

## Mudança do uso da terra devido à expansão da cana-de-açúcar em São Paulo de 2005 a 2011

Marcos Adami<sup>1</sup>  
Flavia de Souza Mendes<sup>2</sup>  
Daniel Alves Aguiar<sup>1</sup>  
Moisés Pereira Galvão Salgado<sup>1</sup>  
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{adami, daniel, salgado, bernardo}@dsr.inpe.br

<sup>2</sup> Universidade Estadual de Campinas, Instituto de Geociências  
R. João Pandiá Calógeras, 51 - Cidade Universitária  
13083-870 - Campinas, SP - Brasil  
{flaviamendes}@ige.unicamp.br

**Abstract.** The recent increase of cultivated sugarcane area to produce ethanol has promoted debates about the impacts on available land for food production and on biodiversity suppression. The lack of objective information on this subject has motivated the present study in which the land use prior to the expansion of sugarcane, observed from 2005 to 2011 in São Paulo State, was mapped. A total of 36 Landsat scenes acquired between October 2002 and September 2003 with at least two dates per scene. Time series of MODIS images transformed to EVI2 were also used to support the land use change analysis. The most relevant land use change classes were: Pasture, Annual Crops, Citrus, Forest and Reforestation. The area of sugarcane expansion from 2005 to 2011 was mapped by the Canasat project corresponding to almost 2,360 thousand hectares. The results showed that sugarcane expanded on: 1,490,108 ha (63.1%) of pasture land; 774,050 ha (32.1%) of annual crops; 88,587 ha (3.7%) of citrus; 3,900 ha (0.2%) of forested land; and 3,304 (0.1%) of reforestation. These figures indicate that the expansion of sugarcane is not causing direct land use change on forested land but rather on pasture and annual crop land. The impact of sugarcane expansion on indirect land use change in the agricultural frontier in Brazil has to be analyzed with caution since during the same period of this study the lowest deforestation rate were observed in the Brazilian Legal Amazon in response to governance and intensification of land use.

**Palavras-chave:** remote sensing, LUCC, Canasat project, sensoriamento remoto, LUCC, Projeto Canasat.

### 1. Introdução

A sociedade atualmente discute aspectos ligados à sustentabilidade da vida no planeta, questionando os modos de produção de alimentos e energia e os seus impactos ao meio ambiente, pois os processos que ocorrem na superfície do planeta influenciam o clima alterando os ciclos biogeoquímicos, tais como o ciclo do carbono e da água (Lambin et al., 2003; Laurance et al., 2011). A principal questão da sustentabilidade ambiental está ligada à emissão dos gases de efeito estufa (GHG) sendo que a mudança de uso e cobertura da terra para atender a crescente demanda por alimentos e bioenergia exerce um importante papel nesta questão (Scharlemann and Laurance, 2008; Searchinger et al., 2008; Friel et al., 2009; McAlpine et al., 2009). Neste sentido, relacionam-se também as mudanças diretas e indiretas do uso e cobertura da terra, ocasionadas pelo cultivo da cana-de-açúcar destinada à produção de etanol (Farrell et al., 2006; Fargione et al., 2008; Scharlemann and Laurance, 2008; Kim et al., 2009; Gao et al., 2011). No Brasil, o aumento da área cultivada com cana-de-açúcar para produção de etanol tem provocado debates sobre os impactos na diminuição da área destinada à produção de alimentos e na supressão da biodiversidade (Naylor et al., 2007; Goldemberg et al., 2008).

Para avaliar as mudanças indiretas de uso e cobertura da terra foram desenvolvidos diversos modelos, apresentados e discutidos por (Rathmann et al., 2010). A maior parte

desses modelos depende da avaliação correta da mudança direta de uso e cobertura da terra e se baseiam em dados obtidos de forma subjetiva por órgãos oficiais. A análise das imagens de sensoriamento remoto, adquiridas ao longo do tempo, permite identificar e mapear, de forma objetiva, as mudanças diretas de uso e cobertura da terra.

A hipótese desse trabalho é que análise de imagens de resolução espacial média, tipo Landsat, adquiridas em períodos chave ao longo do tempo, associadas com séries temporais de índices de vegetação, permitem mapear a mudança do uso e cobertura da terra decorrente da expansão do cultivo de cana-de-açúcar. Nesse contexto, esse trabalho teve como objetivo mapear o uso e cobertura da terra anterior à cana-de-açúcar plantada entre 2005 e 2011 no Estado de São Paulo.

## 2. Material e métodos

A área de estudo é composta pela área de expansão de cana-de-açúcar entre 2005 e 2011 no Estado de São Paulo, e localiza-se entre os paralelos 19°50' e 24°30' S e os meridianos 44°00' e 53°30' W, na região Sudeste do Brasil. A cana-de-açúcar está principalmente concentrada na região centro-norte e oeste do Estado (Figura 1). Desde 2003 o Projeto Canasat mapeia, com base na interpretação visual de imagens de satélite tipo Landsat, as áreas cultivadas com cana-de-açúcar na região Centro Sul do Brasil (Rudorff et al., 2010) na qual o Estado de São Paulo está contido. Este mapeamento teve a precisão avaliada por Adami et al., (2012a) que verificou que o mapeamento tem uma precisão global de 98% com um erro de área de -0,5%. A cada safra são identificadas as novas áreas de cultivo e as áreas que entram em reforma. Para a identificação das áreas de expansão foram utilizadas imagens de satélite adquiridas entre os meses de setembro e novembro da safra anterior e fevereiro e março da safra corrente. As primeiras imagens fornecem um indicativo das novas áreas, pois a cana-de-açúcar plantada em março e abril já tem um padrão típico nas imagens dessa época, enquanto as imagens adquiridas em março e abril permitem ao intérprete afirmar se são de fato áreas de cultivo de cana-de-açúcar (Rudorff et al., 2010).

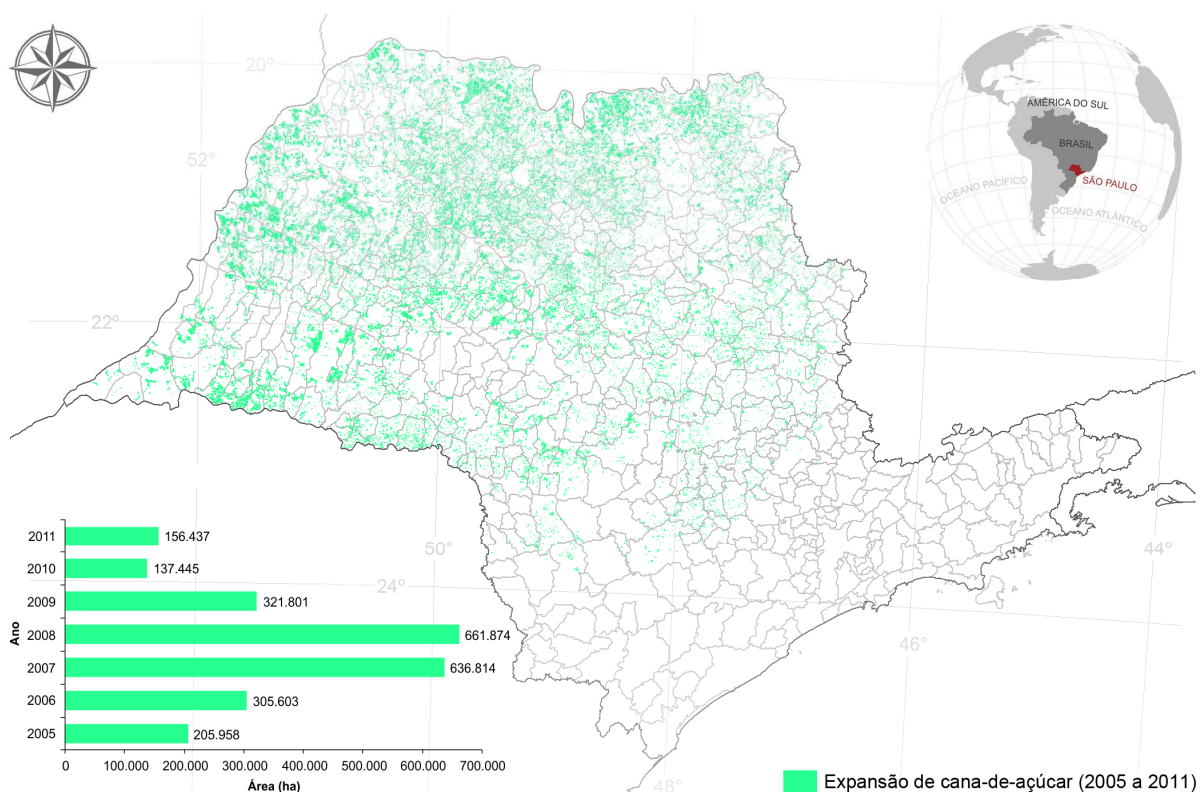


Figura 1 – Área de estudo com a localização e o total por ano, da expansão de cana-de-açúcar.

No mapeamento do uso anterior ao cultivo da cana-de-açúcar foram utilizadas 36 imagens obtidas pelos sensores TM/Landsat-5 e ETM+/Landsat-7, adquiridas entre outubro de 2002 e setembro de 2003, distribuídas em 14 órbitas/ponto que cobrem a área de estudo. Todas as imagens Landsat foram registradas tendo como base o mosaico de imagens Landsat ortorretificadas disponibilizado pela NASA (Tucker et al., 2004), com erro menor de meio pixel. Também foram utilizados como dados auxiliares as séries temporais de índices de vegetação EVI2/MODIS disponibilizadas no seguinte endereço: <<https://www.dsr.inpe.br/laf/series>> que é uma ferramenta online que permite a visualização de séries temporais MODIS para análise de mudança de uso e cobertura da Terra (Freitas et al., 2011). Para facilitar a identificação do uso e cobertura da terra anterior ao cultivo de cana-de-açúcar as áreas de expansão das safras 2005/06 a 2010/11 foram agrupadas na etapa de interpretação e consideradas individualmente na análise dos resultados.

Inicialmente foram obtidas as imagens TM/Landsat-5 e ETM+/Landsat-7, considerando no mínimo duas cenas por ano, uma do período de chuva (outubro a março) e outra do período de seca (maio a agosto) com o objetivo de visualizar a sazonalidade ocasionada pela chuva e com isto facilitar a identificação das classes. Todos os polígonos mapeados como área de expansão da cultura da cana-de-açúcar referentes às safras entre 2005/06 a 2010/11, na região centro-sul, tiveram o uso da Terra mapeado por meio da interpretação visual das imagens, tendo como base o ano de 2003. Este mapeamento foi realizado utilizando o software SPRING (Câmara et al., 1996), considerando cinco classes de uso da Terra: i) *Agrícola*, para as áreas de cultivo anual e perene, com exceção da cana-de-açúcar e do *Citrus*; ii) *Pastagem*, para as áreas com *Pastagem* natural e formadas; iii) *Citrus*, para as áreas cultivadas com laranjas, tangerinas e limões; iv) *Vegetação Arbórea*, composta por áreas de matas ciliares e de outras vegetações arbóreas independente do estágio de sucessão; e v) *Reflorestamento*, para as áreas reflorestadas com Pinus e Eucalipto.

A Figura 2 ilustra cada uma dessas classes nas imagens Landsat, composição RGB utilizando a banda 4 no R, banda 5 no G e banda 3 no B. Estas imagens referem-se a três datas diferentes, referentes ao ano base e foram utilizadas como chave de interpretação para a classificação visual. A Figura 2a evidencia uma área classificada como *Agrícola*. No Período 1 (outubro de 2002) a aparência é de solo descoberto (tonalidade azul) e no Período 2 (janeiro de 2003) apresenta-se coberta pela safra de verão (tonalidade amarela). No Período 3 (maio de 2003), novamente tem-se a aparência de solo exposto (tonalidade azul). Um exemplo para a classe *Pastagem* é apresentado na Figura 2b. No Período 1 a aparência é semelhante à de solo descoberto (tonalidade azul) devido a dominância da resposta espectral do solo em virtude da menor quantidade de água disponível no solo (época de seca) e consequente diminuição da cobertura vegetal. No Período 2 há um incremento na resposta espectral da vegetação em função da maior disponibilidade de água, evidenciado pelo incremento da tonalidade do vermelho. No Período 3 tem-se uma pequena redução da resposta da vegetação em função da entrada do período de seca, caracterizada pela redução da tonalidade do vermelho. A Figura 2c ilustra a classe *Citrus* com seu padrão típico, com as quadras de plantio bem demarcadas e de tonalidade variável. A Figura 2d apresenta padrão característico para a classe *Vegetação Arbórea* com resposta espectral predominante de vegetação (tonalidade avermelhada) em todos os períodos e textura rugosa em função das sombras ocasionadas pela diferença de altura das copas das árvores do dossel. A Figura 2e apresenta o padrão para a classe *Reflorestamento*, também com resposta espectral dominante de vegetação, mas em contraste à classe *Vegetação Arbórea* apresenta textura lisa ocasionada pela homogeneidade das copas das árvores. A Figura 2 apresenta de maneira simplificada, parte de todo o procedimento utilizado para identificar o uso da terra. Em várias ocasiões foi necessário um número maior de imagens para identificar claramente as classes que foram alteradas para cana. O SPRING

permite alternar a visualização entre imagens da mesma área adquiridas em diferentes datas, facilitando a interpretação visual e resultando em uma melhor classificação.

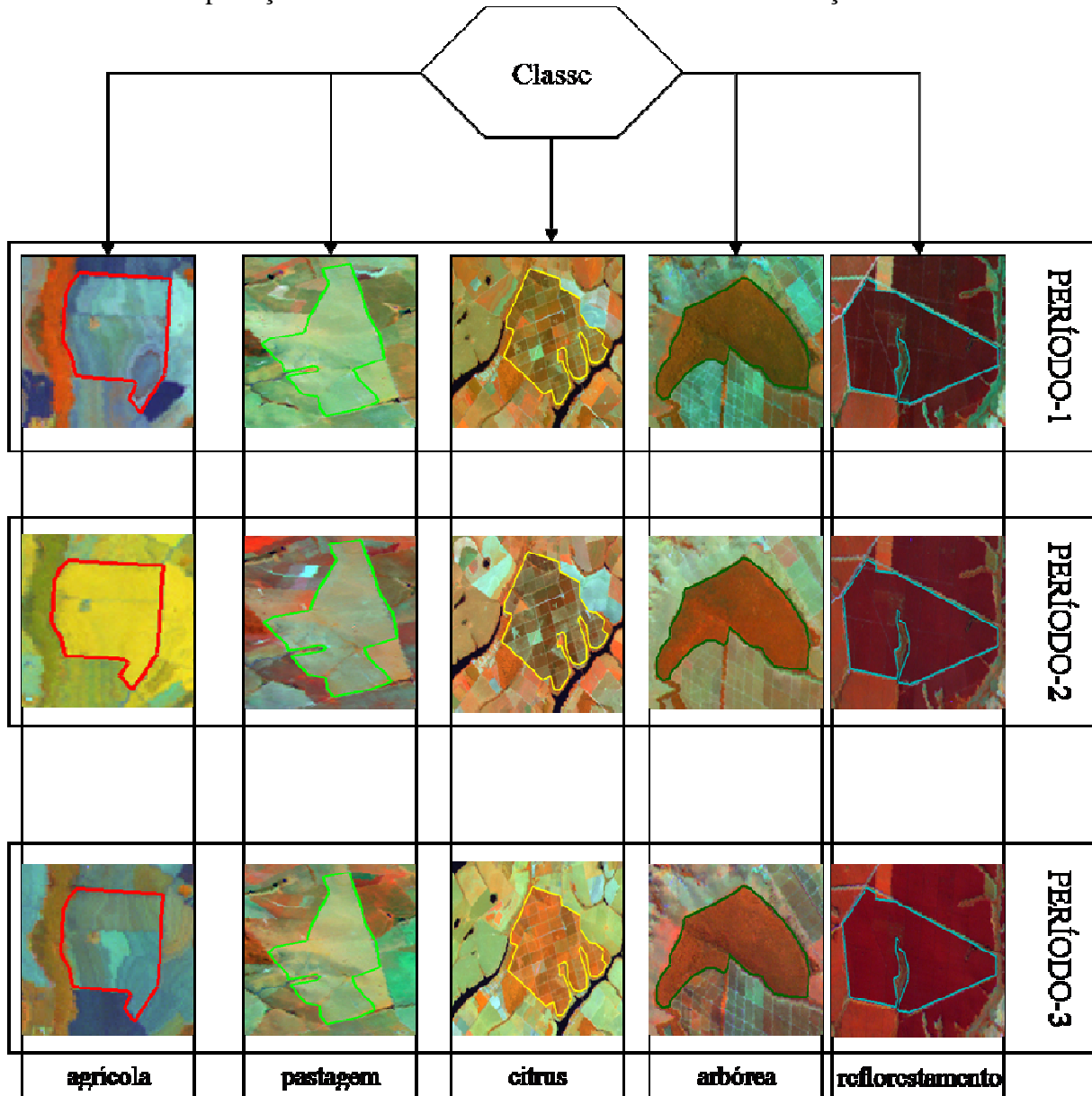


Figura 2. Chave de interpretação utilizada para a classificação do uso da Terra anterior ao cultivo da cana-de-açúcar. Imagens Landsat, composição das bandas 4R5G3B, obtidas nos períodos de outubro (Período 1) de 2002, janeiro (Período 2) e maio (Período 3) de 2003.

### 3. Resultados e discussão

Durante o período de 2005 a 2011 a expansão da área de cana-de-açúcar foi de 2.475.453 ha, com destaque para a região oeste do Estado de São Paulo. Na Figura 3 pode ser observado que os anos de 2007 e 2008 foram os anos em que ocorreu a maior expansão canavieira. Estes dois anos totalizaram uma expansão de aproximadamente 1,3 milhões de ha, ou seja, aproximadamente 56% do total da expansão no período avaliado. Pode-se observar também que no Estado de São Paulo a cana-de-açúcar foi responsável pela retirada de 3.900 ha de *Vegetação Arbórea*, ou seja, 0,17% do total da expansão ocorreram sobre vegetação nativa e que 3.304 ha de cana-de-açúcar expandiram sobre *Reflorestamento*.

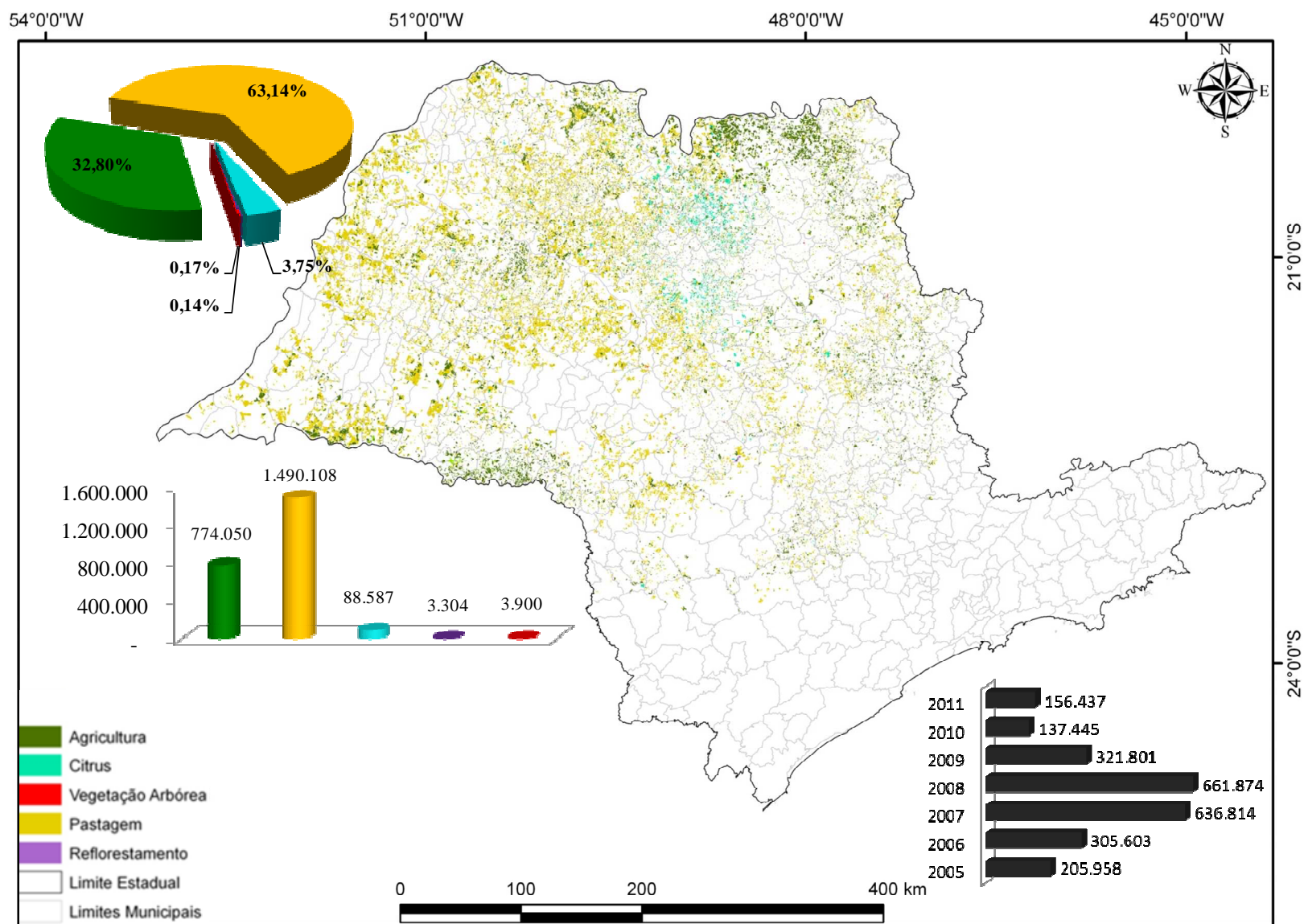


Figura 3. Distribuição espacial do total de expansão canieira por classe de uso no período de 2005 a 2011.

Na Figura 3 pode-se observar que a maior parte da área convertida para a cultura da cana-de-açúcar, aproximadamente 96%, era ocupada pelas classes *Pastagem* (63%) e *Agrícola* (33%). Pode ser observado também que aproximadamente 4,0% da área de expansão da cana de açúcar, no ano base, pertencia à classe *Citrus*. Estes resultados podem ser comparados aos apresentados pela CONAB (2008), que entrevistou 343 unidades de produção de açúcar e álcool. Nesta consulta foi avaliada apenas a expansão referente à safra 2007/08, e os entrevistados informaram que 66% da área de expansão da cana-de-açúcar advêm de área de *Pastagem* e 23% provém de áreas agrícolas.

Os valores individualizados por ano de expansão e por classe podem ser observados na Tabela 1. No total, verifica-se que à medida que o mapeamento distancia-se do ano base, 2003, há um incremento da área de *Pastagem* e decréscimo da área de *Agrícola* (Tabela 1). Este fator pode estar associado, de acordo com Adami et al. (2012b), ao manejo preparatório da área a ser convertida para a cultura da cana-de-açúcar, sendo comum a prática do plantio de uma espécie leguminosa nas áreas de *Pastagem* para aumentar a fertilidade do solo antes do plantio da cana-de-açúcar. Dos 3.900 ha de *Vegetação Arbórea*, 57% foram erradicados pelas expansões dos anos de 2007 e 2008. Com relação ao avanço da cana-de-açúcar sobre áreas previamente ocupadas pela classe *Citrus*, observa-se que o percentual varia entre 2% a 10%. Esta variabilidade pode estar associada à flutuação do preço do suco de laranja. Ao compararmos o total de expansão com o total mapeado com as diferentes classes pode-se observar uma diferença de 65.983 ha. Essa diferença é devida a área mapeada como expansão da cana-de-açúcar, entretanto, ao avaliarmos em período pretérito, observou-se que as mesmas já pertenciam a cultura da cana-de-açúcar e devido estarem em reforma no ano do início do mapeamento, não foram mapeadas.

Tabela 1. Uso da Terra nas áreas de expansão de cana-de-açúcar de 2005 a 2011 por ano de expansão.

Classes / Ano expansão		<i>Agrícola</i>	<i>Pastagem</i>	<i>Citrus</i>	<i>Reflorestamento</i>	<i>Vegetação Arbórea</i>	<b>Total</b>
2005	Área (ha)	61.496	125.643	6.697	666	170	194.672
	%	31,6	64,5	3,4	0,3	0,1	100,0
2006	Área (ha)	86.459	181.955	17.592	320	613	286.939
	%	30,1	63,4	6,1	0,1	0,2	100,0
2007	Área (ha)	258.818	361.172	12.834	825	1.131	634.779
	%	40,8	56,9	2,0	0,1	0,2	100,0
2008	Área (ha)	222.308	407.782	20.862	221	1.100	652.274
	%	34,1	62,5	3,2	0,0	0,2	100,0
2009	Área (ha)	84.593	226.956	8.362	69	761	320.741
	%	26,4	70,8	2,6	0,0	0,2	100,0
2010	Área (ha)	27.456	94.116	8.079	256	52	129.960
	%	21,1	72,4	6,2	0,2	0,0	100,0
2011	Área (ha)	32.920	92.483	14.161	947	74	140.585
	%	23,4	65,8	10,1	0,7	0,1	100,0
Total	Área (ha)	774.050	1.490.108	88.587	3.304	3.900	2.359.949
	%	32,80	63,14	3,75	0,14	0,17	100,00

### 3. Conclusão

Com base nos resultados apresentados pode-se concluir que a cultura da cana-de-açúcar expandiu principalmente sobre áreas anteriormente ocupadas pelas classes *Pastagem* e *Agrícola*, sendo responsáveis por ceder 63,14% e 32,80% da área de expansão canavieira, respectivamente. Também se pode concluir que do total da expansão da cana-de-açúcar, apenas 0,17% pertenciam à classe de *Vegetação Arbórea*.

### 4. Referências Bibliográficas

Adami, M., Mello, M.P., Aguiar, D.A., Rudorff, B.F.T., Souza, A.F. A Web Platform Development to Perform Thematic Accuracy Assessment of Sugarcane Mapping in South-Central Brazil. **Remote Sensing** 4, 3201-3214, 2012a.

Adami, M., Rudorff, B.F.T., Freitas, R.M., Aguiar, D.A., Sugawara, L.M., Mello, M.P.. Remote Sensing Time Series to Evaluate Direct Land Use Change of Recent Expanded Sugarcane Crop in Brazil. **Sustainability** 4, 574-585, 2012b.

Câmara, G., Souza, R.C.M., Freitas, U.M., Garrido, J. Spring: Integrating remote sensing and gis by object-oriented data modelling. **Computers & Graphics** 20, 395-403, 1996.

CONAB. **Perfil do Setor de Açúcar e Álcool no Brasil**. Companhia Nacional de Abastecimento, Brasília, p. 76, 2008.

Fargione, J., Hill, J., Tilman, D., Polasky, S., Hawthorne, P.. Land clearing and the biofuel carbon debt. **Science** 319, 1235-1238, 2008.

Farrell, A.E., Plevin, R.J., Turner, B.T., Jones, A.D., O'Hare, M., Kammen, D.M. Ethanol Can Contribute to Energy and Environmental Goals. **Science** 311, 506-508, 2006.

Freitas, R.M.d., Arai, E., Adami, M., Ferreira, A.S., Sato, F.Y., Shimabukuro, Y.E., Rosa, R.R., Anderson, L.O., Rudorff, B.F.T. Virtual laboratory of remote sensing time series: visualization of MODIS EVI2 data set over South America **JCIS - Journal of Computational Interdisciplinary Sciences** 2, 57-68, 2011.

Friel, S., Dangour, A.D., Garnett, T., Lock, K., Chalabi, Z., Roberts, I., Butler, A., Butler, C.D., Waage, J., McMichael, A.J., Haines, A.. Public health benefits of strategies to reduce greenhouse-gas emissions: food and agriculture. **The Lancet** 374, 2016-2025, 2009.

Gao, Y., Skutsch, M., Drigo, R., Pacheco, P., Masera, O. Assessing deforestation from biofuels: Methodological challenges. **Applied Geography** 31, 508-518, 2011.

Goldemberg, J., Coelho, S.T., Guardabassi, P.. The sustainability of ethanol production from sugarcane. **Energy Policy** 36, 2086-2097, 2008.

Kim, H., Kim, S., Dale, B.E.. Biofuels, Land Use Change, and Greenhouse Gas Emissions: Some Unexplored Variables. **Environmental Science & Technology** 43, 961-967, 2009.

Lambin, E.F., Geist, H.J., Lepers, E.. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. **Annual Review of Environment and Resources** 28, 205-241, 2003.

Laurance, W.F., Camargo, J.L.C., Luizão, R.C.C., Laurance, S.G., Pimm, S.L., Bruna, E.M., Stouffer, P.C., Williamson, B., Benítez-Malvido, J., Vasconcelos, H.L., Houtan, K.S.V., Zartman, C.E., Boyle, S.A., Didham, R.K., Andrade, A., Lovejoy, T.E.. The fate of Amazonian forest fragments: A 32-year investigation. **Biological Conservation** 144, 56-67, 2011.

McAlpine, C.A., Etter, A., Fearnside, P.M., Seabrook, L., Laurance, W.F.. Increasing world consumption of beef as a driver of regional and global change: A call for policy action based on evidence from Queensland (Australia), Colombia and Brazil. **Global Environmental Change-Human and Policy Dimensions** 19, 21-33, 2009.

Naylor, B.Y.R.L., Liska, A.J., Burke, M.B., Falcon, W.P., Gaskell, J.C., Rozelle, S.D., Cassman, K.G.. The Ripple Effect. Biofuels, Food Security, and the Environment. **Environment** 49, 30-43, 2007.

Rathmann, R., Szklo, A., Schaeffer, R.. Land use competition for production of food and liquid biofuels: An analysis of the arguments in the current debate. **Renewable Energy** 35, 14-22, 2010.

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** 2, 1057-1076, 2010.

Scharlemann, J.P.W., Laurance, W.F.. How Green Are Biofuels? **Science** 319, 43 - 44, 2008.

Searchinger, T., Heimlich, R., Houghton, R.A., Dong, F., Elobeid, A., Fabiosa, J., Tokgoz, S., Hayes, D., Yu, T.-H.. Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. **Science** 319, 1238-1240, 2008.

Tucker, C.J., Grant, D.M., Dykstra, J.D., 2004. NASA's Global Orthorectified Landsat Data Set. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing** 70, 313-322.