografia (Departamento de Economia e Relações Internacionais) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2013.
- Silva, W. F.; Aguiar, D. A.; Rudorff, B. F. T.; Sugawara, L. M. **Canasat Project: monitoring of the sugarcane cultivation area in South Central Brazil**. In: ISPRS TC VII Symposium - 100 Years, 2010, Viena. Proceedings of the ISPRS TC VII Symposium Part 7B. Viena: ISPRS, 2010, v. 38, p. 535-540.