

## Cenários prognósticos baseados em modelagem dinâmica espacial para o manejo da colheita da cana-de-açúcar no estado de São Paulo

Maikon Roberth de Novaes <sup>1</sup>  
Cláudia Maria de Almeida <sup>2</sup>  
Bernardo Friedrich Theodor Rudorff <sup>2</sup>  
Daniel Alves Aguiar<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística – IBGE  
Unidade Estadual do Rio Grande do Norte – Supervisão de Base Territorial  
Av. Prudente de Moraes, 161 CEP 59020-400 – Natal - RN, Brasil.  
maikon.novaes@ibge.gov.br

<sup>2</sup>Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE  
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil  
{bernardo, almeida, daniel}@dsr.inpe.br

**Abstract.** Since 2006, the National Institute for Space Research (INPE), in conjunction with the Environmental Department of São Paulo State (SMA-SP) and the Brazilian Sugarcane Industry Association (UNICA), is monitoring the practice of sugarcane straw burning during harvest in São Paulo State, Brazil, using remote sensing images. An environmental protocol signed between SMA-SP and the private agro-industrial sugarcane sector in 2007 agreed to stop sugarcane straw burning by the year 2014 for mechanized areas. This study aims to evaluate the use of dynamic modeling scenarios through a stationary model based on Markov chain to generate spatial predictions of sugarcane harvest practice for the year 2014. The model was based on the harvest practice of burned and not burned sugarcane fields during the period of 2006 to 2008 in the municipalities of Ribeirão Preto, Jau and its surroundings. Due to its high dynamic and sensitivity to a large number of economic factors, in addition to a reduced period of observations, the model could not correctly assure projections expected for the year of 2014.

**Palavras-chave:** remote sensing, sugarcane, environment protocol, Markov chain, sensoriamento remoto, cana-de-açúcar, protocolo ambiental, cadeia de Markov.

### 1. Introdução

A Lei Estadual No 11.241, de 19 de setembro de 2002, regulamenta o fim da prática da queima da cana-de-açúcar até 2021 para áreas com declividade menor ou igual a 12% (mecanizáveis) e maior do que 150 ha, e até 2031 para áreas com declividade acima de 12% (não mecanizáveis) e em áreas menores que 150 ha. Entretanto, em junho de 2007, a União da Indústria de Cana-de-Açúcar (UNICA) e a Secretaria do Meio Ambiente do Estado de São Paulo assinaram um protocolo agro-ambiental, que antecipa os prazos para extinção da queima da palha da cana nos canaviais paulistas (SMASP, 2008). Os prazos estabelecidos foram: 2014 para áreas mecanizáveis, e 2017 para áreas não mecanizáveis, sendo que 85% das usinas do estado aderiram ao protocolo. No mesmo sentido, em março de 2008, a Organização de Plantadores de Cana da Região Centro-Sul do Brasil (ORPLANA) também aderiu ao protocolo. Como incentivo, o Governo do Estado concede um certificado de conformidade agro-ambiental aos fornecedores e usinas de cana, o que pode agregar valor ao produto comercializado.

Desde 2006, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), em conjunto com a Secretaria do Meio Ambiente do estado de São Paulo (SMA-SP), vem monitorando, por meio de imagens de sensoriamento remoto, o tipo de colheita, com e sem a prática da queima, em toda área canavieira do estado de São Paulo. Em pesquisas recentes, utilizando técnicas de geoprocessamento e sensoriamento remoto, foram identificadas regiões de manejos distintos

quanto à colheita da cana-de-açúcar como o entorno de Ribeirão Preto e Jaú (Novaes et al., 2010).

A simulação de sistemas auxilia o entendimento dos fatores que induzem o desenvolvimento de um fenômeno, bem como permite representar cenários diversos de possibilidades futuras, segundo quadros socioeconômicos, políticos e ambientais diferentes (Soares Filho, 2001). O modelo estacionário, baseado na cadeia de Markov, consiste em um modelo matemático destinado a descrever um dado fenômeno ou processo que se move em uma sequência de passos e através de um conjunto de estados finitos<sup>1</sup>.

Diante do atual cenário de diversas tendências frente à aderência ao protocolo, questiona-se o cumprimento dos prazos estabelecidos para a extinção da prática da queima na colheita da cana-de-açúcar. Este trabalho tem por objetivo avaliar o uso de modelagem dinâmica espacial para gerar cenários prognósticos com base no comportamento de colheita no período entre os anos de 2006 e 2008, nas regiões do entorno dos municípios de Ribeirão Preto e Jaú. Este modelo visa identificar tendências de aderência futura para estas regiões até o ano limite de 2014, estabelecido no protocolo, através de um modelo estacionário baseado na cadeia de Markov.

## 2. Metodologia

### 2.1. Área de Trabalho

Foram selecionadas duas regiões de estudo (Figura 1) para este trabalho, cujos padrões de manejo da cana são bem distintos, por meio de análise espacial realizada segundo Novaes et al. (2010).

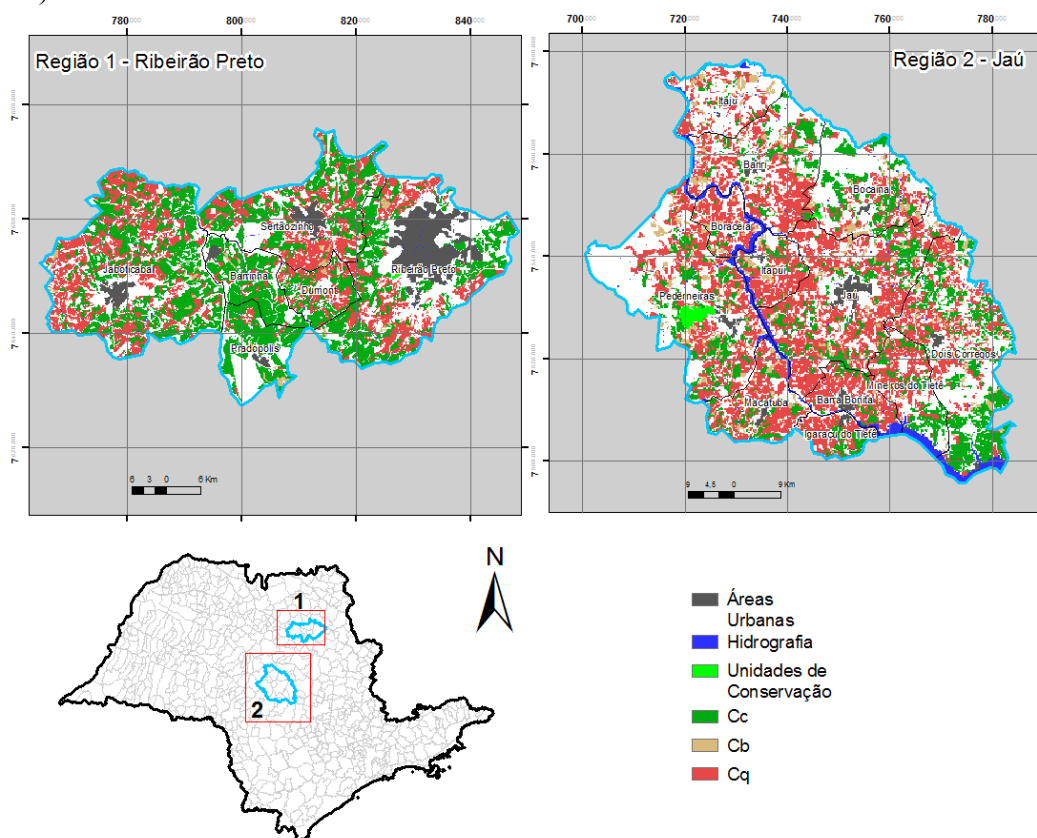


Figura 1 – Localização das regiões de estudo.

1 Para mais detalhes sobre a cadeia de Markov, consultar Baker (1989) e Almeida (2003).

A região 1 está localizada entre os paralelos 21° 45' 54,60" e 20° 37' 49,19" sul e os meridianos 48° 45' 53,02" e 47° 18' 48,32" oeste e abrange os municípios de Barrinha, Dumont, Jaboticabal, Pradópolis, Ribeirão Preto e Sertãozinho. Esta região situa-se na porção centro-oeste da Região Administrativa de Ribeirão Preto e se destaca pela consolidação na plantação canavieira, produtividade e intensa mecanização nos últimos anos.

A região 2 está localizada entre os paralelos 22° 56' 11,00" e 21° 34' 27,00" sul e os meridianos 49° 20' 30,00" e 47° 57' 20,00" oeste e comporta os municípios de Bariri, Barra Bonita, Bocaina, Boracéia, Dois Córregos, Igaracú do Tietê, Itaju, Itapuí, Jaú, Macatuba, Mineiros do Tietê e Pederneiras. Esta região situa-se na porção leste da Região Administrativa de Bauru e trata-se de uma área bastante consolidada, porém, conservadora diante do protocolo agro-ambiental. Jaú, em 2006, foi o 5º maior produtor de cana-de-açúcar do estado; contudo, o manejo da colheita costuma ser realizado com o uso do fogo e, no ano de 2009, foi queimada cerca de 90% da área (CANASAT, 2009).

## 2.2. Material

O banco de dados espacial foi construído na plataforma SPRING 4.3.3, contendo dois diferentes projetos, correspondendo às duas regiões de estudo. Os dados originais utilizados nesta pesquisa são oriundos de classificação supervisionada e não-supervisionada e trabalhos de campo, fruto do monitoramento realizado pelo projeto CANASAT, adquiridos em três anos-safra 2006, 2007 e 2008. Os projetos foram criados utilizando sistema de projeção UTM Fuso 22s – datum WGS84, devido à facilidade de manipulação dos dados, cálculo de área e inserção dos mapas de cobertura e uso na plataforma de modelagem. O dado classificado é do tipo matricial, com resolução de 30 m, e possui as classes de cana-crua (sem o uso do fogo); cana-queima (com o uso do fogo), além da cana-bisada (cana não-colhida até o final da época de colheita). Além desse conjunto principal de dados, foram também utilizadas outras bases para compor o grupo de classes e variáveis de entrada no modelo<sup>2</sup>.

A partir desses dados, foram gerados mapas de uso e cobertura inicial e final relativos aos anos 2006 e 2008, respectivamente. Foi acrescida uma área de *buffer* de 15 km, a fim de não provocar efeito de borda durante a etapa de simulação. As classes de cana no início (2006) e no final (2008) foram: Cc (cana-crua); Cq (cana-queima); Cb (cana bisada); e não-cana. As classes que não sofreram alteração entre o período inicial e final foram: áreas urbanizadas, hidrografia e unidades de conservação. Estas classes foram inseridas nos mapas por exercerem restrição real à expansão e mudança de colheita das lavouras de cana. As áreas urbanizadas foram consideradas estáveis para efeito de simplificação do modelo e por não serem foco de análise desta pesquisa (Figura 1)

O banco de dados foi composto por um conjunto de variáveis de distância, selecionado para analisar a dinâmica das mudanças ocorridas no período observado, a saber: a) hidrografia; b) estradas; c) unidades de conservação; d) usinas; e) áreas urbanizadas. Outro conjunto de variáveis foi selecionado com base na Lei No 11.241, que prevê a proibição da queima da palha da cana em certas faixas de distâncias. Assim, foram calculados *buffers* fatiados relativos a estas determinações. O resultado deste procedimento são mapas de variáveis discretas: a) áreas de preservação permanente (APP) ao longo de cursos d'água; b) 50 m às unidades de conservação; c) 1 km aos aglomerados urbanos; d) 15 m às principais vias; e) áreas com declividade superior a 12%.

2 Todos os dados utilizados estão apresentados em Novaes (2010), com seus respectivos sistemas de projeção, datum e fonte de origem.

## 2.3. Métodos

### 2.3.1 – Parâmetros e Calibração do Modelo

Os dados de entrada necessários para efetuar a calibração do modelo são um mapa de uso e cobertura inicial e final correspondente aos anos de 2006 e 2008, respectivamente, além de um cubo de variáveis físicas estáticas discretas e contínuas. O modelo probabilístico de análise da dinâmica de mudança do uso e cobertura da terra, concebido por Soares Filho et al. (2002), é composto por seis etapas: a) cálculo de percentual das mudanças de classes através de matrizes de transição; b) cálculo das faixas para discretização das variáveis contínuas; c) cálculo dos pesos de evidência ( $W^+$ ); d) análise da correlação dos pesos entre as variáveis de entrada para todas as transições; e) simulação e ajustes; f) validação do mapa final simulado com base no mapa histórico. Todas estas etapas foram realizadas na plataforma DINAMICA EGO 1.4.0.

Primeiramente, foi realizado o cálculo de percentual de mudanças globais oriunda das classes de cobertura e uso da terra. Esse cálculo ocorre após uma tabulação cruzada entre o mapa referente ao ano final (2008) e inicial (2006), gerando matrizes de transição contendo o percentual de mudança no período analisado.

A calibração do modelo envolve, principalmente, o cálculo das faixas e dos pesos de evidência para, em seguida, gerar as simulações com base em parâmetros necessários ao modelo e que envolvem o conhecimento do analista. Esta fase é importante para que o modelo reflita ao máximo possível uma aproximação da realidade, com base nos mapas de cobertura e uso inicial e final.

Os resultados dos pesos de evidência são utilizados para parametrizar o modelo de simulação, relativo à dinâmica espacial do fenômeno estudado. O método implementado por Soares Filho et al. (2008) calcula faixas ou intervalos de acordo com a estrutura dos dados que se apresentam sob a forma de grades contínuas, visto que o método de pesos de evidência opera apenas com variáveis categóricas. Em seguida, são calculados os pesos positivos de evidência ( $W^+$ ) para cada *buffer* (Soares Filho et al., 2008).

As variáveis que terão seus pesos calculados devem ser mencionadas no modelo. As variáveis discretas ou categóricas, como as faixas de distância<sup>3</sup> preventivas de vias, unidades de conservação, APP de rios, áreas urbanas e áreas não mecanizáveis (declividade >12%), não necessitam de parâmetros para este cálculo. Logo, as variáveis contínuas requerem os seguintes parâmetros assim definidos: 1) intervalo mínimo de distância no eixo x = 1 pixel ; 2) intervalo máximo de distância no eixo x = 100.000 pixels; e 3) ângulo de tolerância = 5°; com incremento = 30 m, que é a resolução espacial do mapa. No caso da variável declividade, considerando que a unidade desta é em porcentagem, o seu incremento foi definido em 1%.

Foram também calculados os pesos para distâncias às classes de cana (Cc, Cq e Cb). A distância às classes é considerada uma distância dinâmica, porque ao passo que as suas células mudam ao longo da simulação, o modelo se encarrega de atualizar as novas faixas de distância para a ocorrência de cada transição.

As variáveis, com seus pesos calculados, submeteram-se ao teste de associação espacial por meio do *Joint Information Uncertainty (JIU)*, implementado na plataforma DINAMICA EGO, com a finalidade de verificar a dependência espacial entre todas as possíveis combinações pareadas de variáveis destinadas a explicar uma mesma transição (Bonham-Carter, 1994). Segundo Bonham-Carter (1994), valores para este índice acima de 0,50 indicam mais associação do que menos, sendo que uma das variáveis deve ser descartada, ou então, ambas as variáveis devem ser combinadas em único plano de informação, a fim de se evitar redundância no modelo. Em nenhuma das regiões de estudo, as variáveis mostraram-se associadas espacialmente.

3 Para mais detalhes sobre as funções dos parâmetros de cálculo de faixas de distâncias, consultar Soares Filho et al., (2008) e Novaes (2010).

As transições das células, neste modelo, ocorrem pela expansão de manchas previamente existentes de certa classe de cobertura ou uso da terra – função *expander*, ou através da geração de novas manchas, por meio de um mecanismo de constituição de sementes – função *patcher*. Em outras palavras, a função *expander* executa transições de um estado  $j$  somente nas vizinhanças adjacentes de células com o estado  $j$ . Já a função *patcher* realiza transições de um estado  $i$  para um estado  $j$  apenas nas vizinhanças imediatas de células com estado diferente de  $j$  (Almeida e Gleriani, 2007).

Para a avaliação de um modelo, é necessária a comparação do mapa final simulado com um mapa-referência, através de técnicas que irão quantificar o grau de semelhança entre ambos. Uma forma de aplicação é através de medidas de similaridade *fuzzy* em um contexto de vizinhança local. Entre diversos métodos que visam avaliar a similaridade de padrões espaciais, pode-se citar o método de Hagen (2003), que se baseia no conceito de *fuzziness of location*, implementado na plataforma DINAMICA EGO.

Neste método, a representação de uma célula é influenciada por ela mesma e, em menor magnitude, pelas células na sua vizinhança, em janelas de tamanhos variados de 1x1 até 13x13 pixels (Soares Filho et al., 2008). Neste trabalho, foram consideradas janelas de 3x3 a 11x11 pixels.

A validação, neste caso, colabora para que sejam feitos ajustes nos parâmetros das funções *expander* e *patcher*, até que o modelo esteja compatível com o fenômeno ocorrido no período de 2006 a 2008. Índices próximos a 0,4 indicam um nível bom de compatibilidade entre o cenário simulado e o real. Um modelo devidamente ajustado serviu de parâmetro para a construção de cenários futuros.

### 2.3.2 Geração de Cenários Prognósticos

Neste trabalho, o modelo adotado para a quantificação de mudanças de uso e cobertura da terra é baseado na cadeia de Markov. A vantagem no uso da cadeia de Markov reside na possibilidade de seus parâmetros serem facilmente estimados estatisticamente, a partir de uma amostra de transições ocorridas durante algum intervalo de tempo. Supõe-se que a probabilidade de um conjunto particular de saídas depende unicamente da distribuição atual entre os estados e das probabilidades de transição, além de considerar que a matriz de transição relativa ao fenômeno estudado é estacionária, o que nem sempre ocorre nos processos ambientais dinâmicos.

O percentual de mudança de uso e cobertura da terra pode ser calculado por uma matriz de transição, em que são levantados o quanto muda em determinada classe em um período de tempo determinado. A seleção das duas regiões permitiu calcular as matrizes de transição para o período correspondente aos anos de 2006 a 2008, a fim de verificar o comportamento de mudança quanto às classes de cana bisada (Cb); cana-queima (Cq) e cana-crua (Cc). Uma classe chamada não-cana foi criada para abarcar todos os outros tipos de uso ou cobertura da terra. Ela ainda pode conter áreas de cana em reforma, que são áreas onde são plantadas outras culturas entre períodos de cultivo da cana, com a finalidade de evitar o desgaste do solo. De posse da matriz de transição no período de 2006 a 2008, o vetor de percentual de uso/cobertura de cada classe foi multiplicado pela matriz de transições em passos iguais de dois anos, a fim de obter um vetor com percentuais de uso/cobertura nos anos de prognóstico (2010, 2012 e 2014).

## 3 – Resultados e Discussões

A região 1, destacada por uma inclinação maior ao protocolo ambiental, possui uma extensa área, a qual vem incorporando novas tecnologias de mecanização. Mesmo em número bem menor, destaca-se aqui um percentual de áreas (50,21%) que mantiveram o uso da

queima no período observado (Tabela 1). Por outro lado, mais de 1/3 (34,62%) da área queimada em 2006 foi colhida sem o uso do fogo em 2008.

Tabela 1 – Região 1: Matriz de transição. a) valores em ha; b) percentual estacionário.

a)

<i>2006/2008</i>	<i>Não-cana</i>	<i>Cb</i>	<i>Cq</i>	<i>Cc</i>	<i>Total</i>
<i>Não-cana</i>	46.527	544	8.953	12.474	68.497
<i>Cb</i>	444	14	721	1.490	2.669
<i>Cq</i>	8.964	1.510	34.649	23.892	69.016
<i>Cc</i>	10.305	1.235	8.398	39.302	59.240
<i>Total</i>	66.240	3.302	52.721	77.159	439.178

b)

<i>2006/2008</i>	<i>Não-cana</i>	<i>Cb</i>	<i>Cq</i>	<i>Cc</i>	<i>Total</i>
<i>Não-cana</i>	67,93%	0,79%	13,07%	18,21%	100%
<i>Cb</i>	16,64%	0,51%	27,03%	55,82%	100%
<i>Cq</i>	12,99%	2,19%	50,21%	34,62%	100%
<i>Cc</i>	17,40%	2,08%	14,18%	66,34%	100%

Percebe-se que nesta região de estudo, há uma quantidade de áreas onde a mecanização encontra-se bastante consolidada, pois 66,34% das áreas de cana-crua permaneceram no mesmo estado em 2008. 14,18% de lavouras que colhiam sem queima, usaram o recurso do fogo em 2008, e 17,40% delas estavam em reforma. No primeiro caso, não significa necessariamente que o produtor tenha deixado de utilizar a colheita mecânica. Na verdade, como a prática da queima ainda é permitida, alguns produtores queimam a palha da cana para tornar a colheita mais ágil.

A região de estudo 2, relativa ao município de Jaú e entorno, caracteriza-se por ser mais tradicional no cultivo da cana-de-açúcar e com métodos de colheita mais conservadores. Analisando a Tabela 2, percebe-se que, do total de área colhida com queima em 2006, 54,35% permanece com o mesmo tipo de colheita.

Tabela 2 – Região 2: Matriz de transição. a) valores em ha; b) percentual estacionário.

a)

<i>2006/2008</i>	<i>Não-cana</i>	<i>Cb</i>	<i>Cq</i>	<i>Cc</i>	<i>Total</i>
<i>Não-cana</i>	133.458	5.377	30.212	12.327	181.375
<i>Cb</i>	644	1.017	2.711	1.721	6.093
<i>Cq</i>	25.397	14.207	88.044	34.354	162.002
<i>Cc</i>	4.575	1.609	8.915	13.828	28.926
<i>Total</i>	164.074	22.210	129.882	62.230	695012

b)

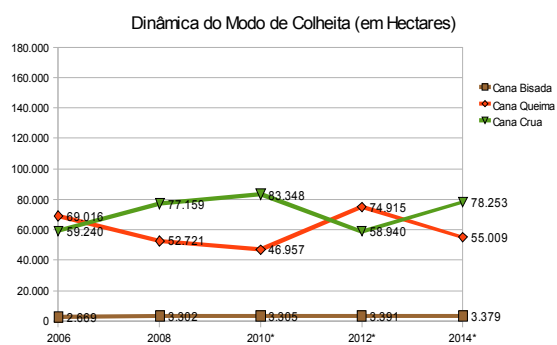
<i>2006/2008</i>	<i>Não-cana</i>	<i>Cb</i>	<i>Cq</i>	<i>Cc</i>	<i>Total</i>
<i>Não-cana</i>	73,58%	2,96%	16,66%	6,80%	100%
<i>Cb</i>	10,56%	16,69%	44,50%	28,24%	100%
<i>Cq</i>	15,68%	8,77%	54,35%	21,21%	100%
<i>Cc</i>	15,82%	5,56%	30,82%	47,80%	100%

Por outro lado, vê-se uma postura convergindo com a proposta do protocolo ambiental, refletida pela mudança em 21% das áreas de queima para áreas sem queima. Todavia, as áreas de cana-crua representam somente 29% da área total de cana na região. Das novas áreas de cana, ainda há certa resistência frente à mecanização, pois em 63% destas áreas foi utilizada a queima, enquanto apenas 26% das áreas novas aderiram ao protocolo.

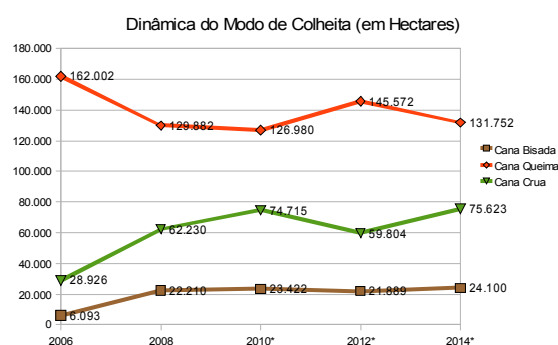
Um fenômeno observado nesta região é o percentual bastante elevado de cana não colhida. Ao todo, foram 22.210 ha de cana bisada. Tal fenômeno pode ser atribuído a um desequilíbrio entre a maior disponibilidade de matéria prima e a menor capacidade de produção de álcool e açúcar prevista pelas unidades de produção. Outro ponto a ser observado é o percentual de quase 16% (25.397 ha) de área de cana-queima em 2006, que passou a não constar em 2008. Existe a possibilidade que estejam em reforma ou que parte delas tenha cedido lugar a outras culturas.

A Figura 2 ilustra os gráficos gerados que preveem a situação da colheita para os anos 2010, 2012 e 2014, segundo o modelo estacionário. Nas duas regiões, segundo o modelo estacionário, a quantidade de áreas de cana-crua aumenta, e as áreas de cana-queima diminuem no ano prazo de 2014.

#### a) Região 1



#### b) Região 2



\* ano simulado

Figura 2 - Cenários futuros para as classes de colheita da cana-de-açúcar, segundo o modelo estacionário.

Convém lembrar que o período disponível de dados observados é pequeno e, ainda assim, sofreu intervenções por intensas especulações e oscilações do etanol e do açúcar nos mercados nacional e internacional. Fato este que, direta e indiretamente, afetou a produção e toda a dinâmica da cana-de-açúcar no Brasil, assim como seu respectivo planejamento. Exemplo disto é o alto número de áreas de cana não colhida (bisada), observado em maior grau na área de estudo correspondente ao entorno de Jaú. Fenômenos como este, que ocorreram neste período de tempo, não tendem a ocorrer com frequência, pois acarreta grandes prejuízos.

O modelo estacionário, no entanto, não prevê acontecimentos aleatórios, pois trata os sucessivos passos de tempo sem considerar rupturas e oscilações bruscas nas tendências de mudanças observadas. Modelos que incorporem variações econômicas de mercado, através de equações matemáticas que alterem as respectivas matrizes de transição, poderiam contemplar outras propostas de cenários futuros.

Assim, haveria a possibilidade de compor um quadro mais amplo e seguro, beneficiando os tomadores de decisão nas atividades de planejamento.

## 4. Conclusões

Este trabalho permitiu apreender a complexidade manifestada no espaço agrícola do estado de São Paulo no tocante à cultura da cana e às suas formas de manejo, por meio do aporte de um conjunto de fatores intervenientes estáticos e dinâmicos.

Do ponto de vista das simulações de cenários futuros, o modelo estacionário (cadeia de Markov) não pode concluir apontamentos seguros sobre as prováveis áreas aderentes à extinção da queima até 2014, visto que a série temporal de observações disponível é reduzida e fenômenos aleatórios como o grande volume de área de cana-bisada na região 2 (Jaú) prejudicaram a consistência do modelo.

A cultura da cana, por ser de alta dinâmica, necessita a incorporação de variáveis econômicas, como painel de estabilidade política, preço do etanol, do açúcar, demanda por maquinário agrícola etc. Os dados anuais do monitoramento da queima da cana são de suma importância e recomendados a fim de elaborar uma série histórica mais robusta, capaz de conferir maior confiabilidade a modelos futuros.

## Referências Bibliográficas

Almeida, C. M.; Gleriani, J. M. Redes Neurais e Autômatos Celulares como uma Plataforma para a Simulação de Mudanças do Uso do Solo Urbano. In: ALMEIDA, Cláudia Maria de; CÂMARA, Gilberto; MONTEIRO, Antonio Miguel Vieira (Ed.). **Geoinformação em urbanismo: cidade real x cidade virtual**. São José dos Campos, SP: Digital Press, 2007. p. 300-323. ISBN 9788586238550. (INPE--/). Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m12@80/2007/05.09.13.44>>. Acesso em: 23 abr. 2010.

Almeida, C. M. **Modelagem da dinâmica espacial como uma ferramenta auxiliar ao planejamento: simulação de mudanças de uso da terra em áreas urbanas para as cidades de Bauru e Piracicaba (SP), Brasil**. 2003. 321 p. (INPE-10567-TDI/942/A). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2003. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/jeferson/2003/12.18.07.29>>. Acesso em: 23 abr. 2010.

Baker, W. L. A review of models of landscape change. **Landscape Ecology**, v. 2, n. 2, p. 111-133, 1989.

Bonham-Carter, G. F. **Geographic Information Systems for geoscientists: modelling with GIS**. Ontario: Pergamon, 1994, 305 p.

CANASAT, 2009. Disponível em: [www.inpe.br/CANASAT](http://www.inpe.br/CANASAT) (acesso em janeiro de 2009)

Hagen, A. Multi-method assessment of map similarity. In: 5th AGILE Conference on Geographic Information Science, Palma, Spain. **Anais...** Palma: Universitat de les Illes Balears, 2003. p. 171-182.

Novaes, M. R. Análise da redução da queima na colheita da cana-de-açúcar por meio de modelagem dinâmica espacial. 2010. 153 p. (INPE-16696-TDI/1640). Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2010. Disponível em: <<http://urlib.net/sid.inpe.br/mtc-m19@80/2010/02.25.12.38>>. Acesso em: 20 out. 2010.

Novaes, M. R.; Rudorff, B. F. T.; Almeida, C. M.; Aguiar, D. A. Análise espacial da redução da queima na colheita da cana-de-açúcar. **Revista de Engenharia Agrícola**. Jaboticabal, SP. 2010. (no prelo).

Soares Filho, B. S.; Assunção, R. M.; Pantuzzo, A. E. Modeling the spatial transition probabilities of landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **BioScience**, v. 51, n. 12, p. 1059-1067, 2001.

Soares filho, B. S.; Cerqueira, G. C.; Pennachin, C. L. DINAMICA – a stochastic cellular automata model designed to simulate the landscape dynamics in an Amazonian colonization frontier. **Ecological Modelling**, v. 154, p. 217-235, 2002.

Soares Filho, B. S.; Rodrigues, H. O.; Falieri, A.; Costa, W. L. **DINAMICA EGO Tutorial**. Belo Horizonte. CSR-UFMG. 2008.

Secretaria de Meio Ambiente do Estado de São Paulo (SMASP). **Protocolo agro-ambiental**. São Paulo, 2008. Disponível em: <http://www.ambiente.sp.gov.br/cana/protocolo.pdf>. Acesso em dezembro de 2008.