

## Avaliação espaço-temporal da cultura da cana-de-açúcar no oeste paulista

Kleber Trabaquini<sup>1</sup>  
Gustavo Bayma-Silva<sup>2</sup>  
Ieda Del'Arco Sanches<sup>3</sup>  
Sandra Furlan Nogueira<sup>2</sup>  
Denilson Dortzbach<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centro de Informações Recursos Ambientais e de Hidrometeorologia de Santa Catarina - CIRAM/EPAGRI  
Caixa Postal 502 - 88034-901 - Florianópolis-SC, Brasil  
{klebertrabaquini, denilson}@epagri.sc.gov.br

<sup>2</sup> Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA  
Caixa Postal 8605 - 13070-115 - Campinas-SP, Brasil  
{gustavo.bayma; sandra.nogueira}@embrapa.br

<sup>3</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos-SP, Brasil  
ieda.sanches@inpe.br

**Abstract.** This work aims to analyze the dynamics of land use change by evaluating the spatio-temporal changes of sugarcane, verified in the period between 2000 and 2015, in the western portion of the São Paulo state. The study area includes parts of the municipalities of Andradina, Muritinga do Sul, Guaraçaí and Pereira Barreto, totaling an area of 1,115 km<sup>2</sup>. From a multitemporal series of Landsat satellite images of 30 m spatial resolution, the land use information was obtained for the sixteen years, using the Spring software. Land use and land cover maps were analyzed for each date, and the expansion of sugarcane activity in the region was verified, annually, for the period analyzed. As results, it was observed that sugarcane had an expansion in area between the years 2000 and 2014. In the year 2000, about 8,000 hectares of sugarcane were already being cultivated in this area. And although between 2014 and 2015 there was no expansion, the area of sugarcane increased more than fivefold in 15 years analyzed, reaching 42,000 hectares in 2015. It is noteworthy mentioned that this expansion occurred mainly in the conversion of grazing areas, determining new regional configurations of agricultural holdings for the western region of São Paulo.

**Palavras-chave:** land use, image processing, landscape, uso do solo, processamento de imagens, paisagem.

### 1. Introdução

O Estado de São Paulo é o maior produtor de cana-de-açúcar do Brasil, representando aproximadamente 55% da produção do país (+400,8 milhões de toneladas). Entretanto, entre a safra dos anos de 2015 a 2016, houve uma variação negativa de 2,8% na área de produção (IBGE, 2016). A baixa disponibilidade de terras no Estado, principalmente na região nordeste (maiores produtoras), fez com que houvesse expansão da atividade para outras áreas, entre as quais se destaca a região oeste do Estado de São Paulo (Araújo e Bini, 2013).

Essa região, tradicionalmente ocupada com a pecuária, começou a partir do ano 2000 a ceder áreas para o cultivo da cana-de-açúcar (para fins industriais). O rápido crescimento desta cultura pode ser justificado pelas condições de terreno plano que favorecem a mecanização, assim como pela ocorrência de solos adequados para crescimento da cultura. Neste contexto, a região é vista como o futuro da agroindústria sucroenergética, que devido à grande demanda nacional e internacional por açúcar e álcool estimulou novos investimentos no oeste paulista (Roviero, 2014).

A rápida expansão da atividade de cana-de-açúcar associada à conversão de áreas de pastagem em canaviais têm provocado diversos impactos nas perdas de solo (pelo seu constante revolvimento e movimentação), assim como na sua composição química, física e biológica do solo e nos recursos hídricos. O novo modelo de ocupação espacial imposto pela monocultura açucareira intensificou a ação antrópica, aumentando a pressão sobre os recursos naturais, podendo influenciar na sua disponibilidade e qualidade.

Para verificar essa interferência, o sensoriamento remoto se apresenta em uma importante ferramenta para a análise espacial, contribuindo para subsidiar a tomada de decisões e a consequente intervenção no espaço nas diversas áreas. Devido à facilidade de análise e visualização a partir de produtos, imagens e mapas, gerados por um Sistema de Informações Geográficas (SIG), evidencia-se que uma das grandes capacidades de análise de dados georreferenciados é a sua manipulação para produzir novas informações referente às paisagens.

As paisagens são espaciais e temporais, pois sempre resultam da observação e das ações das pessoas sobre o ambiente ao longo do tempo. A avaliação da dinâmica temporal da paisagem tem como etapa inicial a caracterização da variação na composição do uso do solo ao longo dos anos, sendo que a maioria dos estudos utiliza dois ou três períodos distintos para comparação (Fiorio et al., 2000).

Dessa forma, considerando a relevância da atividade e sua forte expansão na região oeste de São Paulo, torna-se fundamental avaliar a dinâmica da conversão de pasto para cana de açúcar na região através de técnicas de sensoriamento remoto e um SIG, como material base para a realização de estudos na área. Assim, o objetivo deste trabalho foi analisar a expansão da atividade da cana-de-açúcar em parte dos municípios de Andradina, Muritinga do Sul, Guaraçá e Pereira Barreto, São Paulo, entre os anos de 2000 e 2015.

## 2. Metodologia de Trabalho

A região está localizada na porção oeste do estado de São Paulo (incluindo partes dos municípios de Andradina, Muritinga do Sul, Guaraçá e Pereira Barreto), entre longitude coordenadas de 51,44 ° e 51,08 ° oeste e latitude de 20,64 ° e 21,09 ° sul, totalizando uma área de 1.115 km<sup>2</sup> (Figura 1). O clima, segundo a classificação Köpen, é tropical quente e úmido com inverno seco. A precipitação média anual é de 1150 mm e a temperatura média anual é de 23 °C. Os principais solos correntes na região foram classificados como Latossolo Vermelho, Argissolos Vermelho-Amarelos e Neossolos Litólicos (Oliveira et al., 1999).

A análise da expansão da cultura da cana-de-açúcar na região foi baseada no processamento digital das imagens Landsat que compreendem o período entre os anos de 2000 a 2015, realizado no *software* Spring. Os mapas de 2003 a 2013 foram fornecidos pelo projeto Canasat. Para os anos 2000, 2001, 2002, 2014 e 2015 os dados foram elaborados utilizando a mesma metodologia do projeto Canasat, conforme metodologia utilizada por Rudorff et al. (2010).

## Área de Estudo

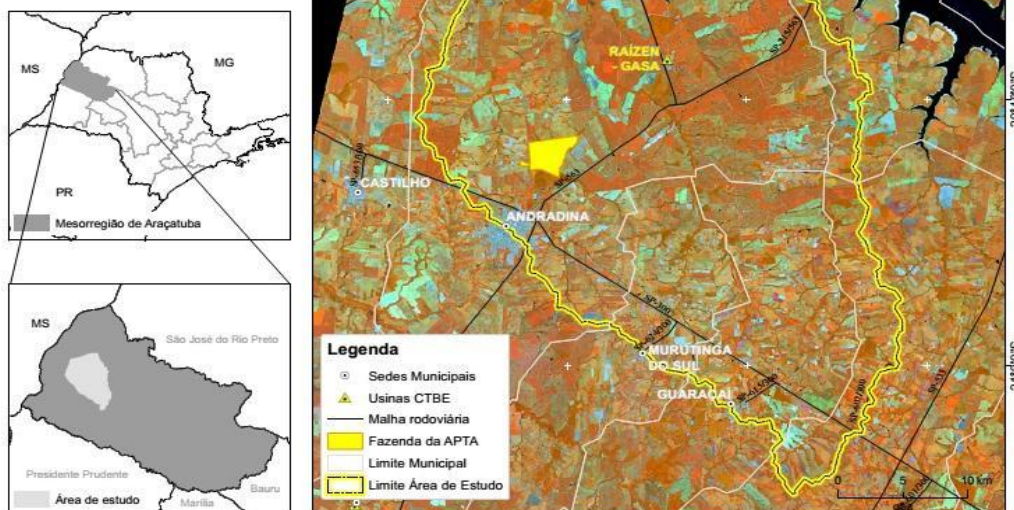


Figura 1. Localização da área de estudo no estado de São Paulo.

A partir da análise multitemporal das máscaras de cana-de-açúcar foi possível descrever a variação das áreas de cana-de-açúcar ao longo do tempo, definindo a área para a cultura para cada ano, sua espacialização, bem como o percentual que essa cultura ocupou em áreas anteriormente utilizadas pela pecuária. Esta etapa do trabalho foi realizada através do módulo LEGAL do Spring, como visualizado na Figura 2. Esta figura demonstra como foi realizado o cruzamento dos dados de mapeamento pré-existentes, e como através de uma metodologia simples é possível determinar aspectos relacionados à dinâmica espacial de uma determinada cultura e região.

```
{Tematico t1, t2, t3, t4, t5, t6, t7, t8, t9, t10, t11, t12, t13, t14, t15, t16 ("Mapas_cana");
Tematico r1 ("Resultados"); t1=Recupere(Nome="2000"); t2=Recupere(Nome="2001"); t3
=Recupere(Nome="2002"); t4=Recupere(Nome="2003"); t5=Recupere(Nome="2004"); t6=Recupere
(Nome="2005"); t7=Recupere(Nome="2006"); t8=Recupere(Nome="2007"); t9=Recupere
(Nome="2008"); t10=Recupere(Nome="2009"); t11=Recupere(Nome="2010"); t12=Recupere
(Nome="2011"); t13=Recupere(Nome="2012"); t14=Recupere(Nome="2013"); t15=Recupere
(Nome="2014"); t16=Recupere(Nome="2015"); r1=Novo(Nome="tempo_uso", ResX=30, ResY=30,
Escala=60000); r1=t1.Classe=1 && t2.Classe=1 && t3.Classe=1 && t4.Classe=1 &&
t5.Classe=1 && t6.Classe=1 && t7.Classe=1 && t8.Classe=1 && t9.Classe=1 &&
t10.Classe=1 && t11.Classe=1 && t12.Classe=1 && t13.Classe=1 && t14.Classe=1 &&
t15.Classe=1 && t16.Classe=1 ? Classe(1):t2.Classe=1 && t3.Classe=1 && t4.Classe=1 &&
t5.Classe=1 && t6.Classe=1 && t7.Classe=1 && t8.Classe=1 && t9.Classe=1 &&
t10.Classe=1 && t11.Classe=1 && t12.Classe=1 && t13.Classe=1 && t14.Classe=1 &&
t15.Classe=1 && t16.Classe=1 ? Classe(2):t3.Classe=1 && t4.Classe=1 && t5.Classe=1 &&
t6.Classe=1 && t7.Classe=1 && t8.Classe=1 && t9.Classe=1 && t10.Classe=1 &&
t11.Classe=1 && t12.Classe=1 && t13.Classe=1 && t14.Classe=1 && t15.Classe=1 &&
t16.Classe=1 ? Classe(3):t4.Classe=1 && t5.Classe=1 && t6.Classe=1 && t7.Classe=1 &&
t8.Classe=1 && t9.Classe=1 && t10.Classe=1 && t11.Classe=1 && t12.Classe=1 &&
t13.Classe=1 && t14.Classe=1 && t15.Classe=1 && t16.Classe=1 ? Classe(4):t5.Classe=1
&& t6.Classe=1 && t7.Classe=1 && t8.Classe=1 && t9.Classe=1 && t10.Classe=1 &&
t11.Classe=1 && t12.Classe=1 && t13.Classe=1 && t14.Classe=1 && t15.Classe=1 &&
t16.Classe=1 ? Classe(5):t6.Classe=1 && t7.Classe=1 && t8.Classe=1 && t9.Classe=1 &&
t10.Classe=1 && t11.Classe=1 && t12.Classe=1 && t13.Classe=1 && t14.Classe=1 &&
t15.Classe=1 && t16.Classe=1 ? Classe(6):t7.Classe=1 && t8.Classe=1 && t9.Classe=1 &&
t10.Classe=1 && t11.Classe=1 && t12.Classe=1 && t13.Classe=1 && t14.Classe=1 &&
t15.Classe=1 ? Classe(7):t8.Classe=1 && t9.Classe=1 && t10.Classe=1 && t11.Classe=1
&& t12.Classe=1 && t13.Classe=1 && t14.Classe=1 && t15.Classe=1 && t16.Classe=1 ?
Classe(8):t9.Classe=1 && t10.Classe=1 && t11.Classe=1 && t12.Classe=1 && t13.Classe=
1 && t14.Classe=1 && t15.Classe=1 && t16.Classe=1 ? Classe(9):t10.Classe=1 &&
t11.Classe=1 && t12.Classe=1 && t13.Classe=1 && t14.Classe=1 && t15.Classe=1 &&
t16.Classe=1 ? Classe(10):t11.Classe=1 && t12.Classe=1 && t13.Classe=1 && t14.Classe=1
&& t15.Classe=1 && t16.Classe=1 ? Classe(11):t12.Classe=1 && t13.Classe=1 &&
t14.Classe=1 && t15.Classe=1 && t16.Classe=1 ? Classe(12):t13.Classe=1 && t14.Classe=
1 && t15.Classe=1 && t16.Classe=1 ? Classe(13):t14.Classe=1 && t15.Classe=1 &&
t16.Classe=1 ? Classe(14):t15.Classe=1 && t16.Classe=1 ? Classe(15):t16.Classe=1 ? Classe
(16);}
```

Figura 2. Demonstrativo do script desenvolvido no software Spring para estudo da dinâmica de ocupação da cultura da cana-de-açúcar.

### 3. Resultados e Discussão

A Figura 3 mostra a evolução da cultura da cana-de-açúcar na área de estudo. Observa-se que, desde o ano de 2000, as áreas preferenciais foram às localizadas na parte norte da área de estudo, com posterior intensificação da região nordeste. Em todo período avaliado a porção sul foi a que mostrou a menor ocupação da área com cana-de-açúcar. Nesta área ocorre a predominância de Argilssolos vermelho-amarelo, que possivelmente apresenta declividades superiores, quando comparado aos Latossolos, que é a outra classe dominante da região, podendo ser esse um dos fatores que contribuiu para a diminuição da expansão nessas áreas.

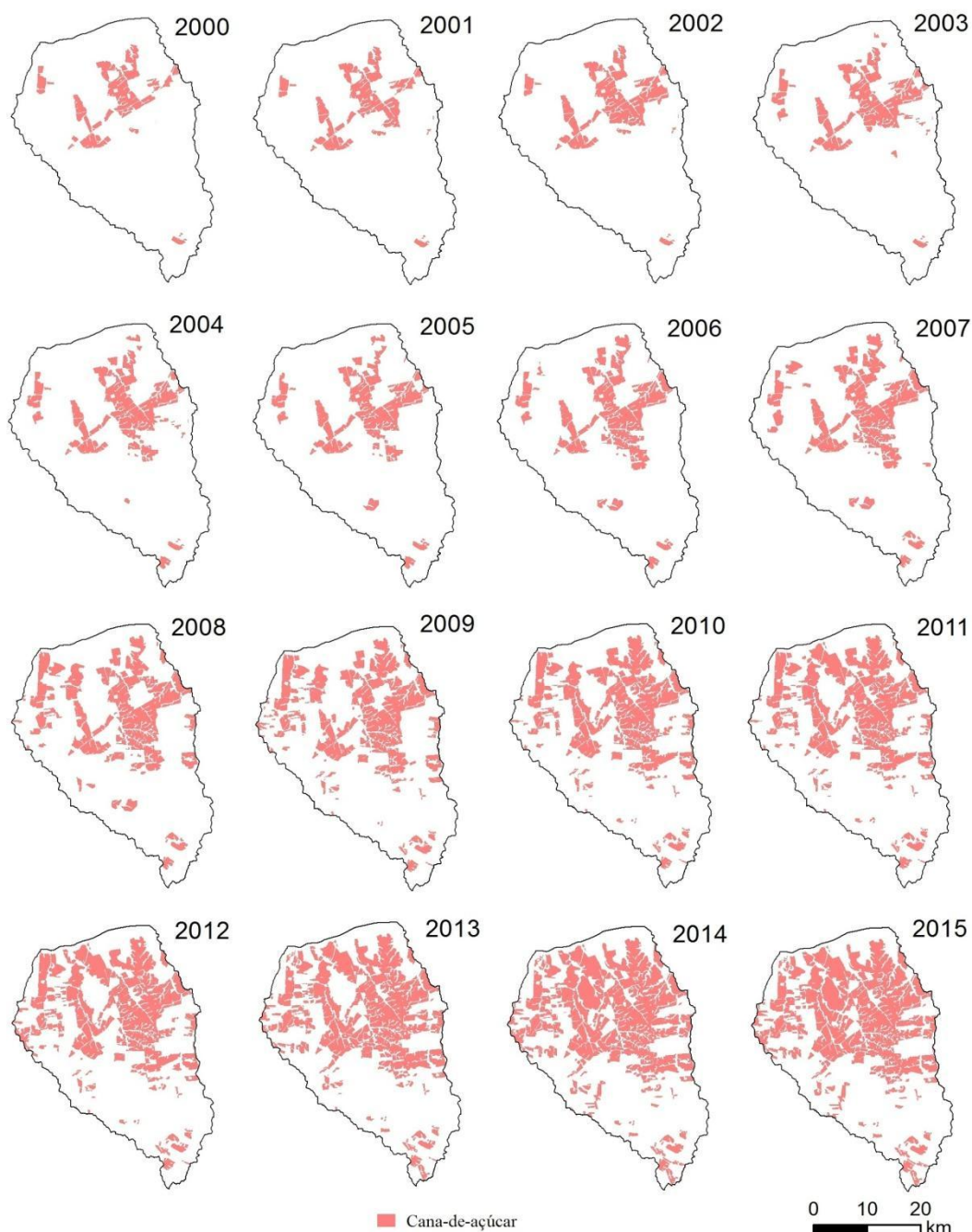


Figura 3. Mapas com uso de cana-de-açúcar para os anos de 2000 a 2015 da área de estudo.

Como observado na Figura 3, a cana-de-açúcar expandiu sua área plantada durante todo o período avaliado. Pode ser destacado o ano de 2013 quando foi superada os 35 mil hectares em face aos 8 mil hectares no ano de 2000. Entre 2000 e 2015 a área de cana aumentou mais de cinco vezes, atingindo 42.000 hectares em 2015.

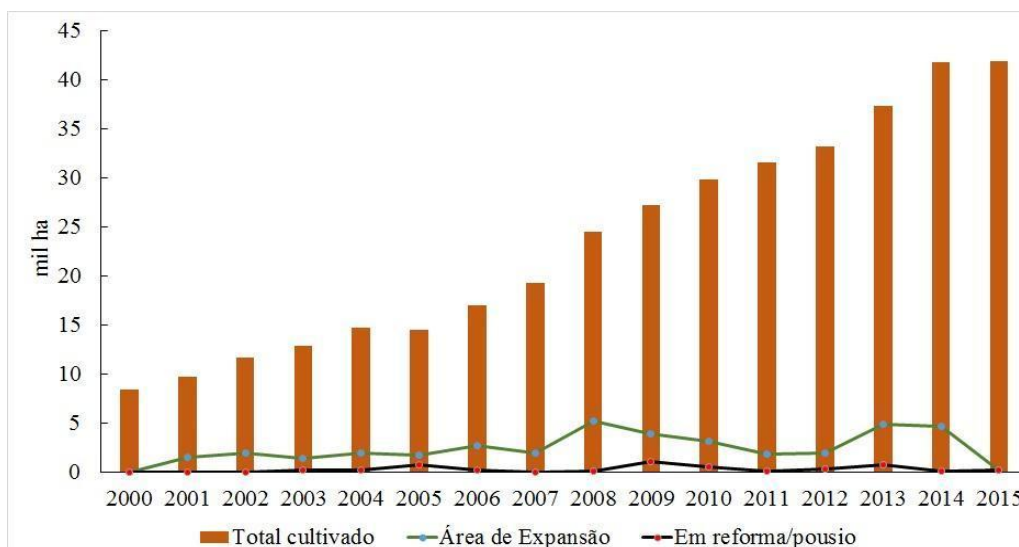


Figura 4. Áreas com cana-de-açúcar, em hectares, na área de estudo entre os anos de 2000 e 2015.

A partir da sobreposição de dados anuais da cultura da cana-de-açúcar entre os anos 2000-2015 (Figura 3), foram então extraídos os percentuais de ocupação de cana-de-açúcar para cada ano (Figura 4).

Na Figura 5, após execução do script e sobreposição dos dados, foi possível observar que as áreas com 3 anos, 8 anos e 16 anos de uso do solo da cana-de-açúcar tiveram a maior porcentagem de área de ocupação, com 12,26%, 11,25% e 13,98%, respectivamente. Estas variações muitas vezes estão relacionadas às condições específicas do mercado para o produto.

Na avaliação das classes de uso onde ocorreu conversão para a cultura da cana-de-açúcar, observa-se na Figura 6, que na maioria dos anos avaliados essa conversão foi em áreas de pastagem. Destacando assim, o declínio da atividade pecuária na região, dando espaço aos canaviais. A partir do ano 2007, 100% da expansão ocorreu em áreas de pastagem. Os anos de 2008, 2013 e 2014 foram os anos com maior incremento de área, enquanto que no ano de 2015 observou-se o menor crescimento da atividade.

Diante desse quadro, em que se observa uma pressão sobre novas áreas cultivadas com a cana-de-açúcar em terras com pastagens cultivadas, pode-se considerar que regionalmente não se tem apenas um rearranjo produtivo do setor agropecuário, mas que esse novo ciclo canavieiro vem impor impactos sociais e econômicos para a região (ROVIERO, 2014).

Para a Região Sudeste, mais tradicional do Brasil, as projeções são as de que deva ocorrer um acréscimo da área ocupada de 11% até 2023, em relação à de 2013, o que representa, aproximadamente, 616 mil hectares (FIESP, 2013), o que pode refletir em aumentos ainda maiores na região do oeste paulista, já que ainda restam muitas áreas, principalmente pastagens que podem ser convertidas para cultura agrícola.

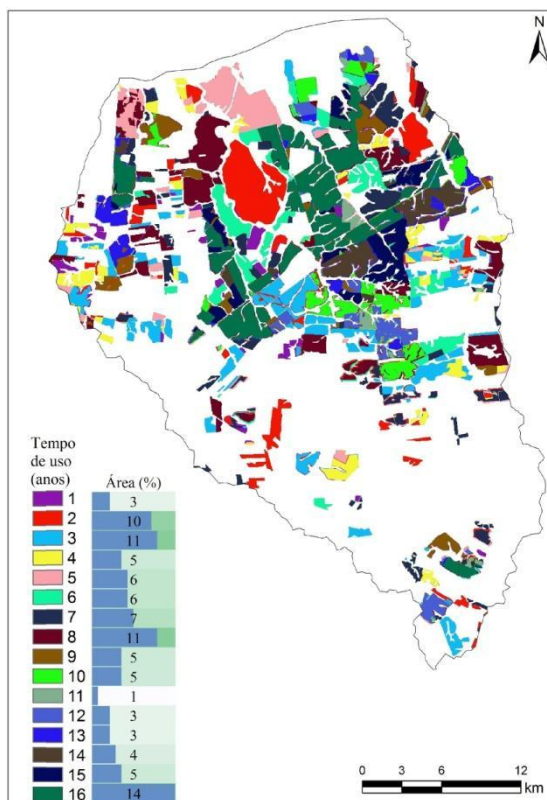


Figura 5. Percentagem de área de ocupação com cana-de-açúcar em relação ao seu uso do solo a partir de 2000 (16 anos de uso como cana-de-açúcar ou mais) e 2015 (1 ano de uso como cana-de-açúcar).

Outra questão importante a ser destacada é que não se observou a expansão da atividade em áreas de floresta, o que era esperado considerando as legislações ambientais vigentes nesse período, 4771 de 15 de setembro de 1965 (BRASIL, 1965) e a Lei nº 12.651, de 25/05/2012, já conhecida como novo código florestal (BRASIL, 2012). Lembrando que existe a necessidade de renovação dos canaviais, pois à medida que a idade média deles cresce, sua produtividade cai.

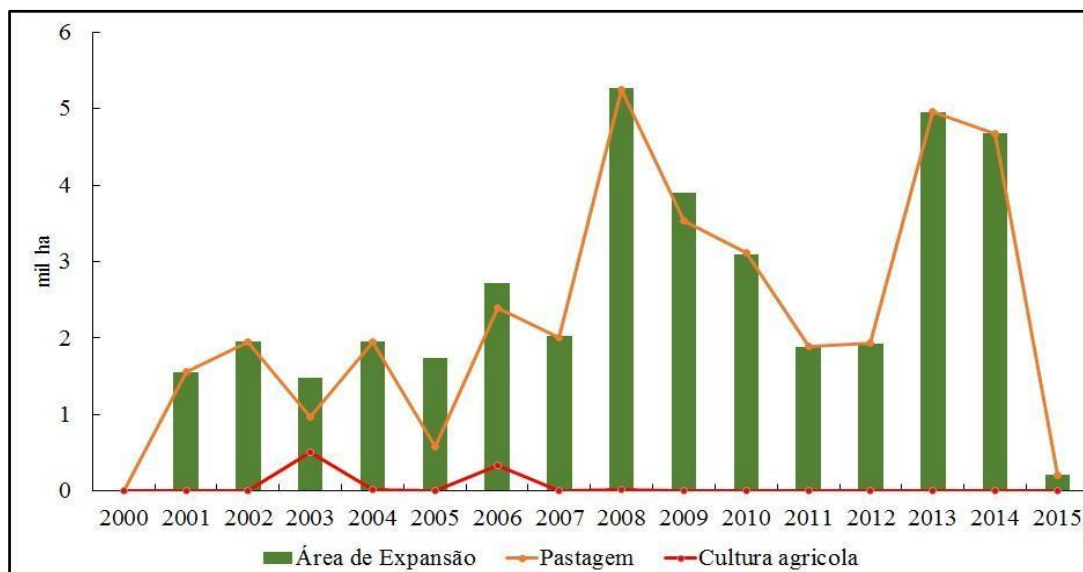


Figura 6. Área total de expansão da cana na área de estudo, entre 2000 e 2015, e as áreas correspondentes à expansão ao longo de pastagens e terras cultiváveis.

#### 4. Conclusões

A cultura da cana-de-açúcar apresenta uma grande expansão da atividade na região oeste de São Paulo, destacando a conversão em áreas de pastagem, o que vem determinando novas configurações regionais das explorações agropecuárias.

Além disso, este trabalho traz uma metodologia objetiva com fins de análise da espacialização da cultura da cana-de-açúcar desenvolvida em ambiente SIG de fácil aplicação, a qual pode ser utilizada em outras culturas e áreas de estudo.

#### Referências Bibliográficas

Araújo, H.S.; Bini, D.L.C. Composição agropecuária da região de Andradina (2000-2010). **Pesquisa & Tecnologia**, v. 10, n. 1, 2013.

Brasil. **Lei Federal nº 12.651**, de 25 de maio de 2012, alterada pela Lei 12.727, de 17 de outubro de 2012. Brasília, DF. Congresso Nacional, 2012. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/\\_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2011-2014/2012/lei/l12651.htm)> . Acesso em: 20 out. 2016).

Brasil. **Lei 4.771**, de 15 de setembro de 1965. Instituiu o código florestal brasileiro. Brasília, DF, 1965. Disponível em: <[http://www.planalto.gov.br/ccivil\\_03/leis/L4771.htm](http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/leis/L4771.htm)>. Acesso em: 20 out. 2016.

FIESP. **Outlook Fiesp 2023: projeções para o agronegócio brasileiro**. São Paulo: FIESP, 2013. 115 p.

Fiorio, P.R.; Demattê, J.A.M.; Nanni, M.R.; Formaggio, A.R. Diferenciação espectral de solo utilizando dados obtidos em laboratórios e por sensor orbital. **Bragantia**, v. 69, n. 2, p. 453-466, 2010.

IBGE - Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/prevsaf/default.asp?t=2&z>>. Acesso em: 20 out. 2016.

Oliveira, J.B.; Camargo, M.N.; Rossi, M.; Calderano Filho, B. **Mapa pedológico do Estado de São Paulo**: legenda expandida. Campinas: Instituto Agrônomo/Embrapa Solos. 1999. 64 p.

Roviero, A. Estudo dos pequenos produtores e fornecedores de cana e terra para as usinas de açúcar e álcool do interior paulista: o caso da região central do estado de São Paulo. REDD – Revista Espaço de Diálogo e Desconexão, Araraquara, v.8, n.2, jan./jun. 2014.

Rudorff, B.F.T.; Aguiar, D.A.; Silva, W.F.; Sugawara, L.M.; Adami, M.; Moreira, M.A. 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>.