

## Expansão da cana-de-açúcar na bacia do Ribeirão da Onça, Brotas – SP

Diego Hiroshi Tanikawa<sup>1</sup>  
Rodrigo Lilla Manzione<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho - UNESP  
Av. Vitalina Marcusso, 1500 - 19910-206 - Ourinhos - SP, Brasil  
tanikawa@hotmail.com

<sup>2</sup> Universidade Estadual Paulista Júlio Mesquita Filho - UNESP  
Av. Vitalina Marcusso, 1500 - 19910-206 - Ourinhos - SP, Brasil  
manzione@ourinhos.unesp.br

**Abstract.** Sugar cane plantations are important component of the economy of São Paulo State, Brazil since the 18<sup>th</sup> century. During this meantime, there were several crisis and recovery moments. With establishment of Proalcool (National Ethanol Program) in the 1970's, there was funding and, consequently, sugar cane expansion until the end of the 20<sup>th</sup> century. Nowadays, the agricultural industry of sugar cane is in a expansion period in cultivated area, and in many scales as business. A possible explanation for the fact refers to current politics of biofuels, associated to production of 'flex fuel' vehicles. Brotas, as well São Paulo State, share this context. The aim of this work was to check the spatial dynamics of sugar cane cultivations in city of Brotas, more specifically in a representative watershed, the Ribeirão da Onça watershed. The method was based in the linear mixed model, generated fraction-images, with posterior classes mapping, segmentation, classification with particular algorithm (Isoseg), and editions with geographic information system SPRING (Georeferenced Information Processing System). The results indicated there was a variation in the classes of land use and land cover in the analyzed period between 2005 and 2010, with sugar cane increasing 22,86% and citrus decreasing 9,27% in the watershed.

**Palavras-chave:** sugar cane, expansion, remote sensing, biofuel, cana-de-açúcar, expansão, sensoriamento remoto, biocombustível

### 1. Introdução

O desenvolvimento da cultura canavieira no estado de São Paulo inicia-se com maior intensidade no final do século XVIII. Determinado por alguns fatores históricos nacionais e internacionais, como a alteração dos hábitos alimentares europeus com a inserção do açúcar na dieta, e a crise na busca de ouro pelos paulistas. Esse movimento expansivo perdurou até as proximidades do início do ciclo do café (Petroni, 1968).

Ao mesmo tempo em que estava ocorrendo a crise da cana em São Paulo, meados do século XIX, há um grande crescimento na exportação e cultivo do café, porém, após a Grande Depressão de 1929, o preço e quantidade exportados pelo Brasil diminuem. Segundo Ianni (1984), em 1928 o preço do café era de 5 libras, em 1931 era 1,91 libras e em 1940 chegou ao preço de 0,85 libras.

No decorrer da Segunda Grande Guerra, o açúcar ganha novo espaço e uma nova espécie de desenvolvimento. As exportações diminuíram, principalmente devido à instabilidade nos mares, bem como o fim do consumo europeu do açúcar das Américas (inclusive o Brasil), por serem aliados dos norte-americanos. Associado a isso, a repentina escassez de derivados do petróleo que na maioria vinham exportados, influenciou a produção de álcool nacional.

No período o IAA (Instituto de Açúcar e Álcool) tomou diversas medidas incentivando a produção de álcool carburante, em detrimento da produção açucareira: como financiamentos, obrigatoriedade de adição do álcool anidro à gasolina, dentre outros (Szmrecsányi, 1979). A partir de tais medidas, o açúcar para o mercado interno passou por certa escassez, o que levou o governo federal a 'censurar' algumas decisões do IAA e criar outras, de modo a aumentar a produção nacional açucareira, uma vez que a população nacional estava crescendo, bem como

o processo de urbanização e industrialização (inclusive da indústria de alimentos, que consumia grandes quantias do produto) estava em curso (Szmrecsányi, 1979).

O açúcar então mantém seu movimento ascendente tanto em exportação quanto em preços, porém, por volta de 1974 com o *Sugar Act* pelos EUA e o ingresso da Grã-Bretanha no Mercado Comum Europeu (ambos deixam de importar o açúcar brasileiro), gerando um clima de instabilidade nos preços do açúcar (Szmrecsányi, 1979). Paralelamente, nesta década de 70, ocorre o choque do petróleo. Como exemplo, seu valor médio passou de US\$2,13/barril (julho/agosto/setembro) para US\$18,02 (novembro). Como medidas para superar essa instabilidade no preço do petróleo e do açúcar, em 1975, o governo federal cria o decreto 76.593 (14/11/1975), que instituiu o Programa Nacional do Álcool (Proalcool) no país. Em seu art. 2º propunha que “a produção de álcool oriundo da cana-de-açúcar, da mandioca ou de qualquer outro insumo será incentivada através da expansão da oferta de matérias-primas, com especial ênfase no aumento da produtividade agrícola, da modernização e ampliação das destilarias existentes e da instalação de novas unidades produtoras, anexas a usinas ou autônomas, e de unidades armazenadoras”. A medida favoreceu muitas montadoras de carros que passaram a produzir veículos movidos a álcool. Em 1979, as vendas de veículos movidos a álcool foram de 3,1 mil unidades, já em 1980 foram de 240,7 mil (Ramos, 2008). Porém, no fim da década de 80, o consumo de etanol entrou em decadência, contribuído pela “baixa do preço do petróleo, a alta do preço do açúcar e a falta de alguns ajustes na tecnologia dos motores” (Olivette et al., 2010, p.42). Gonçalves (2002) relata a mudança vivida pelos produtores no final da década de 90 e começo dos anos 2000 em virtude da mecanização e da proibição das queimadas nos canaviais paulistas. Atualmente “o setor agrícola é marcado por um novo ciclo no plantio de cana-de-açúcar para obtenção de álcool combustível, agora não mais apenas para a substituição do consumo de petróleo pela elevação dos preços [...] incorpora-se mais um problema que é o da questão das mudanças climáticas” (Camargo et al., 2008, p.47). Paralelamente houve grande crescimento nas vendas de veículos *flex fuel*, o que aumentou o consumo do biocombustível no país.

Tais influências podem ser analisadas na escala do município de Brotas. O trabalho de Olivette et al. (2010) divide o estado em diversas regiões com características homogêneas em relação a dinâmica da cana-de-açúcar, sendo que o município de Brotas pertence ao grupo caracterizado por “expressivo aumento de área da cultura de cana-de-açúcar”. Técnicas de sensoriamento remoto representam uma ferramenta útil, pois permitem o levantamento de informações detalhadas sobre áreas relativamente grandes, e algumas vezes localizadas em lugares de difícil acesso, bem como o imageamento da superfície a elevadas altitudes. Isso facilita a visão sinóptica das regiões e, principalmente, a compreensão da evolução da cobertura do solo associada ao tempo, devido às características multi-temporais presentes nesses produtos (Florenzano, 2002). Aguiar et al. (2006), Aguiar et al. (2009), Mello et al. (2010) e Rudorff et al. (2010) utilizaram tais técnicas para aplicações em estudos referentes a expansão/colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo.

O presente trabalho procurou analisar a dinâmica espacial da cultura da cana-de-açúcar em uma bacia hidrográfica representativa no município de Brotas-SP, a Bacia do Ribeirão da Onça, através da classificação de imagens de satélite orbitais com técnicas de sensoriamento remoto.

## 2. Materiais e métodos

### 2.1 Área de estudo

A Bacia do Ribeirão da Onça corresponde a uma área de aproximadamente 6.500 ha, localizada no município de Brotas entre as coordenadas 22° 10'S 47° 55'O e 22° 15'S 48°

00'O, região centro-leste do Estado de São Paulo (Figura 1). Em seu exutório conecta-se ao Rio Jacaré-Guaçu, afluente do Tietê pela margem direita.

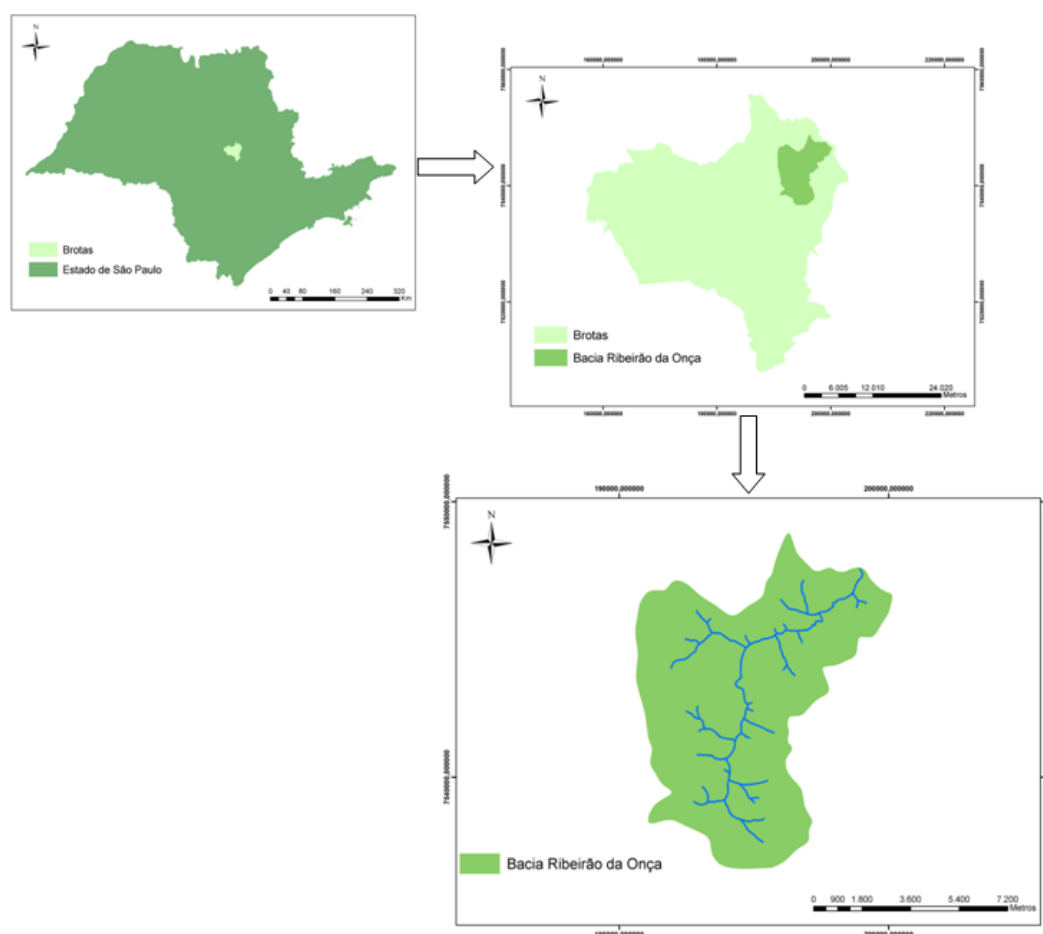


Figura 1 – Localização espacial da bacia do Ribeirão da Onça, Brotas - SP

Geologicamente grande parte da bacia está sobre a Formação Botucatu (arenitos), enquanto que no exutório muda-se para um Complexo Botucatu-Diabásio (com *sills* de diabásio), ambas pertencentes ao Grupo São Bento, datado do Mesozóico (Barreto, 2006). Com essa geologia, percebe-se que a bacia corresponde à uma área de recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG), ilustrada pela presença das Formações Botucatu e Pirambóia que permitem a infiltração de parte da água precipitada da chuva. Em relação às características climatológicas, baseando-se na classificação de Köppen, o clima da área é definido como Subtropical Úmido (Cwa), com presença de chuvas de verão, variando para Tropical Úmido com inverno seco. Além de a precipitação média anual está entre 1300 mm e 1400 mm (Barreto, 2006).

A região possui intensa atividade agrícola e pecuária, com sucessivos plantios de Eucalipto, Citros, Soja Cana-de-açúcar (usina produtora de açúcar e álcool Paraíso Bioenergia) e criação de gado (para produção de leite e abastecimento de frigoríficos da região – Piracicaba, Bauru, Ribeirão Preto e Lençóis Paulista, por exemplo), estando sujeita a desmatamentos recentes e passados da cobertura original: o cerrado (Grigolin, 2004).

Mais especificamente, a usina Paraíso Bioenergia S.A., que é de maior interesse para o presente trabalho, pertence ao grupo Albuquerque Pinheiro e consome a maior parte da cana no município de Brotas, produzindo açúcar VHP, açúcar branco para mercado interno, álcool hidratado (93,3% de álcool e 6,7% de água), e álcool anidrido (99,9% puro) (Grigolin, 2004). A usina pertenceu a antigos fazendeiros de café, que passaram a substituir as plantações pela

cana-de-açúcar, provavelmente associado à crise cafeeira. A partir de 1975, foi um período de grande crescimento para a empresa, talvez devido aos financiamentos feitos pelo governo com o programa Proalcool. Por volta dos anos 2000, manteve sua posição na produção de açúcar e álcool, comprando ações de outras empresas como é o caso da Crystalsev.

## 2.2 Metodologia

“É possível utilizar a classificação automática multi-temporal de imagens digitais e obter elevados graus de precisão e confiabilidade, quando do mapeamento de áreas da colheita de cana-de-açúcar (com e sem a queima da palha) por imagens de satélites de sensoriamento remoto” (Mello et al., 2010, p.186). Foram utilizadas, para realização do presente trabalho, 2 cenas TM Landsat (órbita/ponto 220/75, segundo o Sistema Mundial de Referência Landsat) de duas datas diferentes: 01 de agosto de 2005 e 24 de março de 2010. O Projeto do Banco de Dados foi elaborado no Sistema de Informação Geográfica SPRING (Câmara et al., 1996), com projeção Universal Transversa de Mercator (UTM) e limites de área 22° 20' 26.76'', 22° 3' 33.49'' de latitude sul e 48° 2' 40.62'', 47° 49' 22.20'' de longitude oeste. As imagens foram importadas após o registro, cujo objetivo é a correção geométrica, uma vez que as cenas apresentam-se distorcidas em relação às coordenadas reais, decorrente do sistema sensor e por imprecisão dos dados de posicionamento da plataforma (aeronave ou satélite) (Lopes, 2008).

Posteriormente, aplicou-se o Modelo Linear de Mistura Espectral (Shimabukuro e Smith, 1991) sobre as imagens importadas para o projeto do banco de dados. Considerando que um pixel é resultante da mistura espectral de cada componente (solo, sombra e vegetação) presente no campo de visada do sensor (IFOV) (Moreira et al., 1998), esse método estima a proporção de cada componente dentro do pixel, minimizando a soma quadrática dos erros (Shimabukuro e Smith, 1991), a partir da resposta espectral nas diversas bandas, gerando imagens fração solo, vegetação e sombra. Matematicamente, o modelo pode ser representado pela equação 1:

$$r_i = a \cdot veg_i + b \cdot soli + c \cdot sombra_i + e_i \quad (1)$$

Em que  $r_i$  é a resposta do pixel na banda  $i$ ;  $a$ ,  $b$ ,  $c$  são as proporções de vegetação, solo e sombra (ou água, devido à similaridade da resposta espectral com a sombra), respectivamente;  $veg_i$ ,  $soli$  e  $sombra_i$  são as respostas espectrais das componentes vegetação, solo e sombra, respectivamente;  $e_i$  é o erro na banda  $i$  e  $i$  indica a banda a ser utilizada (Aguiar et al., 1999).

Após a geração das imagens-fração, procedeu-se à segmentação das mesmas, agrupando os pixels adjacentes e com características similares segundo um limiar de Similaridade (4) e de Área (6), formando uma cena dividida em polígonos. Sobre as imagens segmentadas procedeu-se à classificação não-supervisionada, através do classificador Isoseg, com limiar de aceitação igual a 75%. O objetivo foi a extração de informação das cenas através de um algoritmo, gerando como produto final uma imagem temática, posteriormente transformada em mapas de uso e ocupação do solo, divididos em classes, representando os alvos presentes na cena: cana-de-açúcar, cana expandida, citros e outras culturas.

## 3. Resultados e discussões

Baseando-se nos dados do projeto CANASAT (Rudorff et al., 2005; Rudorff et al., 2009; Rudorff et al., 2010) foi possível verificar que o município de Brotas apresenta expansão na área canavieira. A Figura 2 demonstra esse processo de 2003-2010. É provável que tal movimento esteja relacionado à política de incentivo a produção de biocombustíveis derivados da cana, auxiliada pela fabricação de veículos *flex fuel* pelas indústrias automobilísticas.

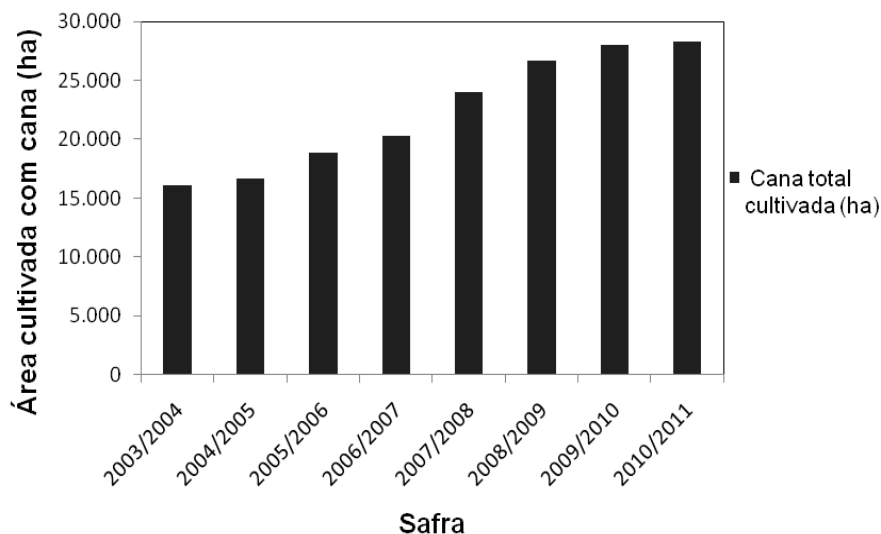


Figura 2 – Cana total cultivada (ha) no município de Brotas - SP: safras de 2003 a 2011

No caso específico do município de Brotas, a cultura canavieira surge no período do Proálcool, provavelmente devido aos financiamentos para modernização, fundação e ampliação de destilarias. O cultivo alterou diversos aspectos da região. Grigolin (2004) mostra que há bairros no município que foram formados devido à migração dos trabalhadores rurais dos canaviais, que vieram de cidades da região. No contexto da bacia do Ribeirão da Onça, as Figuras 3 e 4 mostram as áreas referentes a cada cultura agrícola, bem como a evolução da área plantada com cana-de-açúcar e, conseqüentemente a diminuição nas áreas de citros. Os resultados obtidos foram verificados a campo, validando o trabalho.

Sob os mapas, foram calculadas as medidas das classes com o SIG SPRING. Desse modo, gerou-se a Tabela 1, resumindo os valores de cada cultivo analisado (cana-de-açúcar e citros), em porcentagens, bem como sua variação no período 2005-2010.

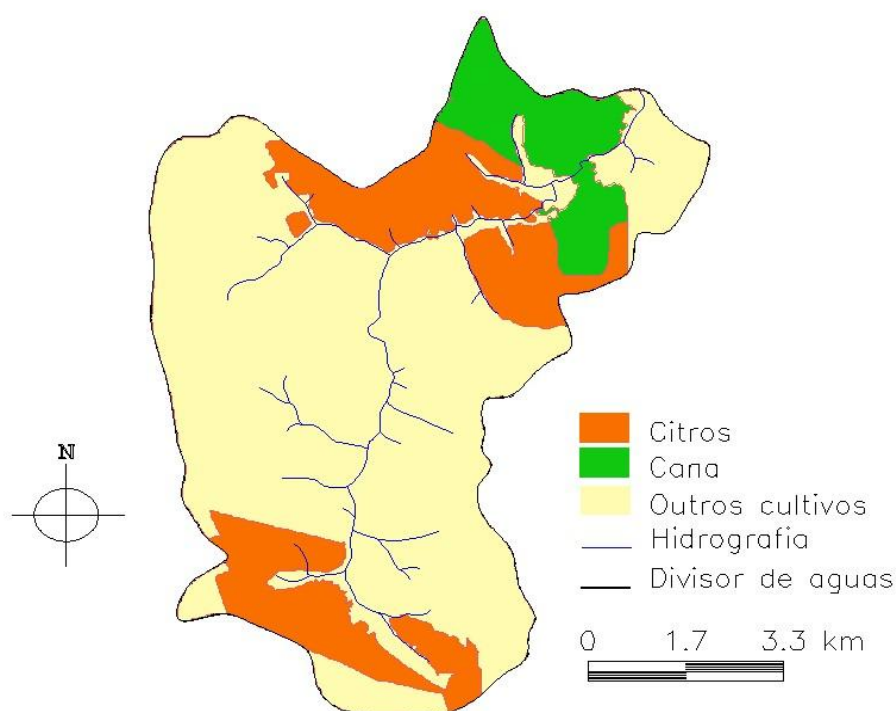


Figura 3 – Mapa de uso e ocupação da bacia do Ribeirão da Onça, Brotas – SP no ano de 2005.

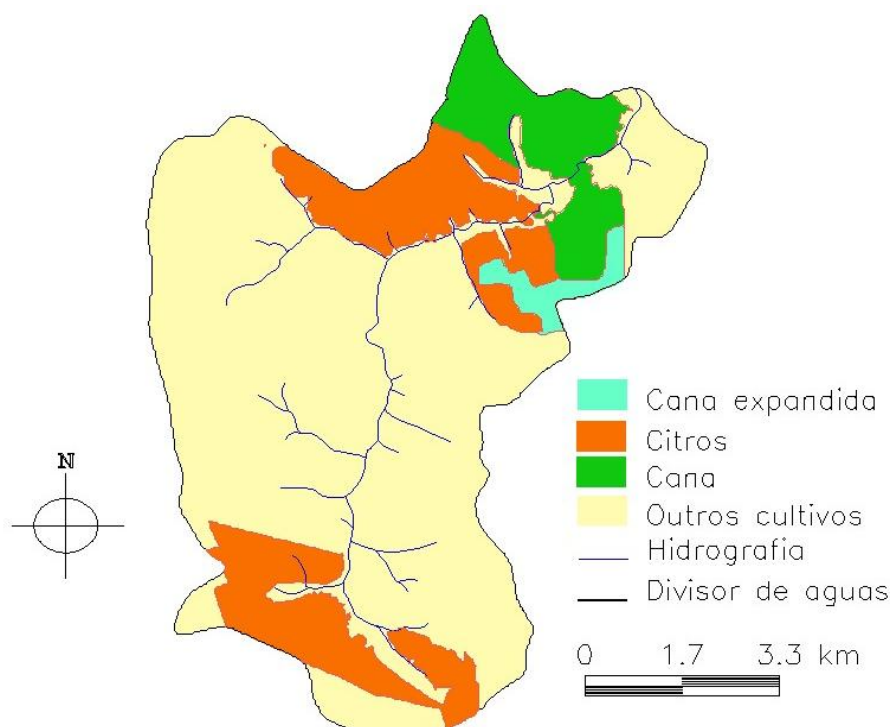


Figura 4 – Mapa de uso e ocupação da bacia do Ribeirão da Onça, Brotas – SP no ano de 2010

Tabela 1. Área cultivada com cana-de-açúcar e citros na bacia do Ribeirão da Onça, Brotas-SP e sua variação: entre 2005 e 2010.

<b>Cultura</b>	<b>2005 (%)</b>	<b>2010 (%)</b>	<b>Variação 2005/2010 (%)</b>
Cana-de-açúcar	8,46	10,39	22,86
Citros	20,39	18,45	-9,27

Em 2005 o cultivo de cana-de-açúcar representava 8,46% da área da bacia, enquanto que em 2010 passou a ocupar uma área de 10,39%. Obtendo uma variação de 22,86% em relação a sua área anterior. Já para o cultivo do citros, sua área era de 20,39% em relação a área da bacia, diminuindo em 2010 para 18,45%. Isso representou uma diminuição, em relação a sua área em 2005, de 9,27%. A justificativa de tal retração nos plantios de citros pode ser atribuída a expansão canavieira no município devido a diversos fatores que foram citados anteriormente. Outro fator é a incidência da doença bacteriana conhecida como *Greening*, que vem erradicando plantas na maioria dos pomares de citros paulista. Ao erradicar áreas inteiras os produtores muitas vezes se vêm descapitalizados para efetuar um replantio e acabam optando por uma solução mais rápida, fácil e barata que seria entrar no cultivo de cana-de-açúcar ou arrendar as terras para alguma usina na região.

Antes da colheita, para facilitá-la, muitas vezes há queimada, a que contribui para o empobrecimento do solo. Essa medida está, teoricamente, sendo abandonada em São Paulo devido a pressões do Ministério Público desde 1990, o que incentiva o processo de mecanização na colheita, sem a queima (Gonçalves, 2002; Camargo et al., 2008). Porém, ao mesmo tempo em que evita a poluição do meio ambiente, esse processo de modernização agrícola, gera desemprego. Segundo análises, a colhedora de cana substitui de 100 a 120 trabalhadores (Grigolin, 2004). Outros efeitos maléficos do cultivo da cana-de-açúcar são referentes à diminuição da porosidade e umidade dos solos, bem como sua compactação (Camargo et al., 2008). No caso do Ribeirão da Onça, por se tratar de uma área de recarga do Sistema Aquífero Guarani (SAG), deve-se tomar especial atenção sobre mudanças no uso e

ocupação do solo para que a demanda por recursos hídricos não seja maior que a oferta e que os cultivos agrícolas não interfiram nos mecanismos de recarga do aquífero.

Apesar dos biocombustíveis serem considerados como formas de energia limpa, deve-se destacar que, associado a seu processo produtivo, há ainda diversos prejuízos, tanto de ordem ambiental quanto social. O uso de biocombustíveis não significa, de modo algum, o fim dos impactos ambientais causados pelo uso de combustíveis. O álcool libera substâncias tóxicas após sua combustão como: monóxido de carbono, óxidos de enxofre e nitrogênio, fuligem, dentre outros gases poluentes, que podem causar diversos problemas respiratórios. Mais uma questão que deve ser levantada é referente a expansão da cana-de-açúcar (assim como diversas monoculturas agroexportadoras) em detrimento da produção alimentar. Mudanças no uso e ocupação do solo podem trazer efeitos locais na escalas da bacia, e/ou regionais como no caso de Brotas ou mesmo do Estado de São Paulo. O monitoramento dessas áreas dever ser feito de forma contínua para que se possa prever os efeitos das mudanças e planejar o uso do solo de modo a causar os menores impactos possíveis ao ambiente, sem com isso prejudicar a produção.

#### 4. Conclusões

A partir das considerações pode-se concluir que:

- A cana está em movimento expansivo no Estado de São Paulo, refletindo na escala municipal de Brotas e, conseqüentemente na escala da bacia do Ribeirão da Onça;
- As áreas cultivadas com cana-de-açúcar na bacia do Ribeirão da Onça expandiram 22,86% entre 2005 e 2010;
- A área cultivada com cana-de-açúcar avançou sobre o cultivo de citros entre 2005 e 2010, que teve sua área diminuída em 9,27%;
- O estabelecimento da cana no estado de São Paulo, bem como seu aumento na produção está relacionado a diversos fatores, como econômicos, políticos, ambientais, dentre outros;
- É necessária uma política continuada de monitoramento ambiental para que efeitos negativos oriundos de mudanças no uso e ocupação do solo possam ser levantados e mitigados.

#### Agradecimentos

À FAPESP (Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado de São Paulo) pela bolsa de treinamento técnico (TT-1) concedida para execução desse projeto (Processo 2009/11581-9).

#### Referências bibliográficas

Aguiar, A. P. D. et al. Use of synthetic bands derived from mixing models in the multispectral classification of remote sensing images. **International Journal Remote Sensing**, v. 20, n. 4, p. 647-657, 1999.

Aguiar, D. A. et al. Monitoramento da Colheita da Cana. In: Rudorff, B. F. T; Shimabukuro, Y. E.; Ceballos, J. C. (Org.). **O Sensor MODIS e suas Aplicações Ambientais no Brasil**. 1 ed. São José dos Campos: Bookimage, 2006, cap. 26, p. 375-382.

BRASIL. **Decreto nº 76.593, de 14 de novembro de 1975**. Institui o Programa Nacional do Álcool, e dá outras providências.

Barreto, C.E.A.G. Balanço hídrico em zona de afloramento do Sistema Aquífero Guarani a partir de monitoramento hidrogeológico em bacia representativa. 2006. 270 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia) – Universidade de São Paulo, São Carlos. 2006.

Câmara, G. et al. SPRING: Integrating remote sensing and GIS by object-oriented data modeling. **Computers & Graphics**, v. 20, p. 395-403, 1996.

Camargo, A. M. M. P. de et al. Dinâmica e tendência da expansão da cana-de-açúcar sobre as demais atividades agropecuárias, estado de São Paulo, 2001-2006. **Informações Econômicas**, v. 38, n. 3, p. 47-66, 2008.

Gonçalves, D. B. **A regulamentação das queimadas e as mudanças nos canaviais paulistas**. São Carlos: Rima, 2002. 127 p.

Grigolin, G. Relações entre as estratégias de apropriação do território pelo complexo agroindustrial e pelo ecoturismo em Brotas – SP. 2004. 111 p. Dissertação (Mestrado em Agrossistemas) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis. 2004.

Ianni, O. **Origens agrárias do estado brasileiro**. São Paulo: Brasiliense, 1984. 255 p.

Lopes, E. S. S.; Ferreira, H. S. **Tutorial 10 aulas SPRING 5.0 (Versão Windows): SPRING Básico**. São José dos Campos: INPE, 2008,

Mello, M. P. et al. Classificação automática da colheita da cana-de-açúcar utilizando Modelo Linear de Mistura Espectral. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 12, n. 2, p. 181-188, 2010.

Moreira, M. A. et al. Modelo de mistura espectral para identificar e mapear áreas de soja e milho em quatro municípios do estado de Minas Gerais. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 9., 1998, Santos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 1998. Artigos, p. 53-57. On-line. Disponível em: <[http://martemarte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.09.10.30/doc/3\\_178p.pdf](http://martemarte.dpi.inpe.br/col/sid.inpe.br/deise/1999/02.09.10.30/doc/3_178p.pdf)>. Acesso em: 14 nov. 2010.

Olivette, M. P. A.; Nachiluk, K.; Francisco, V. L. F. dos S. Análise comparativa da área plantada com cana-de-açúcar frente aos principais grupos de culturas nos municípios paulistas, 1996-2008. **Informações Econômicas**, v. 40, n. 2, p. 42-59, 2010.

Petrone, M. T. S. **A lavoura canavieira em São Paulo: expansão e declínio (1765-1851)**. São Paulo: Difiel, 1968. 241p

Ramos, P. A evolução da agroindústria canavieira e os mercados de açúcar e de álcool carburante no Brasil: a necessidade de planejamento e controle. In: Congresso da Sociedade Brasileira de Economia, Administração e Sociologia Rural, 46., 2008, Rio Branco. **Anais...** Brasília: SOBER, 2008. p. 2-18.

Rudorff, B. F. T. et al. Imagens de satélite no mapeamento e estimativa de área de cana-de-açúcar em São Paulo: ano safra 2003/04. **Agricultura em São Paulo**, São Paulo, v. 52, n. 1, p. 21-39, 2005.

Rudorff, B. F. T. et al. **Determinação da área cultivada com cana-de-açúcar na região centro-sul por meio de imagens de satélite de sensoriamento remoto - safras 2005/06 a 2008/09**. São José dos Campos: INPE, 2009. 151 p. (INPE-15725-RPQ/822).

Rudorff, B. F. T. et al. **Uso de imagens de satélites de sensoriamento remoto para mapear a área cultivada com cana-de-açúcar no estado de São Paulo - safra 2009/10**. São José dos Campos: INPE, 2010. 46 p. (INPE-16668-RPQ/847).

Rudorff, B. F. T. et al. Studies on the Rapid Expansion of Sugarcane for Ethanol Production in São Paulo State (Brazil) Using Landsat Data. **Remote Sensing**. v. 2, n. 4, p. 1057-1076, 2010. doi: <10.3390/rs2041057>.

Shimabukuro, Y. E.; Smith, J.A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, n. 1, p. 16-20, 1991.

Szmrecsányi, T. **O planejamento da agroindústria canavieira do Brasil (1930-1975)**. São Paulo: HUCITEC, 1979. 993 p.