Thaís Nícia Azevedo

**Efeito da expansão do cultivo de cana-
de-açúcar na composição da paisagem
do estado de São Paulo**

Effects of the sugarcane expansion on the
landscape composition in São Paulo state

São Paulo

2013

Thaís Nícia Azevedo

Efeito da expansão do cultivo de cana-de-
açúcar na composição da paisagem do
estado de São Paulo

Dissertação apresentada ao
Instituto de Biociências da
Universidade de São Paulo,
para a obtenção de Título de
Mestre em Ciências, na Área de
Ecologia.

Orientador: Prof. Dr. Jean Paul
Walter Metzger

São Paulo

2013

Ficha Catalográfica

Azevedo, Thaís Nícia

**Efeito da expansão do cultivo de
cana-de-açúcar na composição da
paisagem do estado de São Paulo**

Páginas 79

Dissertação (Mestrado) - Instituto
de Biociências da Universidade de São
Paulo. Departamento de Ecologia.

1. Dinâmica da paisagem 2. Proálcool
3. Desmatamento I. Universidade de
São Paulo. Instituto de Biociências.
Departamento de Ecologia.

Comissão Julgadora:

Prof(a). Dr(a).

Prof(a). Dr(a).

Prof. Dr. Jean Paul Walter Metzger

Orientador

Dedicatória

À Leandro Tavares Vieira, dedico

Epígrafe

“Logic will get you from A to B

Imagination will take you to everywhere”

Albert Einstein

Agradecimentos

Agradeço de coração a todos que, de alguma maneira, estiveram envolvidos nesse trabalho. Em especial ao Prof. Jean Paul, meus eternos agradecimentos por todos os ensinamentos. Lembro-me de quando ainda na graduação, li o primeiro artigo de Metzger e sonhava em fazer parte de sua equipe de pesquisa. Hoje, posso dizer que é uma honra ter você como orientador!

Agradeço aos membros do comitê de acompanhamento, Sílvia Ferraz e Luciano Verdade que deram contribuições valiosíssimas. Sem dúvida o acompanhamento de vocês engrandeceu este trabalho.

À Karine Machado Costa e à Michelle Beralde pelos mapeamentos, essenciais para este trabalho.

Ao LASERE, Laboratório de Sensoriamento Remoto do departamento de geografia USP, pelas fotografias aéreas.

À Universidade de São Paulo por todas as oportunidades que me proporcionou durante essa jornada.

À CAPES pela bolsa concedida.

A todos os professores e colegas das disciplinas que cursei, muito obrigada pelos ensinamentos e companheirismo. Agradeço especialmente aos professores Vânia Pivello, Sérgio Rosso, Paulo Guimarães e Tiago Quental pela chance de acompanhar mais de perto o trabalho desenvolvido na graduação, como monitora das disciplinas que ministram.

A toda equipe lepaquiana de ontem, hoje e amanhã: Alexandre Igari, Milton Ribeiro, Erica Hasui, Paula Lira, Mariana Vidal, Mariane Biz, Paula Prist, Ana Paula Giorgi, Guilherme Castell, Alice Melges, Ana Mengardo, Fernanda Abra, Fernanda Saturni, Greet de Coster, Larissa Boesing, Liz Nichols, Danielle Rappaport, Felipe Librán, Francisco d'Albertas, Guilherme Lima, Vivian Hackbart, Camila Castilho, Renato Toledo, Juarez Cabral, Isabella Romitelli e em especial ao Leandro Tambosi que me trouxe para o mundo lepaquiano.

Às caríssimas Renata Martins Belo, Joice Iamara Nogueira, Erika Marques de Santana, Márcia Duarte Barbosa da Silva e Sheina Koffler.

Ao Wellington Bispo, que sempre torceu por mim em todos esses anos de LEPac, ao Luís Carlos de Souza, Melina Leite, Maria do Socorro Borges Gomes, Vera Lima e Bernadete Preto.

Agradeço imensamente aos meus pais, ao meu vôzinho, a minha irmã, a toda a família, inclusive a família do meu noivo e aos meus amigos, que sempre me apoiaram em todos os momentos e torceram pelo meu sucesso.

À Eugéninha, que tornou tudo mais fácil com sua doce companhia, sempre disposta a me alegrar. Terei sempre você no coração, florzinha!

E um agradecimento especialíssimo a Leandro Tavares Vieira. Nem sei como colocar em palavras o quanto você me ajudou e participou de tudo isso aqui. Sempre me dando apoio em todas as etapas desse projeto e de minha vida. Nunca imaginei que iria ter tanta sorte em encontrar alguém tão especial quanto você. É realmente um presente e uma alegria imensa ter você comigo todos os dias de nossas vidas.

Índice

Índice	6
1. Introdução.....	8
1.1 Expansão agrícola e áreas de cobertura natural	8
1.2 Histórico da cana-de-açúcar no Brasil	9
1.3 Proálcool (Programa Nacional do Alcool)	10
1.4 Objetivos.....	13
2. Material e Métodos.....	14
2.1 Local de estudo	14
2.2 Delineamento amostral	14
2.2.1 Definição das unidades amostrais	14
2.3 Coleta de dados	22
2.3.1 Fotografias aéreas, imagens de satélite e georreferenciamento.....	22
2.3.2 Mapeamento.....	24
2.4 Análise de dados.....	25
2.4.1 Dinâmica das paisagens	25
2.4.2 Dinâmica das paisagens nas APPs	25
2.4.3 Dinâmica da paisagem dentro e fora de APPs	25
3. Resultados.....	27
3.1 Composição das paisagens	27
3.1.1 Composição das paisagens em 1965.....	27
3.1.2 Composição das paisagens em 1980.....	32
3.1.3 Composição das paisagens em 1995.....	37
3.1.4 Composição das paisagens em 2010.....	41
3.2 Dinâmica das paisagens	47
3.2.1 Transição das paisagens	47
3.2.2 Dinâmica da expansão da cana-de-açúcar.....	53
3.3 Dinâmica das paisagens nas APPs	55
3.4 Dinâmica da paisagem dentro e fora de APPs	58
3.4.1 Transição dentro e fora de APPs 1965-2010.....	58
3.4.2 Transição dentro e fora de APPs 1995-2010.....	62
4. Discussão.....	67
5. Referências Bibliográficas.....	72
6. Resumo	78
7. Abstract	79

1. Introdução

1.1 Expansão agrícola e áreas de cobertura natural

Há muito tempo a humanidade transforma a paisagem em busca de recursos para a sobrevivência, produção de alimentos e bem estar. Em 10.000 anos, a agricultura tem sido a maior força modificadora da terra (Ramankutty *et al.*, 2006). Com o passar dos séculos, foram estabelecidas novas técnicas e conhecimentos de uso do solo, que permitiram uma forte expansão das fronteiras agrícolas nos últimos 300 anos. Atualmente, quase um terço da superfície está sendo utilizada para cultivos ou pastagem (FAO, 2011)

Grande parte da expansão agrícola é feita em detrimento de áreas naturais e causam uma série de impactos negativos ao meio ambiente. Dentre os principais impactos decorrentes da conversão do uso da terra destaca-se a emissão de gases do efeito estufa (Houghton, 2003), perda da biodiversidade mundial, (Sala *et al.*, 2000) degradação do solo (Trimble & Crosson, 2000) e perda dos serviços ecossistêmicos (Vitousek, 1997; Millennium Ecosystem Assessment, 2003).

Os danos ambientais podem ser ainda mais prejudiciais em países megadiversos, como o Brasil, que além de abrigar dois *hotspots* de biodiversidade (a Mata Atlântica e o Cerrado; Myers *et al.*, 2000) é um dos maiores produtores agrícolas do mundo. Esses dois biomas apresentam elevada concentração de espécies endêmicas e ao mesmo tempo elevadas taxas de perda de hábitat (Myers *et al.*, 2000). A Mata Atlântica é um exemplo no qual a floresta foi reduzida a pequenos fragmentos isolados (Gascon *et al.*, 2000), sendo mais de 80% dos fragmentos restantes com área inferior a 50 ha (Ribeiro *et al.*, 2009). A situação do Cerrado também é preocupante. Machado e col. (2004) estima que se a conversão anual de 2,2 milhões de hectares de área nativa para o uso agrícola continuar, em 2030 este bioma estará totalmente destruído. Segundo Klink e Machado (2005), a agricultura neste bioma é muito lucrativa e deve continuar expandindo em ritmo acelerado. Dentre as atividades agrícolas, o cultivo de cana-de-açúcar é considerado o que mais ameaça os recursos naturais do Cerrado (Durigan *et al.*, 2004). Esse cultivo está em expansão e pode continuar contribuindo para o processo de desmatamento desse bioma (Smeets *et al.*, 2008).

A cana-de-açúcar é um dos cultivos brasileiros mais marcantes. O país é o maior produtor (490 milhões de toneladas por ano - safra 2011/2012) e exportador (US\$ 15 bilhões) do mundo dessa cultura (UNICA, 2013), que continua em expansão em diversos estados brasileiros e é marcante em especial no estado de São Paulo. Esta atividade produtiva é a mais antiga praticada em solo brasileiro (Piacente, 2006) e tem grande importância histórica.

1.2 Histórico da cana-de-açúcar no Brasil

O cultivo da cana-de-açúcar foi introduzido em 1520 pelos colonizadores portugueses e deu início a uma série de grandes ciclos de exportação primária, que iriam dominar o crescimento econômico do Brasil até o século XX (Baer, 2002). Na época do Brasil Colônia, a cultura da cana-de-açúcar visava somente à produção de açúcar, produto de grande aceitação e valor na Europa. Assim, Portugal lucrava com o comércio do açúcar, ao mesmo tempo em que iniciava o povoamento do Brasil (Nascimento, 2008). Ferlini (1994) afirma que o primeiro ciclo econômico da Colônia teve duração de dois séculos. Durante este período, a Colônia também praticava a agricultura de subsistência, realizada em terras mais pobres, já que as melhores terras eram destinadas à cultura da cana-de-açúcar. Consequentemente, havia carência de alimentos e preços elevados das culturas de mandioca, milho, arroz, feijão; o mesmo ocorria para o cultivo de tabaco e pecuária.

Em meados de 1600, Portugal passou a concorrer com outros países, como Holanda e Inglaterra, que levaram técnicas do cultivo canavieiro e da fabricação do açúcar para as Antilhas e América Central (UNICA, 2004). Além disso, a mineração passou a ter maior desenvoltura e ofuscou a agricultura no Brasil por três quartos de século, até o fim do ciclo do ouro. Mas, por volta de 1789, a cultura da cana-de-açúcar volta a se destacar, acompanhada por dois produtos: o algodão e, mais tarde, o cultivo do café (Segatti, 2009).

A partir da metade do século XVIII, a produção canavieira teve grande expressão no estado de São Paulo, principalmente na região conhecida atualmente como o quadrilátero do açúcar, que corresponde aos municípios de Campinas, Itu, Capivari e Piracicaba (Nascimento, 2008). A ocupação das terras paulistas foi estimulada na época do Brasil Colônia, juntamente com o incentivo direto à lavoura de cana-de-açúcar. As sesmarias, concedidas pela Coroa Portuguesa, eram ocupadas e a floresta primária era queimada e derrubada, pois recobria os solos mais férteis (Leite, 2007). A Mata Atlântica foi uma das fitofisionomias que mais sofreu com o desmatamento do século XVIII ao início do XIX (Leite, 2007). Dean (2007) estima que cerca de 7.500 km² foram desmatados para dar espaço à expansão da cultura de cana-de-açúcar, a maior parte deles no estado de São Paulo.

Após quase um século de cultura da cana-de-açúcar, o café passou a substituir este cultivo agrícola, que futuramente retornaria com maior força. A cana passou a ser cultivada somente visando à produção de aguardente e açúcar para consumo local (Monteiro, 2000). A maioria das terras antes ocupadas por cana-de-açúcar foi convertida em cafezais, de modo que em 1855 a região de Campinas já produzia mais café do que açúcar. A nova cultura também se estendeu para as áreas de mata, principalmente a oeste, no grande Sertão Paulista, cenário mantido até o início do século XX (Leite, 2007).

Com a crise mundial de 1929, o café foi erradicado devido à grande dependência externa da economia brasileira. Segundo Eslebão (2007), entre os anos de 1924 e 1929, a produção cafeeira correspondia a 72,5% do valor total da exportação do país. A vulnerabilidade

da economia fez com que o governo adotasse medidas para defender o mercado interno, favorecendo a industrialização (Eslebão, 2007). Entre as décadas de 1930 e 1940, ocorreu no Brasil uma transição do modelo primário-exportador para uma economia urbana industrial e, a partir da década de 1950, houve uma aceleração do desenvolvimento industrial (Fürstenau, 1987). A aceleração do crescimento econômico após a Segunda Guerra Mundial promoveu demanda na mão-de-obra, atraindo migrantes de outras cidades e estados para a metrópole paulista e cidades do interior (Motta *et al.*, 1997).

1.3 Proálcool (*Programa Nacional do Álcool*)

Em 1973, com a “crise do petróleo”, decorrente de uma substancial elevação dos preços de petróleo, o cultivo da cana-de-açúcar expandiu nas terras paulistas com maior força (Leite, 2007). A expansão se deu principalmente em áreas de pastagem, mas também em florestas, reflorestamentos e Cerrado (Yoshii & Matsunaga, 1984). As melhores terras, áreas planas com solo fértil, eram primeiramente convertidas, depois o cultivo avançou sobre as demais áreas (Veiga Filho & Yoshii, 1992). Durante esse período, o Cerrado sofreu grande desmatamento principalmente entre 1968-1980, época de crescimento da economia brasileira (Klink & Moreira, 2002) e parte da vigência do Proálcool.

Este programa, criado pelo governo brasileiro em 1975, teve como objetivo principal substituir o petróleo e seus derivados (em especial a gasolina) pelo álcool (Melo & Fonseca, 1981). O programa repercutiu na geração de empregos no meio rural, no meio ambiente e na substituição de culturas alimentares pelo cultivo da cana-de-açúcar (Carvalho & Carrijo, 2007). Além disso, ele propiciou a consolidação do complexo agroindustrial sucroalcooleiro no estado de São Paulo (Balsadi *et al.*, 1996).

O Proálcool pode ser caracterizado em três fases: início, auge e declínio (Scandiffio, 2005; Selani, 2005; Piacente, 2006; Carvalho & Carrijo, 2007; Garcia *et al.*, 2007). Entretanto, há autores que o dividem de duas até cinco fases (Rosillo-Calle & Cortez, 1998; Veiga Filho & Ramos, 2006; Nascimento, 2008; Bini, 2009; Segatti, 2009).

A primeira fase compreende desde a criação e fundação do Proálcool (1975) até 1979, juntamente com a segunda crise do petróleo (Segatti, 2009). Esta fase caracteriza-se por incentivar o aumento da produção de etanol para utilização como combustível misturado à gasolina (Veiga Filho & Ramos, 2006). Além disso, durante os primeiros anos do programa, o parque industrial sucroalcooleiro foi renovado, utilizando a estrutura produtiva já existente e construindo destilarias anexas às usinas de cana-de-açúcar (Rosillo-Calle & Cortez, 1998). De acordo com Bini (2009), a renovação do parque industrial no estado de São Paulo ocorreu em áreas tradicionais de cultura de cana-de-açúcar, como as regiões de Ribeirão Preto, Campinas e Bauru. No entanto, a cultura também se expandiu para municípios do oeste paulista, como as

regiões de Araçatuba, Presidente Prudente e São José do Rio Preto, onde novas destilarias foram construídas (Bini, 2009).

A segunda fase, motivada por outra crise do petróleo, estendeu-se de 1979 a 1986 e foi considerada a “fase áurea” do programa. O pico desta fase foi alcançado em 1985 – 1986, chegando a produzir 11 bilhões de litros/ano (Piacente, 2006). O governo passou a investir na tecnologia de desenvolvimento de carros movidos exclusivamente a álcool (Garcia *et al.*, 2007). Ocorreu também a implantação de destilarias autônomas, com uma estruturação de uma rede de incentivos públicos, fiscais e financeiros, que abrangeu desde os produtores de etanol até os consumidores finais (Veiga Filho & Ramos, 2006). Este projeto ficou conhecido como o maior programa mundial de incentivo à produção de energia renovável (Segatti, 2009).

A terceira fase iniciou-se com o fim da crise do petróleo, em 1986. A queda dos preços do barril de petróleo provocou uma desaceleração na produção de álcool e posterior crise de abastecimento (Paulillo *et al.*, 2007). Outros eventos que desmotivaram a produção do álcool foram o corte de subsídios do setor sucroalcooleiro, a produção excedente de gasolina da Petrobrás, a falta de álcool hidratado nas bombas dos postos de combustível e consequente queda na venda de veículos movidos a álcool (Segatti, 2009).

Mais tarde, no período de 1994 a 2001, a alta no preço do açúcar incentivou a produção de açúcar em detrimento à produção do etanol (Balsadi *et al.*, 1996; Piacente, 2006; Veiga Filho & Ramos, 2006; Carvalho & Carrijo, 2007). Assim, o programa apresentou um declínio gradual, devido a todos estes fatores e seu término não é marcado por uma data definida (Garcia *et al.*, 2007). Entretanto, alguns autores como Veiga Filho e Ramos (2006) consideram a recente retomada dos cultivos de cana-de-açúcar outra fase do Proálcool.

A retomada atual do programa e a nova expansão da produção de álcool foram impulsionadas por diversos fatores. Dentre eles destacam-se: as oscilações e aumento dos preços do petróleo devido aos conflitos bélicos intensificados no Oriente Médio (Bini, 2009); a introdução do carro bicombustível no mercado brasileiro em 2003 (Scandiffio, 2005); e a busca por fontes de energia renováveis para a substituição de derivados de petróleo, a fim de evitar as emissões de CO₂ (Piacente, 2006).

De acordo com (Leemans *et al.*, 1996), o uso do etanol como fonte de energia tem sido considerado por muitos estudos uma possível medida para redução ou estabilização das emissões de dióxido de carbono. Contudo, há uma preocupação crescente sobre os impactos que a utilização deste combustível pode trazer para o meio ambiente. Börjesson (2008) afirma que os benefícios da utilização do etanol podem variar muito dependendo de como o sistema de produção está estruturado e qual cultivo será substituído para a nova cultura. Estudos têm apontado que as mudanças de uso e cobertura da terra podem influenciar substancialmente os benefícios climáticos que o etanol poderia trazer, principalmente quando a expansão dessas culturas é sobre cobertura natural (Leemans *et al.*, 1996; Fargione *et al.*, 2008; Gibbs *et al.*, 2008; Searchinger *et al.*, 2008). A conversão de cobertura natural para a produção de

biocombustíveis resulta em grande débito de carbono. No Cerrado, o pagamento do débito de carbono (acima e abaixo do solo) leva ao menos 17 anos em áreas convertidas em canaviais no Brasil (Fargione *et al.*, 2008). Assim, os ganhos ambientais com a produção de biocombustíveis são mais expressivos quando a expansão é feita sobre terras de baixo armazenamento de carbono no solo e na vegetação, como terras degradadas e abandonadas (Tilman *et al.*, 2009).

Historicamente, o cultivo de cana-de-açúcar já causou muito desmatamento, mas atualmente no estado de São Paulo, o maior produtor de biocombustível do país, a expansão ocorre essencialmente com a substituição de atividades anteriormente estabelecidas (Veiga Filho & Yoshii, 1992). Isso porque há uma forte limitação à expansão das fronteiras agrícolas em áreas de vegetação nativa, quando estas ainda existem, visto que somente 17,5% do estado é composto por remanescentes naturais (SÃO PAULO, 2009). Entre as atividades agropecuárias, a pastagem é a mais substituída pela expansão da cana-de-açúcar (Gonçalves, 2009; Sparovek *et al.*, 2009), seguida por cultivos anuais (Olivette *et al.*, 2010; Rudorff *et al.*, 2010). No estado de São Paulo, em 2007/2008, praticamente 70% das atividades que deram espaço ao cultivo de cana-de-açúcar correspondiam à atividade pecuária (CONAB, 2008). Essa ocupação da monocultura canavieira tem se estendido por quase todos os territórios, reproduzindo um modelo de exploração quase que padronizado e uniforme (Gonçalves, 2009). Segundo Brancalion e Rodrigues (2010), grande parte das áreas de cana-de-açúcar do estado de São Paulo expandiu seguindo um modelo de uso e ocupação do solo em que as leis ambientais não eram respeitadas. Assim, áreas que deveriam ser destinadas à preservação da cobertura natural estabelecidas pelo Código Florestal, como as Áreas de Preservação Permanente (APPs) e Reservas Legais (RLs), são utilizadas por diversos tipos de atividades agrícolas, dentre eles, a cana-de-açúcar.

Para fazer frente às novas condições de mercado (principalmente para exportação), o setor sucroalcooleiro busca a certificação ambiental (Rodrigues *et al.*, 2011) e deve respeitar as APPs e RLs em áreas onde a cana-de-açúcar é cultivada. Um exemplo de certificação é o Etanol Verde, um protocolo agroambiental do estado de São Paulo, que iniciou em 2007, que visa premiar boas práticas do setor sucroalcooleiro. O protocolo tem como objetivo a redução de impactos do cultivo da cana-de-açúcar, como a antecipação dos prazos de eliminação da queima da palha, proteção de nascentes e dos remanescentes florestais, controle das erosões e o adequado gerenciamento das embalagens de agrotóxicos (SÃO PAULO, 2007). No entanto, os incentivos à obediência e a maior fiscalização em relação às leis ambientais são muito recentes, sendo que atualmente ainda encontramos o cultivo de cana-de-açúcar em APPs e a ausência de RLs. Assim, sem políticas públicas e forte fiscalização, o não cumprimento de áreas naturais protegidas pode ser muito prejudicial para o meio ambiente, o que gera paisagens fragmentadas, com baixa cobertura natural.

1.4 Objetivos

Avaliar o impacto que essa expansão teve no passado recente e corrigir os efeitos negativos na atual expansão do cultivo de cana-de-açúcar é imprescindível. O estudo das modificações na estrutura da paisagem em áreas atualmente consolidadas com o cultivo da cana-de-açúcar é de extrema importância para compreender o papel desta atividade agrícola na formação das paisagens atuais. Assim, poderemos fornecer subsídios para programas de planejamento e ordenamento territorial em áreas de expansão de cana-de-açúcar, visando a manutenção de paisagens mais conectadas que favoreçam a conservação da biodiversidade.

Tendo em vista o exposto acima, a presente dissertação teve como principal objetivo analisar os efeitos da expansão do cultivo de cana-de-açúcar sobre a dinâmica e composição da paisagem durante o Programa Nacional do Alcool no estado de São Paulo. Para tanto, avaliamos:

- (i) Como a dinâmica da paisagem em áreas de expansão do cultivo de cana-de-açúcar afeta as áreas naturais e as demais atividades agrícolas.
 - (ii) Como a dinâmica de uso e ocupação do solo ocorre nas APPs em áreas de expansão do cultivo de cana-de-açúcar.
 - (iii) Se a dinâmica de uso e ocupação do solo nas APPs difere da dinâmica fora dessas áreas:
 - (a) Esperamos que a expansão da cana-de-açúcar ocorra somente sobre as áreas fora de APPs e preferencialmente sobre a pastagem, visto que essa atividade foi a que mais cedeu espaço para o cultivo de cana-de-açúcar (Gonçalves, 2009; Sparovek *et al.*, 2009; Rudorff *et al.*, 2010). Nas APPs, esperamos que a conversão das áreas de cobertura natural para cultivo de cana-de-açúcar seja evitada.
 - (b) Esperamos que haja uma maior regeneração de vegetação natural nas APPs após 2007 e menor perda de vegetação natural em todas as áreas, devido ao protocolo Agroambiental e à maior exigência com relação à certificação e ao cumprimento das leis ambientais. Desta maneira, áreas antes ocupadas por outras culturas e pela pecuária são abandonadas, permitindo a regeneração da vegetação natural, principalmente ao longo das margens de corpos d'água e em locais com maior declividade.
-

2. Material e Métodos

2.1 Local de estudo

A área de estudo foi o eixo da rodovia Anhanguera, área histórica do agronegócio brasileiro e do cultivo de cana-de-açúcar, a nordeste do estado de São Paulo. Esta região é líder nacional de produtividade nos principais setores agropecuários, principalmente no setor sucroalcooleiro e teve crescimento impulsionado pelo Proálcool e pelos incentivos à produção da cana-de-açúcar (Miranda, 2010).

2.2 Delineamento amostral

Para avaliar como a expansão do cultivo de cana-de-açúcar afeta a composição da paisagem, selecionamos unidades amostrais que representariam as diferentes histórias de expansão da cana-de-açúcar no eixo Anhanguera, desde antes do primeiro período do Proálcool (1965) até 2010, abrangendo assim um período de 45 anos. Definimos as unidades amostrais como quadrados de 4 km por 4 km (1600 ha), consideradas amostras representativas das mudanças na composição da paisagem, segundo estudo realizado por (Ferraz *et al.*, submetido). A seleção final das unidades amostrais (ver abaixo) resultou em nove unidades amostrais, distribuídas em oito municípios do estado de São Paulo, onde a matriz da paisagem é cana-de-açúcar há pelo menos 20 anos.

2.2.1 Definição das unidades amostrais

2.2.1.1 Pré-seleção dos municípios

A localização das unidades amostrais teve como primeiro objetivo representar as diferentes trajetórias da expansão da cana-de-açúcar no estado de São Paulo durante o Proálcool. Para tanto, fizemos inicialmente uma análise da dinâmica da cana-de-açúcar nos municípios deste estado a partir de dados compilados dos censos agropecuários do IBGE de 1970, 1975, 1980, 1985, 1995 e 2006. Utilizamos os dados de área de cana-de-açúcar colhida para calcular as porcentagens de área de cana-de-açúcar em relação à área do município e a variação da porcentagem de cana-de-açúcar colhida entre os intervalos dos anos dos censos agropecuários. Para abranger apenas os municípios representativos da expansão do cultivo de cana-de-açúcar no período do Proálcool, utilizamos os seguintes critérios de seleção:

- i) municípios sem expressivo cultivo de cana-de-açúcar em 1970, com porcentagem de área de cana-de-açúcar colhida menor que 10% neste ano;
- ii) municípios com tendência de crescimento do cultivo de cana-de-açúcar nos anos 1975, 1980 e 1985, enquanto o Proálcool estava em vigor;

- iii) municípios com grande expansão do cultivo de cana-de-açúcar na fase áurea do Proálcool entre 1980 e 1985.

Para atender ao primeiro critério, selecionamos municípios com porcentagem de área de cana-de-açúcar colhida menor que 10% em 1970. Essa seleção nos permitiu analisar paisagens que passaram a sofrer a influência do cultivo de cana-de-açúcar com o início do Proálcool, ou seja, paisagens antes da introdução da cana-de-açúcar.

A fim de atender ao segundo critério, escolhemos municípios com tendência de crescimento de porcentagem de área de cana-de-açúcar enquanto o Proálcool estava em vigor. Analisamos as porcentagens para os anos 1975, 1980 e 1985 e selecionamos os municípios em que as porcentagens aumentaram com o passar dos anos.

Por fim, selecionamos municípios com grande expansão do cultivo de cana-de-açúcar na fase áurea do Proálcool. Escolhemos municípios em que a variação da porcentagem de área de cana-de-açúcar colhida foi maior que 10% no período de 1980 a 1985. Essa seleção foi realizada para garantir uma presença efetiva do cultivo de cana-de-açúcar na terra em ao menos 20 anos, o que permitiria ver se houve regeneração florestal nas imagens aéreas mais recentes (2008 a 2010; ver a seguir).

Dentre os 645 municípios do Estado de São Paulo, 34 atenderam aos três critérios estabelecidos (Figura 1).

Figura 1: Localização dos 34 municípios pré-selecionados para alocação de unidades amostrais que tiveram expansão do cultivo de cana-de-açúcar durante o Proálcool no estado de São Paulo.

Para analisar a trajetória do cultivo de cana-de-açúcar nos 34 municípios, plotamos os dados de variação da porcentagem de cana-de-açúcar colhida entre os intervalos dos anos dos censos agropecuários (Figura 2). Realizamos uma análise de agrupamento a fim de identificar os municípios com padrões similares de expansão e retração de cultivo de cana-de-açúcar. Fizemos a análise a partir do cálculo de variação da porcentagem de cana-de-açúcar colhida para os 34 municípios considerando todas as variações dos períodos (1970/1975, 1975/1980, 1980/1985, 1985/1995 e 1995/2006) (Figura 3). Assim, com o resultado dessa análise, pré-selecionamos os municípios buscando a representatividade amostral de cada grupo formado.

Figura 2: Variação da porcentagem de cana-de-açúcar colhida em relação à área do município em 34 municípios do estado de São Paulo pré-selecionados para estudo da expansão do cultivo de cana-de-açúcar.

Figura 3: Dendrograma da análise de agrupamento de 34 municípios pré-selecionados para estudo da expansão do cultivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo durante o Proálcool.

A análise de agrupamento dividiu os municípios em 5 grupos, excetuando quatro municípios (Sales Oliveira, Jardinópolis, Aramina e Sumaré), que diferiram muito dos demais e desta forma foram excluídos da seleção (Figura 3). Dentre os 30 municípios pré-selecionados, adotamos para este estudo, os que se localizam há no máximo 100 km da Rodovia Anhanguera. Esta rodovia é um grande escoadouro de mercadorias e de grande influência para o setor sucroalcooleiro (Figura 4). Assim, com mais esse critério, pré-selecionamos 18 municípios pertencentes a três grupos divididos segundo a análise de agrupamento e alocamos as unidades amostrais de forma a representá-los.

Figura 4: Municípios pré-selecionados em um raio de 100 km da Rodovia Anhanguera para alocação das unidades amostrais no estudo de expansão do cultivo de cana-de-açúcar durante o Proálcool no estado de São Paulo

2.2.1.2 Localização das unidades amostrais nos municípios

Assim como a pré-seleção dos municípios, delimitamos a localização das unidades amostrais dentro dos 18 municípios buscando uma representatividade da dinâmica do cultivo de cana-de-açúcar durante o Proálcool, utilizando quatro principais critérios. Foram consideradas unidades amostrais:

- i) sem cultivo de cana-de-açúcar antes de o Proálcool, segundo as cartas topográficas (escala 1:50000) do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE);
- ii) com mais de 50% de cultivo de cana-de-açúcar em 1988, segundo o mapa impresso (escala 1:250.000) de cultivo de cana-de-açúcar do nordeste do estado de São Paulo, fornecido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa);
- iii) em uma faixa de 5 a 25 km de distância de uma usina, delimitada a partir do *shapefile* de usinas do estado de São Paulo em 2010 (resolução 30 m), cedido pela Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo (SMA);
- iv) o mais distante possível entre si para amenizar problemas de autocorrelação espacial.

Para atender ao primeiro critério e garantir a seleção de áreas em expansão de cana-de-açúcar durante o Proálcool, selecionamos regiões em que a cana-de-açúcar não era cultivada em 1965. Para isso, analisamos as cartas topográficas em meio digital do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) que apresentavam dados do cultivo de cana-de-açúcar em 1965. Georreferenciamos as cartas topográficas para os 18 municípios pré-selecionados no programa ArcGIS 10 pelo método de reamostragem do vizinho mais próximo e selecionamos possíveis regiões sem cultivo de cana-de-açúcar para alocar as unidades amostrais.

Para garantir que a cana-de-açúcar foi a matriz da paisagem durante o auge do Proálcool, pré-selecionamos unidades amostrais com mais de 50% de cultivo de cana-de-açúcar em 1988. Utilizamos o mapa impresso de cultivo de cana-de-açúcar do nordeste do estado de São Paulo de 1988, fornecido pela Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária (Embrapa) e localizamos manualmente possíveis unidades amostrais de 1600 ha com mais de 50% de cultivo de cana-de-açúcar. Este mapa englobou 13 dos 18 municípios pré-selecionados para alocação das unidades amostrais. Assim, quatro municípios foram eliminados da seleção por falta de disponibilidade de informações.

O terceiro critério foi utilizado para controlar a influência que a distância da usina de cana-de-açúcar exerce sobre a dinâmica da paisagem. O uso da terra com cana-de-açúcar em locais distantes das usinas de processamento pode mudar caso a economia não seja favorável para o cultivo. Segundo Mitsutani (2010), os canaviais devem estar no máximo 50 km de distância das usinas de processamento de cana-de-açúcar. Quanto maior a distância do canavial à usina de processamento, maior o custo de produção (Borba & Bazzo, 2009). Por meio do software ArcGIS 10, traçamos *buffers* de 5 e 25 km a partir do *shapefile* de usinas do estado de São Paulo em 2010, cedido pela Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo (SMA), e delimitamos faixas possíveis para alocar as unidades amostrais (Figura 5).

Figura 5: Mapa de usinas de cana-de-açúcar do estado de São Paulo e faixa de influência de raio de 5 a 25 km de distância das usinas.

Segundo o quarto critério, alocamos as unidades amostrais o mais distante possível entre si, ao menos 20 km de distância a fim de evitar problemas de autocorrelação espacial. No entanto, alguns municípios pré-selecionados eram muito pequenos e próximos, o que impediu a definição de algumas unidades amostrais. Por outro lado, o critério de distância possibilitou que municípios grandes pudessem abarcar duas unidades amostrais. Finalmente, definimos as unidades amostrais em oito municípios: Fernando Prestes, Luís Antônio, Moji-Mirim, Morro Agudo, Rio Claro, São Joaquim da Barra, Serra Azul, e Guaíra, com duas unidades amostrais (Figura 6).

Figura 6: Unidades amostrais selecionadas alocadas em municípios do estado de São Paulo utilizadas no estudo de expansão do cultivo de cana-de-açúcar durante o Proálcool.

As unidades amostrais estão em dois *hotspots* de biodiversidade, sendo sete no Cerrado e duas na Mata Atlântica (Figura 7), segundo o mapa de Biomas do Ministério do Meio Ambiente (MMA 2006).

Figura 7: Localização das unidades amostrais adotadas nos biomas do estado de São Paulo.

2.3 Coleta de dados

2.3.1 Fotografias aéreas, imagens de satélite e georreferenciamento

O período de amostragem inclui imagens de antes da expansão da cana-de-açúcar no Proálcool (1965) até 2010, com intervalos de cerca de 15 anos: 1965, 1980, 1995 e 2010. Utilizamos fotografias aéreas cedidas pelo Laboratório de Aerofotogeografia e Sensoriamento Remoto (LASERE) do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo e fotografias aéreas adquiridas da empresa BASE Aerofotogrametria e Projetos S. A. Utilizamos também imagens de satélite CBERS-2B HRC (Câmera Pancromática de Alta Resolução) com 2,7 m de resolução e imagens de satélite do programa Google Earth com resolução de 2,5 m. As datas das fotografias aéreas e imagens de satélite das paisagens que estudamos diferiram conforme a disponibilidade de dados (Tabela 1). Independentemente da data das imagens, iremos nos referir às datas apenas como 1965, 1980, 1995 e 2010. Para a data referência 1995, não encontramos imagens ou fotografias aéreas em três unidades amostrais: Guaira 1, Guaira 2 e São Joaquim da Barra.

Tabela 1: Ano e fonte das fotografias aéreas e imagens de satélite que utilizamos para este estudo. Fontes: Laboratório de Aerofotogeografia e Sensoriamento Remoto (LASERE), empresa BASE Aerofotogrametria e Projetos S. A., imagens de satélite CBERS-2B HRC (Câmera Pancromática de Alta Resolução) e imagens de satélite do programa Google Earth.

Unidades amostrais	Data referência			
	1965	1980	1995	2010
Fernando Prestes (FP)	1962	1979	2000	2010
	LASERE	BASE	BASE	Google Earth
Guaíra 1 (GR1)	1962	1983	Não	2005
	LASERE	BASE	disponível	Google Earth
Guaíra 2 (GR2)	1962	1983	Não	2009
	LASERE	BASE	disponível	Google Earth
Luís Antônio (LA)	1962	1988	2000	2010
	LASERE	BASE	BASE	Google Earth
Moji-Mirim (MM)	1962	1988	2000	2010
	LASERE	BASE	BASE	Google Earth
Morro Agudo (MA)	1962	1983	2000	2009
	LASERE	BASE	BASE	CBERS 2B HRC
Rio Claro (RC)	1962	1978	1995	2008
	LASERE	BASE	BASE	CBERS 2B HRC
São Joaquim da Barra (SJB)	1962	1983	Não	2009
	LASERE	BASE	disponível	CBERS 2B HRC
Serra Azul (SA)	1962	1983	2000	2010
	LASERE	BASE	BASE	Google Earth

Georreferenciamos as fotografias aéreas e as imagens de satélite para as paisagens adotadas com base nas cartas topográficas em formato digital do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) pelo método de amostragem do vizinho mais próximo. O georreferenciamento foi feito somente por uma pessoa, a fim de evitar distorções. Georreferenciamos as fotografias aéreas e imagens de satélite no programa ArcGIS 10 e distribuímos cerca de 30 pontos controle em cada uma, com erro médio inferior a 6 m.

2.3.2 Mapeamento

Realizamos os mapeamentos no programa ArcGIS 10 por interpretação visual e digitalização em tela, com janela de visualização em escala de 1:5.000, garantindo a geração de mapeamentos em escala 1:35.000. A fotointerpretação foi feita por três pessoas: a BSc em Ciências Biológicas Karine Costa, a graduanda em Ciências Biológicas Michelle Beralde e a autora Thaís Nícia Azevedo. Esta última supervisionou e revisou todos os mapeamentos. Para evitar erros de fotointerpretação, cada pessoa mapeou todas as datas de uma paisagem. Mapeamos as paisagens em oito classes diferentes, que correspondiam em geral a outros usos e coberturas sobre as quais a cana-de-açúcar poderia se expandir (Tabela 2). Classificamos as áreas de vegetação arbóreo-arbustiva adensada em Cerradão ou Mata Atlântica de acordo com o *shapefile* de biomas do Ministério do Meio Ambiente (MMA).

Tabela 2: Definição das classes de uso e cobertura do solo utilizadas no mapeamento da dinâmica da cana-de-açúcar nas nove unidades amostrais do eixo Anhanguera.

Classes de uso e cobertura do solo	Definição
Cana-de-açúcar	Áreas com cultivo de cana-de-açúcar, independente da idade do plantio.
Floresta	Vegetação arbóreo-arbustiva adensada em estágio médio a avançado de sucessão. Bioma Mata Atlântica segundo Ministério do Meio Ambiente (MMA).
Vegetação inicial	Vegetação arbustiva adensada em estágio inicial de sucessão.
Cerradão	Vegetação arbóreo-arbustiva adensada. Bioma Cerrado segundo MMA.
Campo cerrado	Vegetação savânica com estrato arbustivo-herbáceo contínuo e estrato arbustivo arbóreo descontínuo. Bioma Cerrado segundo MMA.
Pastagem	Pastos limpo e sujo, vegetação herbácea a herbácea-arbustiva e campo úmidos com a presença de gado.
Cultivos	Culturas anuais e permanentes, inclusive florestas plantadas com espécies exóticas.
Outros	Corpos d'água, mineração, instalações rurais e solo exposto.

2.4 Análise de dados

2.4.1 Dinâmica das paisagens

Transformamos os mapeamentos de todas as paisagens de representação vetorial para uma mesma resolução (3 m) em representação matricial (*rasters*). A partir dos mapas em representação matricial, calculamos as matrizes de transição dos três períodos 1965 a 1980, 1980 a 1995 e 1995 a 2010 para cada unidade amostral pela ferramenta “Tabulate Area” do programa ArcGIS 10. Calculamos a área em hectares e a porcentagem de uso e cobertura da terra de cada classe (PLand). . Após isso, calculamos a média e o desvio padrão das porcentagens de todas as paisagens para as matrizes de transição a fim de entender o padrão geral da dinâmica da expansão e cultivo da cana-de-açúcar.

2.4.2 Dinâmica das paisagens nas APPs

Elaboramos *shapefiles* de hidrografia para todas as paisagens de 1965. Utilizamos como referência as cartas topográficas do Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) e a fotointerpretação das fotografias aéreas de 1965. A partir dos *shapefiles* de hidrografia, nascentes, corpos d'água e campos úmidos, geramos as APPs (com exceção das APPs de encosta e topo de morro), segundo o Código Florestal em vigor na época das imagens analisadas (Lei 4.771/65). Cruzamos dados dos mapeamentos do uso e cobertura da terra das paisagens e geramos *shapefiles* de uso e cobertura do solo das áreas de APPs. Transformamos os mapas de APPs de representação vetorial em representação matricial com resolução de 3 m. Calculamos as matrizes de transição das APPs das unidades amostrais de 1965-2010 a fim de entender a dinâmica nas APPs como um todo. Calculamos a média e o desvio padrão das porcentagens de todas as matrizes de transição das paisagens com o intuito de analisarmos o efeito que a expansão da cana-de-açúcar exerceu sobre as APPs.

2.4.3 Dinâmica da paisagem dentro e fora de APPs

Avaliamos se a expansão do cultivo de cana-de-açúcar durante todo o período (1965-2010) afetou diferentemente as APPs e áreas fora de APPs. Para isso, analisamos separadamente as matrizes de transição das APPs e fora das APPs para o período de 1965 a 2010. Verificamos se a expansão do cultivo de cana-de-açúcar preferiu alguma classe de uso e ocupação do solo para expandir. Aplicamos o teste de qui-quadrado para testar se as mudanças de uso e cobertura do solo diferiram da distribuição ao acaso nas duas áreas. Assim, pudemos analisar se houve um direcionamento na conversão do uso e cobertura do solo, tanto nas APPs, quanto fora delas.

Também analisamos se a dinâmica das áreas de cobertura natural diferiu em APPs e fora de APPs. Para esta análise, aplicamos o teste T pareado a fim de testar se a regeneração e a perda de vegetação natural das paisagens foram diferentes nestas áreas.

Visto que a preocupação com a preservação das áreas naturais historicamente foi mais acentuada durante o último período de transição, aplicamos esses dois testes também para a última transição, de 1995-2010. E ainda, com a finalidade de analisar o efeito direto do cultivo de cana-de-açúcar sobre as áreas naturais, aplicamos o teste T pareado em áreas que envolveram o cultivo de cana-de-açúcar de 1995-2010. Assim, pudemos avaliar se houve maior regeneração em áreas de APPs depois do protocolo agroambiental.

3. Resultados

3.1 Composição das paisagens

3.1.1 Composição das paisagens em 1965

Em 1965, a classe pastagem foi a matriz em todas as paisagens com exceção de Luís Antônio (Figura 10), cuja matriz foi campo cerrado (46,11%). A classe cana-de-açúcar não ocorreu em seis paisagens e nas demais ela ocupou menos de 3% da paisagem (Tabela 3). A porcentagem das classes de cobertura natural (vegetação inicial, floresta, cerradão e campo cerrado) variou de 1,5% em Fernando Prestes (Figura 15) a 70% em Luís Antônio (Figura 10).

Tabela 3: Porcentagem das classes de uso e cobertura nas nove paisagens estudadas em 1965.

Paisagem	Cana-de-açúcar	Cobertura Natural	Cerradão ou Floresta	Campo Cerrado	Vegetação Inicial	Pastagem	Cultivos	Outros
GR1	0,00	33,06	21,19	11,82	0,05	53,37	13,25	0,32
GR2	0,00	8,18	7,76	0,10	0,31	68,43	22,53	0,87
LA	0,00	70,45	24,34	46,11	0,00	29,55	NA	0,00
MA	0,00	29,11	4,27	21,68	3,17	67,80	0,00	3,09
MM	0,30	4,49	2,28	0,36	1,85	71,39	20,77	3,04
SA	0,00	11,83	9,61	12,25	2,22	68,51	2,54	4,87
SJB	1,57	19,32	2,74	16,08	0,51	77,14	0,88	1,09
FP	0,00	1,50	1,07	não ocorre	0,43	51,31	45,33	1,86
RC	2,87	7,06	5,48	não ocorre	1,59	75,16	12,12	2,79

Figura 8: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Guaíra 1 em 1965.

Figura 9: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Guaíra 2 em 1965.

Figura 10: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Luís Antônio em 1965.

Figura 11: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Morro Agudo em 1965.

Figura 12: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Moji Mirim em 1965.

Figura 13: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Serra Azul em 1965.

Figura 14: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem São Joaquim da Barra em 1965.

Figura 15: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Fernando Prestes em 1965.

Figura 16: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Rio Claro em 1965.

3.1.2 Composição das paisagens em 1980

Em seis paisagens, a cana-de-açúcar foi a classe dominante e a porcentagem da paisagem desta classe variou de 49% em Moji Mirim (Figura 21) a 96% em Luís Antônio (Figura 19). Em Morro Agudo e Rio Claro a pastagem foi a matriz, e em Fernando Prestes a classe cultivos foi a matriz (Tabela 4). A porcentagem de cobertura natural (vegetação inicial, floresta, cerradão e campo cerrado) ficou abaixo de 12% em todas as paisagens.

Tabela 4: Porcentagem das classes de uso e cobertura nas nove paisagens estudadas em 1980.

Paisagem	Cana-de-açúcar	Cobertura Natural	Cerradão ou Floresta	Campo Cerrado	Vegetação Inicial	Pastagem	Cultivos	Outros
GR1	77,44	3,01	2,84	0,00	0,17	18,43	0,20	0,92
GR2	68,24	6,10	5,71	0,26	0,13	19,66	5,21	0,79
LA	96,02	0,13	0,07	0,00	0,05	3,82	NA	0,04
MA	37,62	7,84	1,24	6,38	0,22	51,21	3,33	0,00
MM	49,59	3,74	2,28	0,18	1,28	30,25	13,85	2,57
SA	63,39	11,28	6,37	4,28	0,63	20,90	3,69	0,74
SJB	65,53	1,97	1,57	0,00	0,40	26,78	2,35	3,37
FP	5,75	2,29	1,40	não ocorre	0,89	35,13	54,64	2,18
RC	23,83	7,08	6,47	não ocorre	0,61	60,53	7,69	0,87

Figura 19: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Luís Antônio em 1980.

Figura 20: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Morro Agudo em 1980.

Figura 21: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Moji Mirim em 1980.

Figura 22: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Serra Azul em 1980.

Figura 23: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem São Joaquim da Barra em 1980.

Figura 24: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Fernando Prestes em 1980.

Figura 25: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Rio Claro em 1980.

3.1.3 Composição das paisagens em 1995

A classe cana-de-açúcar foi a matriz em todas as paisagens, exceto em Fernando Prestes, onde a matriz foi a classe cultivos (Tabela 5). As classes de cobertura natural (vegetação inicial, floresta, cerradão e campo cerrado) variaram de 0,29% em Luís Antônio (Figura 26) e 15,08% em Serra Azul (Figura 29). A porcentagem da classe pastagem variou de 4,56% em Luís Antônio (Figura 26) a 41,21% em Morro Agudo (Figura 27).

Tabela 5: Porcentagem das classes de uso e cobertura nas nove paisagens estudadas em 1995.

Paisagem	Cana-de-açúcar	Cobertura Natural	Cerradão ou Floresta	Campo Cerrado	Vegetação Inicial	Pastagem	Cultivos	Outros
LA	95,15	0,29	0,20	0,00	0,09	4,56	NA	0,00
MA	49,94	5,75	1,44	4,11	0,21	41,21	3,10	0,00
MM	51,24	6,07	2,91	0,00	3,16	30,54	9,49	2,65
SA	63,87	15,08	9,04	5,34	0,70	20,00	0,12	0,93
FP	28,62	3,71	2,51	não ocorre	1,20	16,00	50,46	1,21
RC	64,04	7,94	7,28	não ocorre	0,67	22,67	4,22	1,12

Figura 26: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Luís Antônio em 1995.

Figura 27: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Morro Agudo em 1995.

Figura 28: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Moji Mirim em 1995.

Figura 29: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Serra Azul em 1995.

Figura 30: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Fernando Prestes em 1995.

Figura 31: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Rio Claro em 1995.

3.1.4 Composição das paisagens em 2010

A classe cana-de-açúcar foi a matriz em todas as paisagens neste ano e variou de 46,21% em Fernando Prestes (Figura 39) a 95% em Luís Antônio (Figura 32). As classes de cobertura natural (vegetação inicial, floresta, cerradão e campo cerrado) variaram de 0,26% em Luís Antônio a 18,18% em Serra Azul (Tabela 6). O campo cerrado não ocorreu em cinco paisagens, dentre as sete paisagens do bioma Cerrado, e a maior porcentagem da classe foi 3% em Morro Agudo (Figura 35). A porcentagem de cobertura da classe pastagem variou de 4,62% em Luís Antônio (Figura 32) a 25,75% em Morro Agudo (Figura 35) e a classe cultivos atingiu a maior cobertura (36,89%) em Fernando Prestes (Figura 39).

Tabela 6: Porcentagem das classes de uso e cobertura nas nove paisagens estudadas em 2010.

Paisagem	Cana-de-açúcar	Cobertura Natural	Cerradão ou Floresta	Campo Cerrado	Vegetação Inicial	Pastagem	Cultivos	Outros
GR1	77,56	3,67	3,00	0,00	0,67	17,78	0,02	0,97
GR2	87,07	5,89	2,09	0,69	3,10	6,26	0,00	0,78
LA	95,03	0,26	0,15	0,00	0,11	4,62	0,00	0,09
MA	66,22	4,71	1,46	3,07	0,18	25,75	3,32	0,00
MM	69,12	6,59	4,07	0,00	2,51	15,44	5,66	3,19
SA	70,47	18,18	17,63	0,00	0,55	10,33	0,13	0,89
SJB	65,42	3,95	2,95	0,00	1,00	22,08	1,26	7,29
FP	46,21	5,32	4,08	não ocorre	1,23	10,38	36,89	1,20
RC	74,07	9,10	8,25	não ocorre	0,84	9,47	1,22	6,15

Figura 32: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Guaíra 1 em 2010.

Figura 33: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Guaíra 2 em 2010.

Figura 34: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Luís Antônio em 2010.

Figura 35: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Morro Agudo em 2010.

Figura 36: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Moji Mirim em 2010.

Figura 37: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Serra Azul em 2010.

Figura 38: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem São Joaquim da Barra em 2010.

Figura 39: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Fernando Prestes em 2010.

Figura 40: Mapa de uso e ocupação do solo e Áreas de Preservação Permanente (APPs) da paisagem Rio Claro em 2010.

3.2 Dinâmica das paisagens

3.2.1 Transição das paisagens

3.2.1.1 Transição das paisagens de 1965-1980

A dinâmica das paisagens diferiu em função da condição inicial de cada paisagem, em particular da área de cobertura natural no primeiro ano mapeado (Tabela 3). Dentre as nove paisagens analisadas, quatro apresentaram porcentagem de cobertura natural inferior a 10% e cinco apresentaram valores mais elevados de porcentagem de cobertura natural (19% a 70%). Nas paisagens com valores mais elevados de cobertura natural (Luís Antônio, Guaíra 1, Morro Agudo e São Joaquim da Barra), a perda de vegetação natural ocorreu com maior intensidade na primeira transição (Figura 44). As classes de cobertura natural decaíram, em especial o cerrado e campo cerrado, que foram suprimidas na maioria das paisagens estudadas em 1980 (Figura 41). Nas demais paisagens, com valores reduzidos de vegetação, o cultivo de cana-de-açúcar expandiu principalmente sobre as áreas de pastagens e cultivos. A transição de 1965-1980 foi bastante dinâmica, com uma média da alteração das porcentagens das classes das paisagens de 67% (Tabela 7).

Figura 41: Porcentagem da área de expansão do cultivo de cana-de-açúcar em relação à paisagem sobre as demais classes de uso e cobertura do solo de 1965 a 1980. As paisagens analisadas, representadas na legenda, foram: Guaíra 1 (GR1), Fernando Prestes (FP), Guaíra 2 (GR2), Luís Antônio (LA), Morro Agudo (MA), Moji Mirim (MM), Rio Claro (RC), Serra Azul (SA), São Joaquim da Barra (SJB).

Tabela 7: Matriz de transição das unidades amostrais durante o período de 1965 a 1980. Os valores representam média (primeiro valor) e desvio padrão (segundo valor) das porcentagens das classes de uso e cobertura do solo de todas as unidades amostrais.

Transição 1965-1980	Cana-de- açúcar 1980	Vegetação Inicial 1980	Cerradão ou Floresta 1980	Pastagem 1980	Cultivos 1980	Outros 1980	Campo Cerrado 1980	Total 1965	Perdas
Cana-de-açúcar 1965	1,26 (0,96)	0,00 (0,00)	0,00 (0,01)	0,29 (0,40)	0,02 (0,04)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	1,58 (1,28)	0,32 (0,45)
Vegetação Inicial 1965	0,29 (0,29)	0,07 (0,08)	0,20 (0,31)	0,60 (0,70)	0,05 (0,07)	0,05 (0,11)	0,02 (0,03)	1,27 (1,11)	1,20 (1,10)
Cerradão ou Floresta 1965	5,81 (9,07)	0,07 (0,04)	1,90 (1,65)	0,70 (0,68)	0,13 (0,15)	0,09 (0,14)	0,21 (0,30)	8,75 (8,42)	6,85 (8,82)
Pastagem 1965	32,96 (15,07)	0,32 (0,27)	0,75 (0,93)	23,57 (12,71)	4,10 (6,10)	1,14 (1,11)	0,38 (0,42)	62,52 (15,19)	38,95 (11,96)
Cultivos 1965	6,51 (6,59)	0,04 (0,09)	0,11 (0,11)	5,68 (10,49)	7,68 (12,60)	0,14 (0,28)	0,00 (0,00)	16,77 (15,02)	9,09 (6,15)
Outros 1965	0,75 (1,15)	0,01 (0,02)	0,02 (0,02)	0,67 (0,69)	0,16 (0,27)	0,64 (0,76)	0,00 (0,00)	2,24 (1,49)	1,60 (1,52)
Campo Cerrado 1965	11,55 (16,11)	0,01 (0,01)	0,22 (0,29)	3,03 (6,17)	0,27 (0,45)	0,03 (0,04)	0,97 (1,64)	15,49 (15,63)	15,07 (15,77)
Total 1980	54,16 (27,98)	0,49 (0,41)	3,11 (2,44)	29,64 (17,42)	11,37 (17,97)	1,98 (1,96)	1,57 (2,34)	100,00 (0,00)	67,18 (19,45)
Ganhos	53,74 (28,19)	0,43 (0,35)	1,21 (1,33)	6,06 (6,72)	4,65 (6,15)	1,41 (1,30)	0,60 (0,70)	67,18 (19,45)	

3.2.1.2 Transição das paisagens de 1980-1995

A transição de 1980-1995 foi caracterizada pela expansão da cana-de-açúcar sobre pastagens e cultivos (Figura 42). No ano de 1995, a matriz dominante em oito unidades amostrais foi a cana-de-açúcar. As classes de cobertura natural continuaram com baixa representatividade na paisagem, sendo que houve pouca perda e regeneração das áreas naturais (Tabela 8).

Figura 42: Porcentagem da área de expansão do cultivo de cana-de-açúcar em relação à paisagem sobre as demais classes de uso e cobertura do solo de 1980 a 1995. As paisagens analisadas, representadas na legenda, foram: Guaíra 1 (GR1), Fernando Prestes (FP), Guaíra 2 (GR2), Luís Antônio (LA), Morro Agudo (MA), Moji Mirim (MM), Rio Claro (RC), Serra Azul (SA), São Joaquim da Barra (SJB) no estado de São Paulo.

Tabela 8: Matriz de transição das unidades amostrais durante o período de 1980 a 1995. Os valores representam média (primeiro valor) e desvio padrão (segundo valor) das porcentagens das classes de uso e cobertura do solo de todas as unidades amostrais.

Transição 1980-1995	Cana-de- açúcar 1995	Vegetação Inicial 1995	Cerradão ou Floresta 1995	Pastagem 1995	Cultivos 1995	Outros 1995	Campo Cerrado 1995	Total 1980	Perdas
Cana-de-açúcar 1980	42,39 (31,36)	0,07 (0,06)	0,14 (0,24)	2,93 (3,19)	0,54 (0,65)	0,05 (0,04)	0,01 (0,00)	46,03 (31,62)	3,64 (3,48)
Vegetação Inicial 1980	0,04 (0,04)	0,13 (0,15)	0,19 (0,15)	0,21 (0,14)	0,04 (0,08)	0,01 (0,02)	0,00 (0,00)	0,61 (0,44)	0,48 (0,34)
Cerradão ou Floresta - 1980	0,18 (0,23)	0,10 (0,11)	2,19 (2,14)	0,42 (0,45)	0,07 (0,12)	0,03 (0,02)	0,00 (0,00)	2,97 (2,76)	0,78 (0,73)
Pastagem 1980	11,24 (13,77)	0,60 (0,71)	1,14 (1,00)	17,19 (12,10)	3,22 (5,09)	0,52 (0,24)	2,07 (0,00)	33,64 (20,48)	16,45 (15,03)
Cultivos 1980	5,50 (6,62)	0,10 (0,17)	0,06 (0,06)	1,38 (1,33)	9,43 (15,04)	0,17 (0,20)	0,00 (0,00)	16,64 (21,66)	7,21 (7,00)
Outros 1980	0,36 (0,51)	0,02 (0,02)	0,01 (0,01)	0,58 (0,65)	0,18 (0,28)	1,22 (1,35)	0,00 (0,00)	2,13 (2,29)	1,11 (1,09)
Campo Cerrado 1980	0,01 (0,01)	0,02 (0,02)	0,51 (0,55)	0,07 (0,06)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	3,25 (0,00)	2,23 (2,90)	0,60 (0,60)
Total 1995	58,81 (22,00)	1,00 (1,13)	3,90 (3,48)	22,50 (12,53)	13,48 (20,95)	2,00 (1,36)	5,34 (0,00)	100,00 (0,00)	28,68 (19,93)
Ganhos	16,42 (15,45)	0,87 (0,99)	1,70 (1,63)	5,31 (4,36)	4,05 (6,08)	0,79 (0,47)	2,09 (0,00)	28,68 (19,93)	

3.2.1.3 Transição das paisagens de 1995-2010

O último período analisado (1995-2010) foi marcado por baixa mudança de uso e cobertura do solo nas paisagens (Tabela 9). Assim como a transição de 1980-1995, as classes que mais cederam espaço para a cana-de-açúcar foram pastagem e cultivos (Figura 43). Na maioria das unidades amostrais, a porcentagem de ocupação da classe cana-de-açúcar foi maior que 60% em 2010 e atingiu valores mais altos em alguns casos, como 95% na paisagem de Luís Antônio (Figura 34). Neste ano, a cobertura natural de todas as paisagens estudadas foi inferior a 10%, com exceção de Serra Azul (Tabela 6).

Figura 43: Porcentagem da área de expansão do cultivo de cana-de-açúcar em relação à paisagem sobre as demais classes de uso e cobertura do solo de 1995 a 2010. As paisagens analisadas, representadas na legenda, foram: Guaíra 1 (GR1), Fernando Prestes (FP), Guaíra 2 (GR2), Luís Antônio (LA), Morro Agudo (MA), Moji Mirim (MM), Rio Claro (RC), Serra Azul (SA), São Joaquim da Barra (SJB).

Tabela 9: Matriz de transição das unidades amostrais durante o período de 1995 a 2010. Os valores representam média (primeiro valor) e desvio padrão (segundo valor) das porcentagens das classes de uso e cobertura do solo de todas as unidades amostrais.

Transição 1995-2010	Cana-de- açúcar 2010	Vegetação Inicial 2010	Cerradão ou Floresta 2010	Pastagem 2010	Cultivos 2010	Outros 2010	Campo Cerrado 2010	Total 1995	Perdas
Cana-de-açúcar 1995	58,88 (19,72)	0,07 (0,06)	0,19 (0,21)	2,19 (1,89)	0,83 (1,70)	0,70 (1,25)	0,03 (0,00)	62,68 (18,60)	3,80 (2,87)
Vegetação Inicial 1995	0,08 (0,13)	0,20 (0,38)	0,27 (0,31)	0,16 (0,14)	0,04 (0,06)	0,01 (0,01)	0,00 (0,00)	0,75 (0,97)	0,55 (0,61)
Cerradão ou Floresta 1995	0,15 (0,15)	0,40 (0,84)	2,88 (2,64)	0,19 (0,16)	0,03 (0,04)	0,01 (0,01)	0,67 (0,00)	3,72 (2,96)	0,84 (1,10)
Pastagem 1995	9,17 (6,48)	0,41 (0,36)	0,84 (0,94)	10,49 (6,01)	0,81 (1,04)	0,65 (0,67)	0,00 (0,00)	22,20 (10,17)	11,71 (6,74)
Cultivos 1995	4,40 (6,74)	0,02 (0,03)	0,05 (0,09)	0,21 (0,23)	5,20 (10,81)	0,16 (0,21)	0,00 (0,00)	9,40 (16,86)	4,85 (7,00)
Outros 1995	0,18 (0,21)	0,01 (0,03)	0,03 (0,05)	0,40 (0,54)	0,03 (0,04)	1,25 (0,89)	0,00 (0,00)	1,89 (1,30)	0,64 (0,51)
Campo Cerrado 1995	0,00 (0,00)	0,11 (0,15)	2,67 (3,77)	0,02 (0,03)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	2,80 (3,59)	2,80 (3,59)
Total 2010	72,35 (13,89)	1,13 (1,03)	4,85 (5,29)	13,57 (7,18)	6,93 (13,36)	2,63 (2,56)	0,69 (0,00)	100,00 (0,00)	22,39 (11,26)
Ganhos	13,47 (8,36)	0,93 (0,90)	1,97 (2,89)	3,07 (2,17)	1,73 (2,72)	1,52 (2,01)	0,69 (0,00)	22,39 (11,26)	

3.2.2 Dinâmica da expansão da cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar expandiu sobre as classes de cobertura natural (principalmente o campo cerrado e cerradão) e sobre a pastagem, que foi a matriz em quase todas as paisagens em 1965. O total de área de cobertura natural perdido ao longo dos 45 anos foi de aproximadamente 3000 ha, sendo 1800 ha de campo cerrado.

Paisagens que apresentaram alta porcentagem de cobertura natural antes da expansão da cana-de-açúcar perderam espaço para esse cultivo, enquanto que paisagens com baixa porcentagem inicial de cobertura natural mantiveram a porcentagem na primeira transição. Após o período 1965-1980, a maioria das paisagens apresentou alguma regeneração (Figura 44), sendo a unidade amostral Serra Azul a mais expressiva. No entanto, o ganho em área não superou 100 ha em nenhuma paisagem.

A porcentagem de cobertura natural total somente esteve alta quando a porcentagem do cultivo de cana-de-açúcar foi inferior a 10%, o que só ocorreu em 1965 e 1980, salvo para Serra Azul. Independentemente da data da paisagem analisada, quando a cana-de-açúcar foi a matriz da paisagem, a porcentagem de cobertura natural variou de 0,13% a 18% (Figura 45).

Figura 44: Porcentagem de cobertura natural (vegetação inicial, campo cerrado, cerradão e floresta) das unidades amostrais de expansão do cultivo da cana-de-açúcar ao longo dos anos e fatos históricos desse cultivo no estado de São Paulo. A legenda representa as paisagens Fernando Prestes (FP), Moji Mirim (MM), Rio Claro (RC), Guaíra 2 (GR2), São Joaquim da Barra (SJB), Serra Azul (SA), Morro Agudo (MA), Guaíra 1 (GR1) e Luís Antônio (LA).

Figura 45: Porcentagem de cobertura natural (vegetação inicial, campo cerrado, cerradão e floresta) da paisagem (P_Land) e porcentagem de cana-de-açúcar na paisagem nas unidades amostrais analisadas (representadas na legenda) nos anos 1965, 1980, 1995 e 2010. A linha tracejada em vermelho representa 10% da cobertura natural total da paisagem, média da cobertura natural que as Áreas de Preservação Permanente (APPs) ocupam em matrizes de cana-de-açúcar no estado de São Paulo. A linha tracejada azul representa 20% da cobertura natural total da paisagem, porcentagem mínima para o cumprimento da Reserva Legal (RL). A linha tracejada verde representa 30% da cobertura natural total da paisagem, cobertura média mínima estabelecida por lei (soma da porcentagem de APPs e RL). As siglas representam as paisagens Fernando Prestes (FP), Guaira 1 (GR1), Guaira 2 (GR2), Luis Antônio (LA), Morro Agudo (MA), Moji Mirim (MM), Rio Claro (RC), Serra Azul (SA), São Joaquim da Barra (SJB).

3.3 Dinâmica das paisagens nas APPs

A porcentagem de cobertura natural nas APPs variou de 0,3 a 66,6% durante o período de estudo. As classes de uso agrícola ocuparam as APPs em todos os anos nas unidades amostrais. Houve perda de vegetação natural nessas áreas de preservação entre 1965 e 1980, e em algumas unidades amostrais houve regeneração nos períodos subsequentes. A regeneração foi mais expressiva em Rio Claro, Serra Azul, Fernando Prestes e São Joaquim da Barra (Figura 46) e ocorreu principalmente devido à retração das pastagens.

Os usos que mais expandiram sobre a cobertura natural foram pastagem e cana-de-açúcar (Figura 47). A pastagem foi o uso mais comum nas APPs e em alguns locais correspondeu quase à totalidade dessa área de preservação (Tabela 10). A porcentagem dessa classe variou de 18 a 92% da APP. A cana-de-açúcar também ocupou as APPs, principalmente depois de 1980. O cultivo de cana-de-açúcar variou de 0,1 a 30% da APP, sendo que na última transição, 1995 a 2010, houve uma tendência à estabilização e até retração desse uso nas APPs (Figura 48).

Figura 46: Cobertura natural (vegetação inicial, campo cerrado, cerradão e floresta) em Áreas de Preservação Permanente (APPs) de 1965 a 2010 em paisagens em que o cultivo de cana-de-açúcar expandiu durante o Proálcool no estado de São Paulo e fatos históricos desse cultivo. As siglas representam as paisagens Fernando Prestes (FP), Guaíra 1 (GR1), Guaíra 2 (GR2), Luís Antônio (LA), Morro Agudo (MA), Moji Mirim (MM), Rio Claro (RC), São Joaquim da Barra (SJB) e Serra Azul (SA).

Figura 47: Porcentagem das classes de uso que expandiram sobre áreas de cobertura natural (vegetação inicial, campo cerrado, cerradão e floresta) de 1965 a 2010 em Áreas de Preservação Permanente (APPs). As paisagens analisadas passaram pela expansão do cultivo de cana-de-açúcar durante o Proálcool no estado de São Paulo e são representadas na legenda por: Guaíra 1 (GR1), Fernando Prestes (FP), Guaíra 2 (GR2), Luís Antônio (LA), Morro Agudo (MA), Moji Mirim (MM), Rio Claro (RC), Serra Azul (SA), São Joaquim da Barra (SJB).

Figura 48: Dinâmica da expansão da cana-de-açúcar em Áreas de Preservação Permanente (APPs) de 1980 a 2010 em paisagens em que o cultivo de cana-de-açúcar expandiu durante o Proálcool no estado de São Paulo e fatos históricos desse cultivo. As siglas representam as paisagens Fernando Prestes (FP), Guaíra 1 (GR1), Guaíra 2 (GR2), Luís Antônio (LA), Morro Agudo (MA), Moji Mirim (MM), Rio Claro (RC), Serra Azul (SA) e São Joaquim da Barra (SJB).

Tabela 10: Matriz de transição das Áreas de Preservação Permanente (APPs) das unidades amostrais durante o período de 1965 a 2010. Os valores representam média (primeiro valor) e desvio padrão (segundo valor) das porcentagens das classes de uso e cobertura do solo em todas as unidades amostrais.

APPs Transição 1965-2010	Cana-de- açúcar 2010	Vegetação Inicial 2010	Cerradão Floresta 2010	Pastagem 2010	Cultivos 2010	Outros 2010	Campo Cerrado 2010	Total 1965	Perdas
Cana-de-açúcar 1965	9,96 (4,67)	0,15 (0,14)	0,67 (0,79)	4,10 (2,45)	0,30 (0,53)	0,17 (0,24)	0,00 (0,00)	15,35 (6,00)	5,39 (2,46)
Vegetação Inicial 1965	0,14 (0,22)	0,79 (1,13)	1,42 (1,27)	1,31 (1,13)	0,03 (0,06)	0,07 (0,10)	0,00 (0,00)	3,75 (2,76)	2,96 (1,89)
Cerradão Floresta 1965	0,29 (0,38)	0,31 (0,30)	10,46 (13,56)	0,95 (0,85)	0,04 (0,06)	0,03 (0,04)	0,00 (0,00)	12,08 (14,89)	1,61 (1,42)
Pastagem 1965	2,92 (1,47)	2,32 (2,28)	4,31 (4,44)	42,95 (18,35)	0,62 (0,87)	2,60 (3,20)	0,00 (0,00)	55,73 (16,84)	12,78 (8,50)
Cultivos 1965	0,58 (0,93)	0,10 (0,17)	0,32 (0,52)	0,39 (0,60)	1,11 (2,82)	0,07 (0,15)	0,00 (0,00)	2,56 (4,91)	1,45 (2,16)
Outros 1965	0,03 (0,04)	0,04 (0,08)	0,11 (0,22)	2,80 (5,04)	0,02 (0,07)	6,79 (10,52)	0,00 (0,00)	9,80 (13,52)	3,02 (4,97)
Campo Cerrado 1965	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,54 (1,62)	0,18 (0,55)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,00 (0,00)	0,72 (1,64)	0,72 (1,64)
Total 2010	13,92 (5,57)	3,71 (3,28)	17,84 (18,47)	52,69 (19,17)	2,12 (4,14)	9,72 (11,28)	0,00 (0,00)	100,00 (0,00)	27,94 (11,65)
Ganhos	3,96 (2,23)	2,92 (2,53)	7,38 (6,93)	9,74 (4,13)	1,01 (1,46)	2,93 (3,57)	0,00 (0,00)	27,94 (11,65)	

3.4 Dinâmica da paisagem dentro e fora de APPs

3.4.1 Transição dentro e fora de APPs 1965-2010

As mudanças de uso e cobertura do solo fora das APPs de todas as paisagens durante o período de 1965 a 2010 não foram significativamente diferentes da distribuição ao acaso (Figura 49). Ou seja, a conversão do uso e cobertura do solo para o cultivo de cana-de-açúcar não apresentou um direcionamento ou uma preferência a uma classe a ser substituída fora de APPs.

Já nas APPs, as mudanças de uso e cobertura do solo foram significativamente não-aleatórias em todas as paisagens (Figura 49), exceto na paisagem de Mogi Mirim ($\chi^2=10,51$; $p=0,06$). Em algumas paisagens, a conversão das áreas de cobertura natural para o cultivo de cana-de-açúcar foi evitada (Rio Claro, São Joaquim da Barra e Serra Azul), enquanto que em outras, deu-se prioridade a esse tipo de conversão (Guaíra 1, Luís Antônio). Não houve assim um padrão comum de conversão do uso e cobertura do solo.

Figura 49: Conversão do uso do solo para o cultivo de cana-de-açúcar (segundas colunas de cada gráfico) em relação ao esperado, caso essa conversão fosse feita ao acaso (cobertura em 1965 - primeiras colunas de cada gráfico) no período de 1965-2010, dentro e fora de Áreas de Preservação Permanente (APPs). Valores de $p<0,05$ (teste qui-quadrado) indicam uma preferência a um tipo de conversão de uso do solo.

A regeneração nas APPs (Tabela 11) foi significativamente maior do que aquela ocorrida fora das APPs ($t=3,61$; $gl=8$; $p<0,01$). O mesmo não ocorreu para a perda de vegetação natural (Tabela 12), que ocorreu independentemente da localização. Ou seja, não houve diferença significativa entre dentro e fora das APPs ($t=1,43$; $gl=8$; $p>0,05$).

Tabela 11: Regeneração da cobertura natural dentro e fora de APP na transição de 1965-2010 ($t=3,61$; $gl=8$; $p<0,01$). Os valores representam a porcentagem de áreas de uso que foram substituídas pelas classes de cobertura natural (campo cerrado, cerradão, floresta e vegetação inicial).

Unidades amostrais	Fora de APP	Em APP
Guaíra 1	1,44	3,59
Guaíra 2	0,84	1,09
Luís Antônio	0,01	4,44
Moji-Mirim	2,59	16,02
Morro Agudo	0,05	2,12
São Joaquim da Barra	1,08	23,00
Serra Azul	12,61	33,58
Fernando Prestes	1,61	28,18
Rio Claro	2,81	25,05

Tabela 12: Perda de cobertura natural dentro e fora de APP na transição de 1965-2010 ($t=1,43$; $gl=8$; $p>0,05$). Os valores representam a porcentagem de áreas de uso que substituíram as classes de cobertura natural (campo cerrado, cerradão, floresta e vegetação inicial).

Unidades amostrais	Fora de APP	Em APP
Guaíra 1	33,55	10,92
Guaíra 2	6,24	2,47
Luís Antônio	74,15	8,23
Moji-Mirim	1,71	4,51
Morro Agudo	5,39	13,12
São Joaquim da Barra	19,39	2,31
Serra Azul	14,91	9,19
Fernando Prestes	0,77	2,24
Rio Claro	1,71	6,06

3.4.2 Transição dentro e fora de APPs 1995-2010

As mudanças de uso e cobertura do solo fora das APPs neste período foram aleatórias em cinco paisagens e significativamente não-aleatórias em quatro paisagens (Figura 50). Nestas últimas quatro paisagens (Morro Agudo, São Joaquim da Barra, Serra Azul e Fernando Prestes), a mudança de uso e cobertura do solo evitou a conversão de áreas de cobertura natural para o cultivo de cana-de-açúcar.

Nas APPs, a mudança de uso e cobertura do solo foi significativamente não-aleatória em todas as paisagens (Figura 50). Nesta transição, a conversão das áreas de cobertura natural para o cultivo de cana-de-açúcar também foi evitada (Figura 50).

Figura 50: Conversão do uso do solo para o cultivo de cana-de-açúcar (segundas colunas de cada gráfico) em relação ao esperado, caso essa conversão fosse feita ao acaso (cobertura em 1995 – primeiras colunas de cada gráfico) no período de 1995-2010, dentro e fora de Áreas de Preservação Permanente (APPs). Valores de $p<0,05$ (teste qui-quadrado) indicam uma preferência a um tipo de conversão de uso do solo.

Considerando todos os usos que cederam espaço para as áreas naturais, a regeneração nas APPs (Tabela 13) foi significativamente maior do que a ocorrida fora das APPs ($t=3,34$; $gl=8$; $p<0,01$). A perda de vegetação natural (Tabela 14) também foi significativamente maior em APPs que em áreas não preservadas ($t=3,85$; $gl=8$; $p<0,01$).

Tabela 13: Regeneração da cobertura natural dentro e fora de APP na transição de 1965-2010 ($t=3,34$; $gl=8$; $p<0,01$). Os valores representam a porcentagem de áreas de uso que foram substituídas pelas classes de cobertura natural (campo cerrado, cerradão, floresta e vegetação inicial).

Unidades amostrais	Fora de APP	Em APP
Guaíra 1	0,81	2,98
Guaíra 2	0,33	0,63
Luís Antônio	0,00	2,28
Moji-Mirim	1,58	9,65
Morro Agudo	0,07	1,78
São Joaquim da Barra	0,61	21,97
Serra Azul	8,69	19,31
Fernando Prestes	1,02	18,62
Rio Claro	1,43	12,67

Tabela 14: Perda de cobertura natural dentro e fora de APP e em APP na transição de 1965-2010 ($t=3,85$; $gl=8$; $p<0,01$). Os valores representam a porcentagem de áreas de uso que substituíram as classes de cobertura natural (campo cerrado, cerradão, floresta e vegetação inicial).

Unidades amostrais	Fora de APP	Em APP
Guaíra 1	0,77	0,50
Guaíra 2	4,01	3,87
Luís Antônio	0,08	1,65
Moji-Mirim	1,01	4,00
Morro Agudo	0,10	2,14
São Joaquim da Barra	0,15	2,09
Serra Azul	0,71	4,54
Fernando Prestes	0,66	3,91
Rio Claro	0,66	5,73

Em áreas que envolveram a conversão do cultivo de cana-de-açúcar (Tabela 15), a regeneração nas APPs foi significativamente diferente (maior) do que aquela ocorrida fora das APPs ($t=2,84$; $gl=8$; $p=0,02$). Já para a perda de vegetação natural (Tabela 16), não houve diferença significativa entre as áreas dentro e fora de APPs ($t=1,69$; $gl=8$; $p>0,05$).

Tabela 15: Regeneração da cobertura natural dentro e fora de APP na transição de 1995-2010 ($t=2,843$; $gl=8$; $p=0,02$). Os valores representam a porcentagem de cana-de-açúcar em relação às áreas que foram substituídas pelas classes de cobertura natural (campo cerrado, cerradão, floresta e vegetação inicial).

Unidades amostrais	Fora de APP	Em APP
Guaíra 1	0,33	1,27
Guaíra 2	0,14	0,13
Luís Antônio	0,00	0,22
Moji-Mirim	0,11	0,25
Morro Agudo	0,00	0,03
São Joaquim da Barra	0,16	0,90
Serra Azul	0,53	1,48
Fernando Prestes	0,10	0,74
Rio Claro	0,42	2,55

Tabela 16: Perda de cobertura natural dentro e fora de APP na transição de 1995-2010 ($t=1,69$; $gl=8$; $p>0,05$). Os valores representam a porcentagem de cana-de-açúcar em relação às áreas que substituíram as classes de cobertura natural (campo cerrado, cerradão, floresta e vegetação inicial).

Unidades amostrais	Fora de APP	Em APP
Guaíra 1	0,27	0,00
Guaíra 2	0,12	0,00
Luís Antônio	0,07	0,04
Moji-Mirim	0,49	1,01
Morro Agudo	0,00	0,00
São Joaquim da Barra	0,03	0,05
Serra Azul	0,46	0,88
Fernando Prestes	0,19	0,71
Rio Claro	0,20	1,16

4. Discussão

Em todas as paisagens analisadas, a expansão da cana-de-açúcar durante o Proálcool reduziu significativamente as áreas naturais. A perda de vegetação natural foi maior durante a primeira transição (1965-1980), sendo que as áreas de cobertura natural foram drasticamente reduzidas até 1980 com a introdução da cana-de-açúcar na paisagem. Esta perda foi maior em áreas com cobertura natural acima de 19% da paisagem em 1965. Já em paisagens com baixa porcentagem de cobertura natural (1,5 a 8%), a conversão de cana-de-açúcar se deu basicamente sobre áreas de pastagem e cultivos. No entanto, a expansão da cana-de-açúcar se deu ao acaso fora das APPs, ocupando essencialmente as áreas dominantes (matrizes) da paisagem, seja ela de vegetação natural, de pastagens ou cultivos. O mesmo não ocorreu nas APPs, onde houve tanto uma tendência de evitar a conversão de áreas de cobertura natural para o cultivo de cana-de-açúcar, quanto o inverso. A tendência de evitar a conversão de áreas de cobertura natural ficou mais forte na dinâmica mais recente da paisagem.

O cerrado foi a cobertura natural (cerradão e campo cerrado) que mais perdeu área nas paisagens analisadas. Estudos indicam que durante o período de crescimento da economia brasileira, entre 1968-1980, a cana-de-açúcar expandiu sobre áreas de pastagem, reflorestamentos, florestas e sobre o Cerrado (Yoshii & Matsunaga, 1984; Veiga Filho & Yoshii, 1992). Igari e col. (2009) constataram que a produção de cana-de-açúcar está negativamente correlacionada à porcentagem de remanescentes do Cerrado. De acordo com Klink e Moreira (2002), a média anual de perda de vegetação natural desse bioma de 1970 a 1975 foi de 40.600 km² por ano. Em um levantamento em 2009, foi constatado que restaram somente cerca de 220.000 ha desta fitofisionomia no estado de São Paulo, área que não corresponde nem a 0,9% do estado (SÃO PAULO, 2009). Nossos resultados também relatam a perda de vegetação natural do Cerrado no estado de São Paulo, em especial o campo cerrado, que neste estudo foi praticamente reduzido à zero entre 1965-1980.

Além dessa grande perda de cobertura de vegetação natural até os anos 80, Durigan e col. (2004) descrevem que o corte do Cerrado continuou também durante o período de 1999 a 2001 no estado de São Paulo, principalmente em áreas de expansão do cultivo de cana-de-açúcar (Durigan *et al.*, 2004). Entretanto, nas paisagens que analisamos, não identificamos uma grande perda de cobertura natural depois de 1980. Isso se deve à baixa porcentagem de cobertura natural restante nas unidades amostrais, que foi inferior a 12% em 1980, principalmente nas paisagens que tinham a cana-de-açúcar como matriz.

Os valores de porcentagem de cobertura natural encontrados nas paisagens com matriz de cana-de-açúcar, independente do ano de análise, estão muito aquém do exigido por lei. O Código Florestal vigente durante o período do estudo regulamentava que ao menos 20% das propriedades deveriam ser compostas por cobertura natural em cumprimento à Reserva Legal, além das APPs. Considerando que a porcentagem média de cobertura das APPs em áreas de cultivo de cana-de-açúcar no estado de São Paulo é cerca de 10% (Brançalion &

Rodrigues, 2010), tem-se que a porcentagem de cobertura natural mínima para paisagens com matriz de cana-de-açúcar deveria ser por volta de 30%. Em nenhum momento, quando a cana-de-açúcar foi a matriz da paisagem, encontramos valores de porcentagem de cobertura natural igual ou superior a 30%. Em estudo sobre a recente expansão da cana-de-açúcar (1996-2006), Sparovek e col. (2009) também verificaram que a porcentagem de cobertura vegetal em áreas de cultivo de cana-de-açúcar esteve abaixo do mínimo estabelecido pela legislação ambiental. Segundo Brancalion e Rodrigues (2010), parte expressiva onde o cultivo de cana-de-açúcar expandiu já estava em desacordo com as leis ambientais. De fato, mais da metade das unidades amostrais analisadas apresentaram em 1965 valores de porcentagem de cobertura natural abaixo de 30%. No entanto, a porcentagem de cobertura natural antes da introdução do cultivo de cana-de-açúcar em mais da metade das paisagens se aproximava mais do valor de porcentagem previsto em lei do que com a influência da cana-de-açúcar. Um exemplo são as paisagens que estavam de acordo com o Código Florestal (33% e 70%) em 1965, e sofreram drástica perda de vegetação no período de 1965 a 1980. O fato da expansão da cana-de-açúcar ter ocorrido de forma homogênea na paisagem, fora das APPs, mostra claramente que não houve uma preocupação em poupar as áreas nativas para formar Reservas Legais.

Além de cobertura natural, o cultivo de cana-de-açúcar expandiu também sobre as demais atividades agrícolas nas unidades amostrais analisadas, quando estas predominavam na paisagem. Na transição 1965-1980, em paisagens com baixa porcentagem de cobertura natural, houve uma substituição das atividades agrícolas por cultivo de cana-de-açúcar, principalmente sobre pastagens e com menor intensidade sobre cultivos. Esse padrão ocorreu também em todas as paisagens na transição de 1980-1995 e 1995-2010. Diversos autores encontraram o mesmo padrão para o primeiro período de expansão da cana-de-açúcar (Veiga Filho, 1980; Yoshii & Matsunaga, 1984; Veiga Filho & Yoshii, 1992). Os estudos recentes sobre a nova expansão da cana-de-açúcar mostram também uma tendência similar, com substituição principalmente das áreas de pastagem por cana-de-açúcar (Camargo *et al.*, 2008; Sparovek *et al.*, 2009; Olivette *et al.*, 2010; Rudorff *et al.*, 2010)

A influência do cultivo de cana-de-açúcar na paisagem não propiciou expressiva regeneração da vegetação. Em nenhum momento o cultivo de cana-de-açúcar cedeu grande espaço para as classes de cobertura natural; ao contrário, ao longo dos 30 anos de cultivo, constatou-se perda de vegetação. Assim, não podemos atrelar a recente regeneração da vegetação do estado de São Paulo (Kronka *et al.*, 2005) à expansão do cultivo de cana-de-açúcar, como sugerem alguns autores (Amaral *et al.*, 2008). Somente na paisagem Serra Azul houve um pequeno aumento da porcentagem de cobertura natural depois da perda inicial até 1980. A regeneração ocorreu em uma área de pastagem, que deu lugar ao campo cerrado, que por sua vez, evoluiu para cerradão no último período analisado. Isto se deve ao fato de esta área ser pouco atrativa ao cultivo de cana-de-açúcar, visto que o terreno apresenta alta declividade (IBGE, 1982). Segundo Machado e col. (2004), áreas com terrenos de alta

declividade e solos rasos dificilmente foram convertidos em cana-de-açúcar. Portanto, a regeneração só foi possível devido à retração da pastagem.

Verificamos que as APPs não são respeitadas quando a cana-de-açúcar é a matriz da paisagem. Além da não conformidade com os 20% de reserva legal, os valores de porcentagem de cobertura natural encontrados nas paisagens são inferiores à porcentagem de cobertura natural das APPs (10%). A ocupação das APPs com o cultivo de cana-de-açúcar parece comum no estado de São Paulo (Brancalion & Rodrigues, 2010; Rudorff *et al.*, 2010), o que foi o caso de todas as paisagens estudadas. Todavia, nossos resultados indicam uma tendência à estabilização e até mesmo uma retração desse tipo de cultivo em APPs nos anos mais recentes, provavelmente devido à maior preocupação e fiscalização ambiental. Nota-se que as áreas de cobertura natural estão regenerando com o passar dos anos, principalmente devido à retração da pastagem (classe de maior dominância nas APPs). Mas ainda há APPs que sofrem intensa pressão das atividades agropecuárias, o que dificulta a regeneração. Por consequência, mesmo com a regeneração da cobertura natural nessas áreas, as APPs foram ocupadas indevidamente e sofreram perda de cobertura natural durante todo o período do estudo.

A dinâmica de uso e cobertura do solo ocorreu diferentemente dentro e fora das APPs durante a expansão do cultivo de cana-de-açúcar de 1965 a 2010. Nas APPs, houve uma preferência pela conversão de algumas classes para cultivo de cana-de-açúcar, mas sem um padrão comum. Em três paisagens, a conversão foi mais conservacionista e evitou a perda da cobertura natural. Nas demais paisagens, a substituição de cobertura natural por cana-de-açúcar foi priorizada. Contudo, a regeneração das áreas naturais foi maior dentro das APPs do que fora, talvez por essas áreas serem menos favoráveis ao cultivo de cana-de-açúcar, com solos mais encharcados e declivosos. Assim, as áreas menos propícias são abandonadas e passam a ter uma maior regeneração. Entretanto, houve muita perda de vegetação natural, que ocorreu tanto em APPs quanto em áreas fora de APPs, ou seja, não houve diferença com relação à localização. O fato da perda de vegetação natural ocorrer indiferentemente dentro e fora das APPs atesta que as APPs não são respeitadas; a expansão da cana-de-açúcar ocorre com grande intensidade mesmo em áreas de preservação. Isso provavelmente se deve a uma fiscalização inadequada e logo à impunidade dos autores, visto que dificilmente eles sofrem algum prejuízo pelo ato.

Ao contrário do que se esperava, em áreas fora de APPs, a expansão da cana-de-açúcar não teve preferência por qualquer tipo de conversão. A classe pastagem foi a que mais cedeu espaço para a expansão da cana-de-açúcar, não devido a uma preferência por essa classe, mas à dominância dessa atividade na paisagem antes da introdução da cana-de-açúcar. A classe de conversão para o cultivo de cana-de-açúcar fora de APPs não é um fator determinante para a expansão. A ocupação de terras mais planas e férteis parece exercer maior influência na escolha de áreas para expansão (Veiga Filho & Yoshii, 1992). A localização das terras onde há melhor infraestrutura, maior proximidade aos centros urbanos, mão de obra

e rodovias para escoar o produto final também podem ser determinantes na escolha de áreas para a instalação de novos cultivos (Machado *et al.*, 2004)

No período de transição mais recente, observamos que as mudanças de uso e cobertura do solo dentro e fora das APPs diferiram em alguns aspectos, mas apresentaram em comum a tendência de evitar a conversão de áreas de cobertura natural para o cultivo de cana-de-açúcar. Além de todas as APPs com cobertura natural terem sido evitadas para a conversão em cultivo da cana-de-açúcar, algumas áreas fora de APPs apresentaram o mesmo padrão. A porcentagem de perda de vegetação natural para o cultivo de cana-de-açúcar foi muito baixa nas duas áreas, o que pode implicar que as áreas de cobertura natural estão sendo mais respeitadas independentemente da localização neste tipo de conversão. Isso potencialmente poderia ser dado a uma maior fiscalização ou rigor na aplicação das leis, porém essa opção não se sustenta diante da expansão das pastagens em áreas de vegetação natural em APPs. Outra hipótese para explicar o menor avanço da cana-de-açúcar sobre vegetação natural é o fato da certificação ambiental e a adesão ao Protocolo Agroambiental de 2007 do programa Etanol Verde levar a uma maior preocupação ambiental entre os produtores, principalmente com relação ao cumprimento das APPs. As paisagens analisadas estão no raio de 25 km de influência de pelo menos uma usina que atualmente é signatária do Protocolo Agroambiental. Outros mecanismos de conservação também podem ter influenciado esse padrão, tais como as licenças ambientais, que no estado de São Paulo, a partir de 2004, passaram a considerar além do processo industrial, a área de cultivo da usina (Castro, 2009).

Porém, ao considerar todos os usos do solo no período mais recente, a perda de vegetação natural foi maior nas APPs que fora dessas áreas de preservação, e ocorreu principalmente para a expansão de pastagem. Ao mesmo tempo em que a pastagem expandiu sobre as áreas de cobertura natural, ela cedeu espaço para a regeneração, que foi mais expressiva dentro das APPs. Ou seja, houve uma troca de cobertura natural mais antiga, por áreas de vegetação mais recentes.

O incremento da cobertura natural pode proporcionar muitos benefícios, como reduzir o isolamento dos fragmentos remanescentes e sustentar maior biodiversidade na paisagem (Lira *et al.*, 2012). No entanto, a troca de áreas naturais mais antigas por áreas regeneradas, como é o caso das paisagens analisadas em APPs, não é desejável. Isso porque essas áreas proporcionam menos serviços ecossistêmicos do que as áreas de vegetação mais antigas, ou seja, mais preservadas (Ferraz *et al.*, submetido) e podem apresentar menor biodiversidade. Paisagens com baixa porcentagem de cobertura natural, como estas, sustentam baixa diversidade de organismos (Pardini *et al.*, 2010). Quando a cobertura natural é inferior a 30% da paisagem, geralmente têm-se fragmentos pequenos e isolados e os efeitos da perda de hábitat se somam aos efeitos da fragmentação, resultando em baixa biodiversidade (Fahrig, 2003). Além disso, paisagens que têm a cana-de-açúcar como matriz sustentam uma menor diversidade alfa, tanto em ecossistemas naturais quanto agrícolas, e há maior abundância de roedores transmissores de doenças (Verdade, 2012). Em especial, em as áreas de pastagens

convertidas para cana-de-açúcar, há uma diminuição na abundância de aves e prejuízo da vida aquática devido à maior erosão do solo e eutrofização dos corpos d'água (Verdade, 2012).

A análise das paisagens de expansão do cultivo de cana-de-açúcar durante o Proálcool evidenciou a perda de vegetação natural, baixa regeneração ao longo desse período e maior regeneração em APPs. Esses resultados podem dar subsídios ao planejamento e ordenamento territorial em áreas de futura expansão do cultivo de cana-de-açúcar. Atualmente, as áreas naturais do estado de São Paulo estão muito degradadas, sendo que a expansão recente do cultivo de cana-de-açúcar não contribuiu diretamente para a perda de vegetação natural (Sparovek *et al.*, 2009), cuja cobertura é muito baixa atualmente. Com as modificações no novo Código Florestal (lei 12651/12), áreas desmatadas foram consolidadas e em alguns casos houve redução das APPs e RLs. O novo Código Florestal passou a ser menos restritivo, ao mesmo tempo em que exige a recomposição de áreas naturais de algumas áreas de preservação. Assim, um aumento de cobertura natural das paisagens do estado de São Paulo é possível, principalmente em áreas de cultivo de cana-de-açúcar, em que o cumprimento do Código Florestal antigo (mais restritivo) já não causava prejuízo da produção agrícola canavieira (Brancalion & Rodrigues, 2010). A fiscalização e a implantação de programas de certificação ambiental e protocolos agroambientais, como o “Etanol Verde”, também podem contribuir para que haja maior regeneração da cobertura natural, principalmente em APPs. Assim, poderemos melhor usufruir dos benefícios da utilização de um combustível como o etanol que, além de ser renovável, pode favorecer a manutenção de paisagens com maior área de cobertura natural, conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos.

5. Referências Bibliográficas

AMARAL, W. A. N. et al. Environmental sustainability of sugarcane ethanol in Brazil. In: ZUURBIER, P. e VOOREN, J. (Ed.). **Sugarcane ethanol. Contributions to climate change mitigation and the environment**: Wageningen Academic Publishers, 2008. cap. 5, p.113-138.

BAER, W. **A economia brasileira**. São Paulo: Nobel, 2002.

BALSADI, O. V.; DE FARIA, C. A. C.; NOVAES FILHO, R. Considerações sobre a dinâmica recente do complexo sucroalcooleiro no estado de São Paulo. **Informações Econômicas**, v. 26, p. 21-31, 1996.

BINI, D. L. C. Breve Histórico da Atividade Canavieira na Região de Araçatuba (SP). **Instituto de Economia Agrícola**, v. 4, n. Análises e Indicadores do Agronegócio, p. 5, 2009.

BORBA, M. M. Z.; BAZZO, A. M. **Estudo econômico do ciclo produtivo da cana-de-açúcar para reforma de canavial, em área de fornecedor do estado de São Paulo**. Congresso da sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural. SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, A. E. S. R. Porto Alegre 2009.

BÖRJESSON, P. **Good or bad ethanol – what determines this?** . LUND UNIVERSITY Department of Technology and Society Environmental and Energy Systems Studies p.26. 2008

BRANCALION, P. H. S.; RODRIGUES, R. R. Implicações do cumprimento do Código Florestal vigente na redução de áreas agrícolas: um estudo de caso da produção canavieira no Estado de São Paulo. **Biota Neotropica**, v. 10, p. 63-66, 2010.

CAMARGO, A. M. M. P. D. 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. 45-66, 2008.

CARVALHO, S. P.; CARRIJO, L. D. O. **A produção de álcool: do Proálcool ao contexto atual**. Congresso da sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural. SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, A. E. S. R. Londrina-PR: 13 p. 2007.

CASTRO, L. L. B. **Alcances e vulnerabilidades da avaliação de impactos ambientais no setor sucroenergético paulista**. 2009. 141 (Mestrado). Centro de engenharias, modelagem e ciências sociais aplicadas, Universidade Federal do ABC, Santo André.

CONAB. **Perfil do setor do açúcar e do álcool no Brasil**. ABASTECIMENTO, C. N. D. Brasília 2008.

DEAN, W. **A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. São Paulo: Editora Companhia das letras, 2007. 484.

DURIGAN, G.; FRANCO, G. A. D. C.; SIQUEIRA, M. F. A vegetação dos remanescentes de Cerrado no Estado de São Paulo. In: BITENCOURT, M. D. e MENDONÇA, R. R. (Ed.). **Viabilidade da conservação dos remanescentes de Cerrado no Estado de São Paulo**. São Paulo: Annablume, 2004. p.29-56.

ESLEBÃO, I. O espaço rural brasileiro em transformação. **Finisterra**, v. XLII, p. 47-65, 2007.

FAHRIG, L. Effects of habitat fragmentation on biodiversity. **Annual Review of Ecology, Evolution, and Systematics**, v. 34, n. 1, p. 487-515, 2003.

FAO. **Food and Agriculture Organization of the United Nations**. FAO statistical database. Rome: FAO 2011.

FARGIONE, J. et al. Land clearing and the biofuel carbon debt. **Science**, v. 319, n. 5867, p. 1235-1238, 2008. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18258862> >.

FERLINI, V. L. A. **A civilização do açúcar, séculos XVI a XVIII**. 11. São Paulo: Editora Brasiliense, 1994.

FERRAZ, S. F. B. et al. How good are forest fragments inserted into agricultural landscapes for ecosystem services provisioning? **Landscape Ecology**, submetido.

FÜRSTENAU, V. A política de crédito rural na economia brasileira pós 1960. **Ensaio FEE - Fundação de Economia Siegfried Emanuel Heuser**, v. 8, p. 139-154, 1987.

GARCIA, L. F.; CONEJERO, M. A.; NEVES, M. F. **Biodiesel: um olhar para o futuro com base nos 30 anos do Proálcool**. Congresso da sociedade brasileira de economia, administração e sociologia rural. SOCIEDADE BRASILEIRA DE ECONOMIA, A. E. S. R. Londrina-PR: 20 p. 2007.

GASCON, G.; WILLIAMSON, G. B.; DA FONSECA, G. A. B. Receding Forest Edges and Vanishing Reserves. **Science**, v. 288, n. 5470, p. 1356-1358, 2000. Disponível em: < <http://www.sciencemag.org/content/288/5470/1356.short> >.

GIBBS, H. K. et al. Carbon payback times for crop-based biofuel expansion in the tropics: the effects of changing yield and technology. **Environmental Research Letters**, v. 3, n. 3, p. 1-11, 2008.

GONÇALVES, D. B. Considerações sobre a expansão recente da lavoura canavieira no Brasil. **Informações Econômicas**, v. 39, 2009.

HOUGHTON, R. A. Revised estimates of the annual net flux of carbon to the atmosphere from changes in land use and land management 1850–2000. **Tellus**, v. 55, n. 2, p. 378-390, 2003.

IBGE Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Secretaria de Planejamento da Presidência da República. Carta topográfica **Cravinhos**, 1982

IGARI, A. T.; TAMBOSI, L. R.; PIVELLO, V. R. Agribusiness opportunity costs and environmental legal protection: investigating trade-off on hotspot preservation in the state of Sao Paulo, Brazil. **Environmental Management**, v. 44, n. 2, p. 346-55, 2009. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/19536591> >.

KLINK, C. A.; MACHADO, R. B. A conservação do Cerrado Brasileiro. **Megadiversidade**, v. 1, p. 147-155, 2005.

KLINK, C. A.; MOREIRA, A. G. Past and current human occupation, and land use. In: OLIVEIRA, M. S. e MARQUIS, R. J. (Ed.). **The Cerrados of Brazil: ecology and natural history of Neotropical savanna**. New York: Columbia University Press, 2002. p.69-90.

KRONKA, F. J. N. et al. **Monitoramento da vegetação natural e do reflorestamento do Estado de São Paulo**. XII Simpósio de Sensoriamento Remoto. Goiânia: INPE: 1569-1576 p. 2005.

LEEMANS, R. et al. The land cover and carbon cycle consequences of large-scale utilizations of biomass as an energy source. 1996.

LEITE, M. **Nos caminhos da biodiversidade paulista**. São Paulo: Imprensa oficial do estado de São Paulo, 2007.

LIRA, P. K. et al. Land-use and land-cover change in Atlantic Forest landscapes. **Forest Ecology and Management**, v. 278, p. 80-89, 2012.

MACHADO, R. B. et al. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Relatório**

técnico não publicado. Conservação Internacional p.26. 2004

MELO, F. H.; FONSECA, E. G. **Proálcool, energia e transportes**. São Paulo: FIPE/Pioneira, 1981. 163.

MILLENNIUM_ECOSYSTEM_ASSESSMENT. **Ecosystems and human well-being: A framework for assessment**. Washington D. C: Island Press, 2003. 245.

MIRANDA, E. E. Questões ambientais (impactos locais e globais e energéticas): a expansão da cana-de-açúcar e a ocupação das terras no estado de São Paulo. In: CORTEZ, L. A. B. (Ed.). **Bioetanol de cana-de-açúcar: P&D para produtividade e sustentabilidade**. São Paulo: Blucher, 2010. cap. 6, p.41-51.

MITSUTANI, C. **A logística do etanol de cana-de-açúcar no Brasil: condicionantes e perspectivas**. 2010. (Mestrado). Programa de pós-graduação em energia, USP - Universidade de São Paulo

MONTEIRO, R. C. M. **Criadores, cafeicultores, terra e mão-de-obra. Araraquara e São Carlos na era da transição, 1830-1888**. 2000. (Mestrado). Faculdade de Ciências e Letras, UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Araraquara.

MOTTA, D. M.; MUELLER, C. C.; TORRES, M. O. **A dimensão urbana do desenvolvimento econômico - espacial brasileiro**. Brasília: Instituto de Pesquisa Econômica Aplicada, 1997. 48.

MYERS, N. et al. Biodiversity hotspots for conservation priorities. **Nature**, v. 403, n. 6772, p. 853-858, 2000. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1038/35002501> >.

NASCIMENTO, G. A. **Aproveitamento de bagaço em usinas de álcool e açúcar - venda, queima ou hidrólise**. 2008. 113 (Mestrado). Faculdade de Engenharia, UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Guaratinguetá.

OLIVETTE, M. P. D. A.; NACHILUK, K.; FRANCISCO, V. L. F. D. S. Análise comparativa da área plantada com cana-de-açúcar frente aos principais grupos de culturas nos municípios paulistas, 1996-2006. **Informações Econômicas**, v. 40, p. 42-59, 2010.

PARDINI, R. et al. Beyond the fragmentation threshold hypothesis: regime shifts in biodiversity across fragmented landscapes. **PLoS One**, v. 5, n. 10, p. e13666, 2010. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/21060870> >.

PAULILLO, L. F. et al. Álcool combustível e biodiesel no Brasil: quo vadis? **Revista de Economia e Sociologia Rural**, v. 45, p. 531-565, 2007.

PIACENTE, E. A. **Perspectivas do Brasil no mercado internacional de etanol**. 2006. 189 (Mestrado). Faculdade de Engenharia Mecânica, UNICAMP, Campinas.

RAMANKUTTY, N. et al. Global Land-Cover Change: Recent Progress, Remaining Challenges. In: LAMBIN, E. F. e GEIST, H. (Ed.). **Land-Use and Land-Cover Change Local Processes and Global Impacts**. Germany: Springer, 2006. cap. 2, p.9-39.

RIBEIRO, M. C. et al. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141-1153, 2009.

RODRIGUES, R. R. et al. Large-scale ecological restoration of high-diversity tropical forests in SE Brazil. **Forest Ecology and Management**, v. 261, n. 10, p. 1605-1613, 2011.

ROSILLO-CALLE, F.; CORTEZ, L. A. B. Towards Proalcool II - a review of the Brazilian bioethanol programme. **Biomass and Bioenergy**, v. 14, p. 115-124, 1998.

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.

SALA, O. E. et al. Global Biodiversity Scenarios for the Year 2100. **Science**, v. 287, n. 5459, p. 1770-1774, March 10, 2000. Disponível em: < <http://www.sciencemag.org/content/287/5459/1770.abstract> >.

SÃO PAULO. **Protocolo Agroambiental - Etanol Verde**. PAULISTA, S. A. 2007.

_____. **Inventário Florestal do estado de São Paulo**: SIFESP - Sistema de Informações Florestais do estado de São Paulo 2009.

SCANDIFFIO, M. I. G. **Análise Prospectiva do Alcool Combustível no Brasil - Cenários 2004-2024**. 2005. 201 (Doutorado). FACULDADE DE ENGENHARIA MECÂNICA PLANEJAMENTO DE SISTEMAS ENERGÉTICOS, UNICAMP, Campinas.

SEARCHINGER, T. et al. Use of U.S. croplands for biofuels increases greenhouse gases through emissions from land-use change. **Science**, v. 319, n. 5867, p. 1238-40, 2008. Disponível em: < <http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/18258860> >.

SEGATTI, S. **A expansão da agroindústria sucroalcooleira e a questão do desenvolvimento da microrregião de Dracena-sp**. 2009. 153 (Mestrado). Geografia - Produção do espaço geográfico, UNESP - Universidade Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Presidente Prudente.

SELANI, R. L. **A Evolução da Cana-de-açúcar no Escritório de Desenvolvimento Rural (EDR) de Ourinhos e o Papel das Esferas Públicas e das Agroindústrias do Açúcar e do Alcool no Processo de Organização do Espaço**. 2005. 473 (Mestrado). Instituto de geografia e ciências exatas, UNESP - Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Rio Claro.

SMEETS, E. et al. The sustainability of Brazilian ethanol—An assessment of the possibilities of certified production. **Biomass and Bioenergy**, v. 32, n. 8, p. 781-813, 2008.

SPAROVEK, G. et al. Environmental, land-use and economic implications of Brazilian sugarcane expansion 1996–2006. **Mitigation and Adaptation Strategies for Global Change**, v. 14, n. 3, p. 285-298, 2009.

TILMAN, D. et al. Beneficial Biofuels—The Food, Energy, and Environment Trilemma. **Science**, v. 325, n. 5938, p. 270-271, 2009. Disponível em: < <http://www.sciencemag.org/content/325/5938/270.short> >.

TRIMBLE, S. W.; CROSSON, P. U.S. Soil Erosion Rates--Myth and Reality. **Science**, v. 289, n. 5477, p. 248-250, July 14, 2000 2000. Disponível em: < <http://www.sciencemag.org/content/289/5477/248.short> >.

UNICA. **Responsabilidade social numa história de desenvolvimento sustentável. União da indústria de cana-de-açúcar** 2004.

_____. **União da indústria de cana-de-açúcar** 2013.

VEIGA FILHO, A. A. Efeitos do Proálcool na agricultura paulista. **Informações Econômicas**, p. 15-27, 1980.

VEIGA FILHO, A. A.; RAMOS, P. Proálcool e evidências de concentração na produção e processamento de cana-de-açúcar. **Informações Econômicas**, v. 36, n. 7, p. 48-61, 2006.

VEIGA FILHO, A. A.; YOSHII, R. J. Uso da terra no estado de São Paulo: mudanças na composição das atividades agrícolas e o caso da cana-de-açúcar. **Informações Econômicas**, v. 22, p. 45-56, 1992.

VERDADE, L. M. The Impacts of Sugarcane Expansion on Wildlife in the State of Sao Paulo, Brazil. **Journal of Sustainable Bioenergy Systems**, v. 02, n. 04, p. 138-144, 2012.

VITOUSEK, P. M. Human Domination of Earth's Ecosystems. **Science**, v. 277, n. 5325, p. 494-499, 1997.

YOSHII, R. J.; MATSUNAGA, M. Comentários sobre o Programa Nacional do Álcool e a produção de alimentos. **Informações Econômicas**, v. 8, p. 33-41, 1984.

6. Resumo

As mudanças de uso e cobertura do solo causam uma série de impactos no ambiente. No Brasil, o primeiro cultivo que deu início à mudança de uso e cobertura do solo foi o de cana-de-açúcar. Desde sua introdução, o cultivo de cana-de-açúcar vem alterando a paisagem em que está inserido. Atualmente, o estado de São Paulo é o maior produtor de cana-de-açúcar do país, tendo sofrido alterações na paisagem com maior intensidade desde a implantação do Proálcool, em 1975. O histórico de mudança de uso e cobertura do solo nos permite compreender como a expansão do cultivo de cana-de-açúcar afetou essas paisagens. Neste estudo, avaliamos como a expansão do cultivo de cana-de-açúcar afetou a composição da paisagem de 1965 a 2010. Para isso, mapeamos nove unidades amostrais representativas da dinâmica do cultivo da cana-de-açúcar no nordeste do estado de São Paulo durante o Proálcool em quatro datas: 1965, 1980, 1995 e 2010. Analisamos a dinâmica das paisagens e elaboramos matrizes de transição para as unidades estudadas nos três intervalos de tempo: 1965-1980, 1980-1995 e 1995-2010. Avaliamos se a ocupação das Áreas de Preservação Permanente (APPs) difere das áreas fora de APPs com relação à preferência por conversão de terras, regeneração e perda de vegetação natural. A expansão da cana-de-açúcar foi caracterizada pela perda de cobertura natural, especialmente campo cerrado e cerradão, quando estes existiam e pela substituição da pastagem, classe que mais cedeu espaço para a cana-de-açúcar. No entanto, fora das APPs, não houve uma preferência para a conversão do uso do solo durante a expansão da cana-de-açúcar, ou seja, a cana-de-açúcar expandiu mais sobre a pastagem por essa ser a classe mais dominante da paisagem. Já nas APPs, houve um direcionamento da expansão da cana-de-açúcar, principalmente no último período analisado, em que a conversão de cobertura natural para cana-de-açúcar foi evitada. A regeneração dentro das APPs foi maior do que nas áreas fora de APPs. Todavia a perda de vegetação natural ocorreu independentemente da localização. Em todos os períodos, o percentual de cobertura natural foi inferior a 20% quando a cana-de-açúcar foi a matriz da paisagem. Esses dados atestam que a expansão da cana-de-açúcar durante o Proálcool ocorreu desrespeitando a legislação ambiental, tanto dentro quanto fora das APPs. Concluimos que a expansão do cultivo de cana-de-açúcar alterou a composição da paisagem, reduzindo significativamente as áreas naturais e as pastagens. Apesar da ligeira tendência recente de recuperação das áreas naturais em APPs, é necessário estimular essa regeneração, seja através da certificação ambiental ou da aplicação efetiva do novo Código Florestal. Estas ações poderiam auxiliar na manutenção de áreas naturais e no cumprimento das áreas de preservação, visando paisagens mais favoráveis à conservação da biodiversidade e dos serviços ecossistêmicos.

7. Abstract

Land use and land cover change causes a series of impacts on the environment. In Brazil, the first crop that started the land use land cover change was sugarcane. Since its introduction, the cultivation of sugarcane is changing the landscape in which it is inserted. Presently, the state of São Paulo is the biggest producer of sugarcane in the country, and had its landscape modified with greater intensity since deploying Proálcool in 1975. The history of land use and land cover change allows us to understand how the sugarcane expansion affects these landscapes. In this study, we evaluate how the sugarcane expansion affects the composition of the landscape from 1965 to 2010. For this, we mapped nine sampling units which represented the sugarcane dynamics in the northeastern state of São Paulo during Proálcool for four dates: 1965, 1980, 1995 and 2010. We analyze the landscape dynamics and elaborate transition matrices for the units studied in three intervals: 1965-1980, 1980-1995 and 1995-2010. We assessed whether the occupation of Permanent Preservation Areas (PPAs) differs from areas outside of PPAs regarding preference for land conversion, regeneration and deforestation. The sugarcane expansion was characterized by loss of natural cover, especially in campo cerrado and cerradão, when they exist, and the substitution of pasture, class that more relented space to sugarcane. However, outside of PPAs, there was no preference for conversion of land use during the expansion of sugarcane, in other words, the sugarcane expanded more over pasture because this was the most dominant class in the landscape. In PPAs, there was a direction of the sugarcane expansion, especially in the last analyzed period in which the conversion of natural cover for sugarcane was avoided. The regeneration in the PPAs was higher than in areas outside of PPAs. Nevertheless the loss of natural vegetation occurred regardless of location. In all periods, the percentage of natural cover was less than 20% when sugarcane was the matrix of the landscape. These data confirm that the expansion of sugarcane during the Proálcool occurred disrespecting environmental legislation, both inside and outside of the PPAs. We conclude that the sugarcane expansion changed the landscape composition, significantly reducing natural areas and pastures. Despite the recent trend of slight recovery of natural areas in PPAs, it is necessary to stimulate this regeneration, either through environmental certification or effective implementation of the new Forest Code. These actions could help maintain natural areas and carrying out the conservation areas, seeking more favorable landscapes for biodiversity conservation and ecosystem services.