

Revista Brasileira de Cartografia (2014) N^o 66/3: 473-484
Sociedade Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto
ISSN: 1808-0936

MODELAGEM DINÂMICA ESPACIAL PARA O MONITORAMENTO DO CRESCIMENTO URBANO NO ENTORNO DO DUTO ORBEL

*Spatial dynamic Modeling for Monitoring of Urban Growth in Vicinity of ORBEL
Pipeline*

**Marcelo Elias Delaneze¹, Paulina Setti Riedel²,
Mara Lúcia Marques² & Mateus Vidotti Ferreira¹**

1 Universidade Estadual Paulista – UNESP
Pós-Graduação em Geociências e Meio Ambiente – IGCE/UNESP/Rio Claro
Av. 24A, 1515, CEP:13506-900, Rio Claro-SP, Brasil
mdelaneze@yahoo.com.br; mateusvidotti@yahoo.com.br

2 Universidade Estadual Paulista – UNESP
Departamento de Geologia Aplicada – IGCE/UNESP/Rio Claro
Caixa Postal 176, CEP:13506-900, Rio Claro-SP, Brasil
psriedel@rc.unesp.br; maralucia.marques@hotmail.com

Recebido em 07 de Maio, 2013/ Aceito em 17 de Agosto, 2013
Received on May 07, 2013/ Accepted on August 17, 2013

RESUMO

A obtenção de informação sobre as condições da rede dutoviária representa papel primordial na segurança de dutos que transportam produtos perigosos. Para a minimização dos riscos associados a possíveis acidentes, tanto decorrentes dos processos naturais quanto de causas antrópicas relacionadas ao uso e cobertura da terra, torna-se necessário o monitoramento das áreas próximas aos dutos. Neste sentido, os modelos matemáticos em estudos ambientais ajudam a entender o impacto das mudanças no uso e/ou cobertura da terra e a prever alterações futuras nos ecossistemas. A área de estudo compreende porções dos municípios de Duque de Caxias, Belford Roxo e Nova Iguaçu e tem por objetivo avaliar o crescimento urbano de uma área atravessada por dutos, gerando um cenário anual de cobertura da terra para o período de 10 anos. A modelagem realizada neste trabalho, utilizou como entrada mapas de cobertura da terra dos anos de 1987 e 1998, obtidos através de imagens do sensor TM/ Landsat. Seis variáveis espaciais (altimetria, declividade, distância das principais rodovias, distância dos principais rios, áreas protegidas, e litologia) foram utilizadas para explicar as mudanças ocorridas na cobertura da terra. Para a calibração do modelo, utilizou-se o método de pesos de evidência. Neste método valores positivos favorecem determinada transição, enquanto valores negativos indicam baixa probabilidade de transição, e valores próximos a zero não exercem efeito. A validação do modelo se deu pelo método de similaridade fuzzy, com decaimento exponencial. Os resultados mostram que o cenário gerado apresenta um aumento de 0,84 km² para a classe “área construída”, no período de 10 anos. Este aumento representa um total de 13,61%, enquanto a classe vegetação arbórea reduziu 1,17 km², correspondente a um total reduzido de 7,54%. Os resultados da modelagem apontam para o crescimento dos bairros periféricos próximos ao Arco Metropolitano do Rio de Janeiro.

Palavras chaves: Segurança de Dutos, Modelos Matemáticos, Pesos de Evidência, Similaridade Fuzzy.

ABSTRACT

Obtaining information on the conditions of the pipeline network is paramount role in the pipelines safety carrying petroleum products. To minimize the risks associated with possible accidents, resulting from natural processes and anthropogenic causes related to land use and land cover, it is necessary to monitor the areas near the pipelines. In this sense, mathematical models in environmental studies help to understand the impact of land use and land cover and to predict future changes in ecosystems. The study area includes portions of the cities of Duque de Caxias, Nova Iguaçu and Belford Roxo, and aims to assess the urban growth of an area crossed by pipelines, generating an annual scenario of land coverage for the period of 10 years. The modeling performed in this work, used as input maps of land cover of the years 1987 and 1998, obtained from TM/Landsat. Six spatial variables (altimetry, slope, distance to major roads, distance from major rivers, protected areas and lithology) were used to explain the changes in land cover. For the calibration model, we used the weights of evidence. In this method, positive values favor certain transition, while negative values indicate low probability of transition, and values near zero does not exert effect. Model validation was made by the method of fuzzy membership with exponential decay. The results show that the generated scenario shows an increase of 0.84 km² for the class “constructed area” in 10 years. This represents a total increase of 13.61 %, while the woody vegetation class decreased 1.11 km², corresponding to a reduced 7.54%. Modeling results indicate the growth of suburbs near ring road of Rio de Janeiro.

Keywords: Pipelines Safety, Mathematical Models, Weights of Evidence, Fuzzy Membership.

1. INTRODUÇÃO

Em 2007, a população urbana mundial ultrapassou a população vivendo em áreas rurais pela primeira vez na história (GRIFFITHS et al., 2010).

A alta demanda por petróleo e o crescimento da população vivendo em áreas atravessadas por dutos é um problema real e tende a ser mais frequente com o crescimento da rede de dutos (PHMSA, 2010). No Brasil, a rede dutoviária para transportar etanol, petróleo, e seus derivados era composta em 2012 por 601 dutos, totalizando 19.700 km (ANP, 2013).

O meio de transporte de substâncias perigosas através de dutos é citado na literatura como um dos mais seguros e eficientes (CHOI et al., 2003) com frequência mais baixa de acidentes do que aqueles associados ao transporte rodoviário ou ferroviário, mas, as falhas em dutos podem ocorrer e, por vezes, geram conseqüências catastróficas.

A rede de dutos atravessa terrenos com grande diversidade física e de ocupação, como áreas densamente povoadas, regiões montanhosas e travessias de rios, fazendo que fiquem mais vulneráveis a acidentes e, portanto, a obtenção de informações sobre as condições da rede dutoviária representa papel primordial na operação dos dutos, não somente com o propósito de manter a eficiência operacional, mas também, para a minimização dos riscos associados a possíveis acidentes, como

rompimento do duto devido a deslizamentos de massa ou desmoronamentos de blocos.

Além dos riscos associados ao ambiente físico, há também o risco associado à ocupação humana, tanto urbana quanto rural, que implica no tráfego de pessoas e máquinas em torno das instalações, além da construção de prédios e pavimentação das vias de acesso.

Neste contexto, a modelagem matemática tem importantes contribuições a dar no estudo das mudanças ocorridas nas proximidades de dutos. Segundo Câmara e Monteiro (2003), o emprego de modelos matemáticos em estudos ambientais gera importantes contribuições científicas ao planejamento ordenado de uma área, uma vez que ajudam a entender o impacto das mudanças no uso e cobertura da terra e a prever alterações futuras nos ecossistemas.

Apesar das falhas na modelagem espacial no passado (LEE, 1973), nas décadas recentes, o aumento da capacidade computacional, a maior disponibilidade de dados espaciais e a necessidade de ferramentas de planejamento inovadoras para ajudar no apoio à tomada de decisões fizeram com que houvesse uma retomada da aplicação deste tipo de modelagem (BRAIL e KLOSTERMAN, 2001; GEERTMAN e STILLWELL, 2002). Estes modelos incluem o desenvolvimento de novos métodos computacionais, incluindo a micro-simulação, baseada, por exemplo, em agentes e autômatos celulares, que mostra o potencial de representar e simular a complexidade dos

processos envolvidos na dinâmica espacial e na mudança do uso e cobertura da terra.

Autômatos celulares são definidos por Wolfram (1983) como idealizações matemáticas de sistemas físicos, no qual o espaço e o tempo são discretos e os atributos assumem um conjunto finito de valores também discretos. O autômato celular mais simples é unidimensional e cada célula pode assumir um de dois estados possíveis. Em modelos utilizando autômatos celulares para mudanças de uso da terra, os estados da célula representam as classes de cobertura da terra.

A capacidade do autômato celular para simular o crescimento urbano é baseado no pressuposto de que o desenvolvimento urbano passado afeta os padrões futuros através de interações locais entre usos da terra (SANTÉ et al., 2010).

Modelos que utilizam autômatos celulares oferecem algumas vantagens sobre outros modelos comumente utilizados, como modelos baseados em Redes Neurais Artificiais e os modelos estatísticos tradicionais. Modelos baseados em autômatos celulares possuem a vantagem de terem uma abordagem descentralizada, relativa facilidade com que os resultados do modelo podem ser visualizados, são flexíveis em suas aplicações, e também, sua compatibilidade com os sistemas de informação geográfica e dados de sensoriamento remoto (TORRENS e O'SULLIVAN, 2001).

O modelo de simulação de dinâmicas da cobertura da terra empregado neste trabalho foi realizado no Dinamica EGO (*Environment for Geoprocessing Objects*), desenvolvido pelo Centro de Sensoriamento Remoto da Universidade Federal de Minas Gerais (www.csr.ufmg.br/dinamica).

O Dinamica EGO possibilita desde a construção de modelos espaciais estáticos simples até modelos dinâmicos complexos, os quais podem envolver iterações aninhadas, retroalimentações dinâmicas, abordagem multiregiões, manipulação e combinação algébrica de dados em vários formatos, como mapas, tabelas, matrizes e constantes, processos de decisão para bifurcação e união de fluxos de execução, e uma série de algoritmos espaciais complexos para a análise e simulação de fenômenos espaço-temporais (SOARES-FILHO,

RODRIGUES e COSTA, 2009).

O objetivo deste trabalho foi avaliar o crescimento urbano em uma área selecionada na Região Metropolitana do Rio de Janeiro atravessada por dutos, gerando cenários anuais de cobertura da terra, utilizando pesos de evidência e autômatos celulares. As imagens Landsat Thematic Mapper (TM) foram escolhidas para este estudo devido à disponibilidade de cobertura multitemporal da área. A imagem inicial do estudo (1987) foi adquirida por apresentar características adequadas de visualização da área (baixa cobertura de nuvens, pouca interferência atmosférica e ausência de ruído), com o intuito de realizar análises da dinâmica espacial no período de 10 anos, assim, optou-se por calibrar o modelo pela matriz de transição do período 1987-1998.

2. ÁREA DE ESTUDO

A área de estudo selecionada possui aproximadamente 97 km², englobando porções dos municípios de Nova Iguaçu, Belford Roxo e Duque de Caxias, localizados na Região Metropolitana do Rio de Janeiro (Figura 1).

De acordo com o IBGE (2011), a população total destes municípios em 2010 era de 2.120.637 habitantes, estando entre os mais populosos do Brasil.

O município de Belford Roxo, embora não seja atravessado pela faixa de dutos, também foi considerado neste trabalho devido à Área de Influência Indireta (AII). A área de influência de um empreendimento é definida como o espaço suscetível de sofrer alterações como consequência da sua implantação, manutenção e operação ao longo de sua vida útil (BRASIL 1986).

A AII considerada compreende uma faixa de 10 km, sendo 5 km para cada lado do duto, esta área é utilizada para o estudo dos meios físicos e bióticos. Esta faixa foi definida pelo relatório ambiental do duto ORBEL I (TRANSPETRO, 2006).

Os principais bairros compreendidos na AII são: Tinguá, em Nova Iguaçu; Jardim Santa Maria e Lote XV, em Belford Roxo; e Parque Barão do Amapá, Pilar, Chácara Rio-Petrópolis e Cidade dos Meninos, em Duque de Caxias. A localização dos bairros está ilustrada na Figura 1.

O relevo da área compreende planícies,

colinas isoladas, morros baixos e as escarpas serranas da Serra do Mar. De acordo com a CPRM (2000), as litologias são constituídas por Depósitos Flúvio-Lagunares, rochas alcalinas cretácicas/terciárias da Suíte Alcalina de Tinguá e granitoides da Unidade Serra dos Órgãos e da Unidade Santo Aleixo.

A faixa de dutos ORBEL (oleoduto Rio de Janeiro – Belo Horizonte) possui 362 km e transporta derivados claros de petróleo do Terminal Campos Elíseos ou da REDUC (Refinaria Duque de Caxias) até a REGAP (Refinaria Gabriel Passos) no município de Betim, em Minas Gerais.

Devido aos dutos ficarem a uma profundidade média variando entre 1,0 e 1,5 m, o que pode ser observado nas imagens TM utilizadas é a faixa de servidão. A faixa de servidão tem a finalidade de instalar, proteger, delimitar e identificar os locais onde estão

instalados os dutos, é uma faixa de segurança sinalizada, com largura de 20 metros, que acompanha, na superfície, o percurso subterrâneo dos dutos (FERREIRA, 2009).

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Preparação dos dados e seleção das variáveis

Foram utilizadas duas imagens do sensor TM/Landsat, 1987 (paisagem inicial) e 1998 (paisagem final). Ambas foram interpretadas visualmente e geraram os mapas temáticos de cobertura da terra, conforme Figura 2.

Três classes de cobertura da terra foram consideradas: (1) vegetação arbórea, (2) área construída, e (3) outras (envolvendo toda área não urbanizada, corpos d'água, sombras, solo exposto, e outras classes menos representativas). A generalização das classes foi necessária devido à resolução espacial das imagens utilizadas (30 metros), e também, deve-se considerar que a complexidade do modelo tende a aumentar quanto maior o número de variáveis espaciais ou classes temáticas consideradas (BATTY, et al. 1999).

Seis variáveis espaciais foram utilizadas para calibrar o modelo no período analisado (1987-1998): (I) altimetria, (II) declividade, (III) distância das principais rodovias, (IV) distância dos principais rios, (V) áreas protegidas, e (VI) litologia. A Tabela 1 mostra a fonte dos dados e o processamento realizado para obter cada um.

As cartas topográficas da Fundação para o Desenvolvimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (FUNDREM) utilizadas apresentam equidistância de 5 metros entre as curvas de nível. A variável “distância das principais rodovias” considerou apenas as rodovias principais da área, não englobando rodovias secundárias, e portanto, as informações já estavam presentes nas cartas utilizadas.

Todas as variáveis utilizadas foram convertidas em formato *raster* com 30 metros de resolução espacial, para que fossem compatíveis com a resolução das imagens utilizadas.

A seleção das variáveis utilizadas em cada transição de cobertura da terra ocorreu de acordo com o conhecimento da área estudada, não sendo

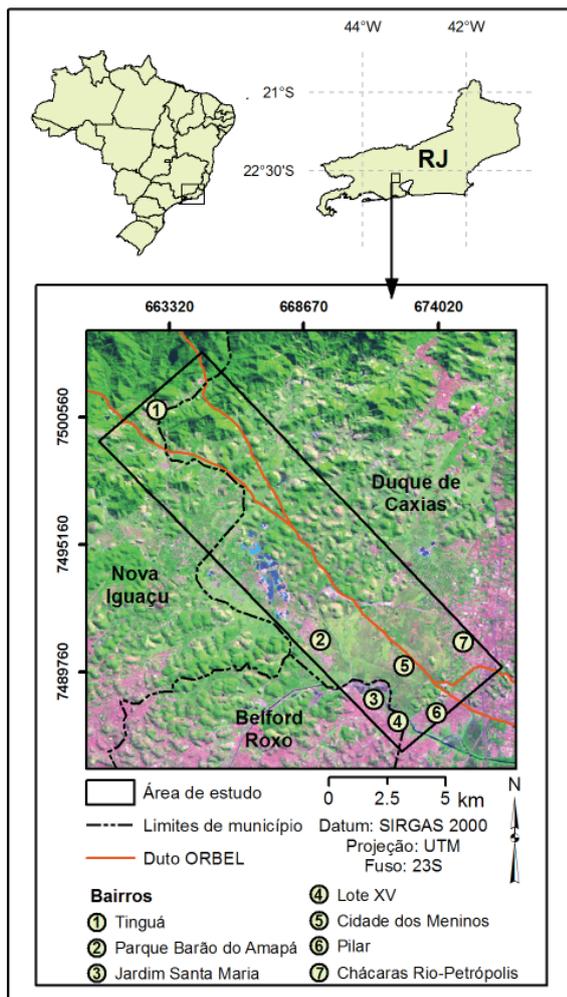


Figura 1 – Área de estudo. Imagem Landsat TM (217/076, 09 de julho de 2010).

selecionadas as variáveis pouco significativas para explicar determinada transição. A Tabela 2 indica as variáveis selecionadas para explicar cada uma das transições existentes.

3.2 Cálculo das taxas de transição

Para a determinação das taxas globais de mudanças de cobertura da terra foi realizada uma tabulação cruzada, que corresponde a uma matriz de transição, ou cadeia de Markov, que descreve um sistema que muda em intervalos discretos de tempo. O valor de qualquer variável em um dado período de tempo é a soma das porcentagens fixas dos valores de todas as variáveis do passo de tempo precedente (JRC e ESA, 1994).

A partir dos mapas de cobertura inicial e final do período selecionado, foram calculadas as matrizes de transição global e anual, sendo que para a geração desta última, foi utilizado o método proposto por Bell e Hinojosa (1977), baseado nos autovalores e autovetores da matriz global, conforme a Equação 1.

$$MT_{anual} = H.V^{\frac{1}{n}}.H^{-1} \quad (1)$$

Em que MT_{anual} é a matriz anual de transições de cobertura da terra. H são os autovetores da matriz global de transições, V são os autovalores da matriz global de transições, n é o número de

passos anuais dentro do período total analisado, H^{-1} é a matriz inversa de autovetores da matriz global de transições.

Uma vantagem da técnica de modelagem utilizando cadeias de Markov é a simplicidade operacional e a sua capacidade de projetar mudanças futuras com requisitos de dados mínimos (BROWN, D. G.; PIJANOWSKI, B. C.; DUH, J. D., 2000).

3.3 Calibração e validação do modelo

Para a calibração do modelo foi utilizado o método de probabilidade Bayesiana de pesos de evidência. Esta abordagem foi originalmente desenvolvida para avaliação de potencial mineral (BONHAM-CARTER, 1994), e para a avaliação de mudanças na cobertura da terra. O método calcula a probabilidade que uma classe de cobertura sofra alteração posto que um condicionante da mudança já ocorreu.

Valores positivos favorecem determinada transição, enquanto valores negativos indicam baixa probabilidade de transição. Um par de pesos, positivo (W^+) e negativo (W^-), é calculado para cada evidência. Este cálculo é realizado através da aplicação de razões de probabilidade, que descrevem como provavelmente uma alteração na classe irá ocorrer no caso da evidência estar presente ou ausente, conforme as equações 2 e 3.

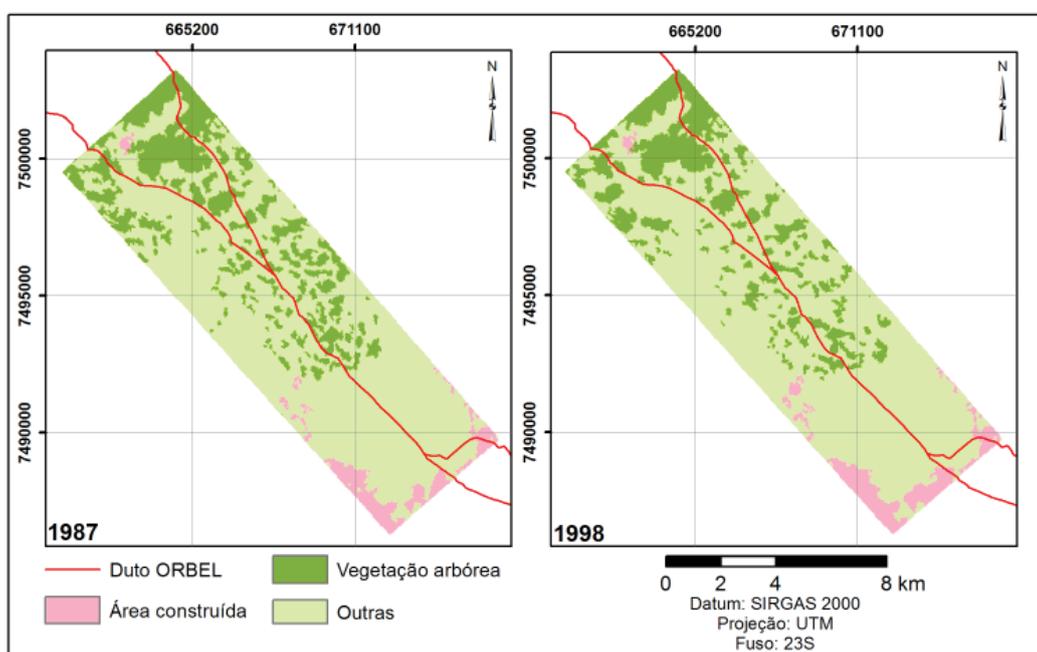


Figura 2 – Mapas temáticos de cobertura da terra.

Tabela 1: fonte e processamento realizado para obtenção das variáveis

Tipo de dado	Escala	Data	Fonte	Processamento
Altimetria	1:10.000	1975	FUNDREM ^a	MDE
Declividade	1:10.000	1975	FUNDREM ^a	MDE
Distância das princ. rodovias	1:10.000	1975	FUNDREM ^a	Distância euclidiana
Distância dos princ. rios	1:10.000	1975	FUNDREM ^a	Distância euclidiana
Áreas protegidas	1:100.000	2000	MMA ^b	-
Litologia	1:500.000	2000	CPRM ^c	-

^a Fundação para o Desenvolvimento da Região Metropolitana do Rio de Janeiro (FUNDREM)

^b Ministério do Meio Ambiente (MMA)

^c Companhia de Pesquisa de Recursos Minerais (CPRM).

Tabela 2: Variáveis selecionadas para cada transição de cobertura da terra

	Vegetação arbórea para outras	Outras para vegetação arbórea	Outras para área construída
Altimetria	●	●	●
Declividade	●	●	●
Distância das princ. rodovias	●	●	●
Distância dos princ. rios	●	●	●
Áreas protegidas	●	●	●
Litologia	●	●	

$$W^+ = \log_e \left\{ \frac{P(B|D)}{P(B|\bar{D})} \right\} \quad (2)$$

$$W^- = \log_e \left\{ \frac{P(\bar{B}|D)}{P(\bar{B}|\bar{D})} \right\} \quad (3)$$

Onde \log_e é o logaritmo natural, P é a probabilidade, B e \bar{B} é a presença ou ausência, respectivamente, da evidência preditiva, e D e \bar{D} representam, respectivamente, a presença ou ausência da classe de cobertura da terra.

Para medir a significância de associação entre a ocorrência das transições, utilizou-se como medida de correlação o contraste (C) que é dado por $C = W^+ - W^-$. No Dinamica EGO, o contraste normalizado dividido pelo seu desvio padrão fornece um intervalo de confiança de 95%.

Pesos de evidência necessitam que os mapas

de entrada sejam espacialmente independentes, para isso um grupo de testes estatísticos é aplicado para verificar esta suposição.

Os testes de independência condicional são aplicados em pares de variáveis para estimar o grau de dependência entre elas. Foram aplicados os testes de Cramer (V), que utiliza a estatística do qui-quadrado (X^2), e a Incerteza da Informação Conjunta (*Joint Information Uncertainty - U*), que pertence à classe de medidas de entropia, mas também pode ser utilizada para medir associações entre tabelas de contingência. Estes testes fornecem uma medida padronizada que varia entre 0 (zero) e 1 (um), quanto mais próximo de 1 maior a associação entre as variáveis.

Em pares de variáveis que obtiverem valores acima de 0,50, deve ser escolhida uma variável e eliminá-la, considerando (BONHAM-CARTER, 1994):

1) A variável a ser eliminada deve ser aquela que apresenta menor potencial explicativo

para o fenômeno de mudança de cobertura da terra, isto é, aquela que é menos correlacionada com o evento.

2) Quando ambas as variáveis são importantes para modelar o fenômeno, ambas podem ser combinadas em um único *layer*, através de uma operação booleana. Assim, não há perda de informação.

Medidas de entropia possuem a vantagem de não serem afetadas por unidades de medida, como os testes de qui-quadrado (BONHAM-CARTER, 1994).

A validação do modelo é fundamental para o desenvolvimento de modelos urbanos baseados em autômatos celulares, especialmente modelos aplicados em contextos operacionais (TORRENS, 2000).

Vários métodos têm sido propostos para avaliação de modelos de mudança de uso e cobertura da terra, porém cada método possui sua limitação. A comparação pixel a pixel é frequentemente utilizada (WHITE e ENGELEN, 2000; LI e YEH, 2004), o método ROC (*Relative Operating Characteristic*) tem sido amplamente utilizado na validação de modelos de regressão logística (WU et al., 2009), e métricas espaciais (ou métricas de paisagem) têm sido cada vez mais utilizadas para modelagem do crescimento urbano, pois, de acordo com Alberti e Waddel (2000), métricas de paisagem levam a melhor interpretação e avaliação dos resultados da modelagem.

O método empregado neste trabalho consiste na adaptação do *Kfuzzy*, desenvolvido por Hagen (2003). Este método baseia-se no conceito de “*fuzziness of location*”, no qual a representação de uma célula é influenciada por ela mesma e, em menor proporção, pelas células vizinhas.

Esse método de avaliação é considerado como de concordância flexível, pois não se baseia no ajuste *pixel a pixel*, mas sim no ajuste por múltiplas resoluções, no qual os valores tendem a ser superiores quando comparados aos índices de concordância rígida. O índice tende a ser maior quanto maiores forem as janelas de amostragem. Assim sendo, a partir de certa resolução (em geral, acima de 11 ou 13 pixels) é comum ocorrer a saturação, conferindo ineficiência ao mesmo para avaliar o ajuste entre o mapa real e o mapa simulado (COSTANZA,

1989).

A escolha da função de decaimento mais apropriada e do tamanho da janela de amostragem dependem da incerteza dos dados e do limiar de tolerância do erro espacial. Embora não haja consenso sobre qual ajuste definiria um limiar de aceitação ou rejeição do modelo, aceita-se que um modelo apresenta bons resultados quando seu ajuste é superior ao obtido a partir de uma comparação entre os mapas final e inicial (HAGEN, 2003).

3.4 Funções de transição do Dinamica EGO

Em modelos que utilizam autômatos celulares as transições entre células vizinhas é uma questão importante. O Dinamica EGO utiliza uma vizinhança de Moore, isto é, com oito células adjacentes, e as transições nas células são divididas em dois algoritmos denominados *expander* e *patcher* (ALMEIDA et al., 2008).

A função *expander* é responsável exclusivamente pela expansão de manchas previamente existentes, enquanto a função *patcher* destina-se a criação de novas manchas através de um mecanismo de sementeira.

Neste trabalho foi utilizada apenas a função *expander*, devido às mudanças das classes ocorrerem exclusivamente por expansão ou contração de manchas previamente existentes.

O algoritmo *expander* é expresso conforme a Equação 4 (SOARES-FILHO et al., 2002):

$$\begin{aligned} \text{se } n_j > 3 \text{ então } P'(ij)(xy) &= P(ij)(xy) \text{ senão } P'(ij)(xy) \\ &= P(ij)(xy) \times (n_j)/4 \end{aligned} \quad (4)$$

Onde: n_j corresponde ao número de células do tipo j ocorrer em uma janela de 3 x 3. Neste método garante-se como probabilidade máxima P_{ij}' original, sempre que uma célula i a ser transicionada estiver cercada de pelo menos 50% de vizinhos j .

5. RESULTADOS

5.1 Taxas de transição

Três transições de cobertura da terra ocorreram (Tabela 3). A transição ‘vegetação arbórea para outras’ mostra que uma porcentagem

significante de vegetação diminuiu a uma taxa de 2,88% por ano no período.

A Tabela 4 apresenta a área ocupada por classe de cobertura da terra nos anos de 1987 e 1998.

5.2 Validação do modelo

Os testes para verificar a independência condicional foram realizados com todos os pares de variáveis e não foram encontradas dependências espaciais, portanto, todas as variáveis foram mantidas.

Os testes de simulação foram realizados com o mapa de cobertura da terra inicial (1987), o conjunto de variáveis, os pesos de evidência e a matriz de transição. Também neste passo, foram definidos os parâmetros que controlam o operador *expander* para o tamanho médio, variância e isometria das manchas a serem expandidas ou contraídas.

A Tabela 5 apresenta os resultados do teste de validação utilizando decaimento exponencial para múltiplos tamanhos de janelas e os parâmetros ajustados no operador *expander*.

O parâmetro isometria corresponde à agregação das manchas criadas, este parâmetro varia entre 0 e 2, ajustado em zero as manchas serão desagregadas e, em dois totalmente agregadas. Este parâmetro irá multiplicar as probabilidades da janela de vizinhança durante a execução do algoritmo de transição (TRENTIN e FREITAS, 2010).

Tabela 3: Transições anuais de cobertura da terra

Transições de cobertura da terra	1987-1998 (%/ano)
Vegetação arbórea para outras	2,88
Outras para vegetação arbórea	0,46
Outras para área construída	0,12

Tabela 4: Área por classe de cobertura da terra

Classes de cobertura da terra	1987 (Km ²)	1998 (Km ²)
Vegetação arbórea	20,32	18,01
Área construída	4,75	5,70
Outras	72,05	73,42

A fragmentação da classe vegetação arbórea dificultou melhores resultados para esta classe.

5.4 Geração de Cenários

Frequentemente, os modelos são usados para prever panoramas futuros de padrões de cobertura da terra sob diferentes cenários biofísicos e mudanças socioeconômicas. São úteis para ajudar na tomada de decisões por órgãos públicos e podem ser usados para descrever as relações espaciais e temporais entre as forças que controlam os padrões resultantes da utilização da terra e suas alterações.

De acordo com Almeida (2003), o objetivo da modelagem não se vincula à reprodução fiel da realidade, mas somente à verificação das principais tendências e padrões que se processam no espaço, como as mudanças de cobertura da terra.

A aglomeração urbana em torno de eixos rodoviários é um fato conhecido e já estudado (HUMPHREY e SELL, 1975; LICHTER e FUGUITT, 1980; VOSS e CHI, 2006). Chein (2006) estudou a relação entre as rodovias

Tabela 5: Resultado da validação do Modelo e Parâmetros do Expander

Tamanho da janela (pixels)	Índice de similaridade <i>fuzzy</i> (%)		Parâmetros Expander
	Mínimo	Máximo	
3x3	56,27	59,97	$\mu = 0,5$ ha
5x5	61,30	64,85	$\sigma^2 = 0,5$ ha
7x7	63,95	67,02	$I = 1,0$ $\mu = 1,0$ ha
9x9	64,83	67,83	$\sigma^2 = 0,5$ ha
11x11	65,21	68,15	$I = 1,0$ $\mu = 0,1$ ha
13x13	65,42	68,71	$\sigma^2 = 2$ ha $I = 1,0$
			Vegetação arbórea para outras
			Outras para vegetação arbórea
			Outras para área construída
			I = Isometria

Belém-Teresina e a pavimentação da rodovia Cuiabá-Porto Velho, com a formação de novos aglomerados urbanos a partir de fluxos migratórios.

Em estudo realizado pela FIRJAN (2008), foi feita a aplicação das estimativas dos principais efeitos do Arco Metropolitano do Rio de Janeiro (AMRJ) sobre os municípios diretamente atravessados por ele. Os dados referentes às rodovias Rio-Santos e da Rodovia do Café foram utilizados para simulações ao caso do AMRJ, supondo a generalização dos efeitos, dadas as similaridades entre os eventos. Os resultados apontam para a necessidade de políticas de aumento da oferta de serviços de infraestrutura básica, de forma a acompanhar o aumento de demanda decorrente da maior aglomeração em torno da rodovia, tendo em vista as novas perspectivas econômicas por ela geradas, conforme discutido por Chein (2006). De outro lado, há indícios de que haja também mudanças na estrutura de mercado de trabalho dos municípios afetados diretamente por obras de infraestrutura rodoviária. As estimativas apontam uma piora nas condições de trabalho, com uma tendência à maior informalidade e restrição do aumento de ocupados na indústria, provavelmente em decorrência do crescimento maior da oferta de trabalhadores do que dos postos de trabalho gerados.

Com o modelo validado foi gerado o cenário de mudanças de cobertura da terra anual. Através do prognóstico gerado foram calculados quais as alterações realizadas em cada classe de cobertura da terra, conforme a Tabela 6.

A análise da Tabela 6 permite avaliar a origem e o destino das classes de cobertura da terra. O cenário gerado apresenta um aumento de 0,84 km² para a classe “área construída”, no período de 10 anos. Este aumento representa um total de 13,61%, enquanto a classe vegetação arbórea reduziu 1,17 km², correspondente a um total reduzido de 7,54%.

Os resultados da modelagem apontam para o crescimento dos bairros periféricos próximos ao AMRJ, principalmente o bairro Parque Barão do Amapá, e o adensamento urbano nas Chácaras Rio-Petrópolis em Duque de Caxias.

De acordo com Carneiro (2008), o principal fator limitante para a expansão do perímetro urbano para as áreas situadas no interior da bacia

Tabela 6: Área total anual por classe de cobertura da terra

Mapas simulados	Vegetação arbórea (km ²)	Área construída (km ²)	Outras (km ²)
2010	16,67	6,17	74,28
2011	16,50	6,21	74,40
2012	16,38	6,30	74,44
2013	16,26	6,39	74,47
2014	16,14	6,48	74,50
2015	16,02	6,57	74,52
2016	15,91	6,66	74,54
2017	15,80	6,75	74,56
2018	15,70	6,84	74,58
2019	15,60	6,93	74,59
2020	15,50	7,01	74,60

da Baía de Guanabara é a falta de conexões viárias e de linhas regulares de transporte de massa. A construção do AMRJ poderá mudar esta situação, que deve ser monitorada pelo poder público, a fim de que este planeje a ocupação da região, que deve se acelerar nos próximos anos.

Os grandes investimentos realizados na Região Metropolitana do Rio de Janeiro, como a Companhia Siderúrgica do Atlântico (CSA), o Complexo Petroquímico do Rio de Janeiro (COMPERJ) e o Arco Metropolitano do Rio de Janeiro, atraem grande número de pessoas devido às oportunidades de emprego. Esta situação cria um grande excedente de força de trabalho, o que mantém os salários baixos. Como consequência, há o crescimento de periferias e favelas próximas a estes núcleos urbanos.

A travessia de áreas úmidas, como as localizadas próximas a Cidade dos Meninos, representa um risco maior ao duto, aumentando a possibilidade quanto à corrosão externa e também à subsidência, principalmente em áreas de travessia de veículos. De acordo com Trench (2003), a corrosão é apontada como a segunda causa mais ocorrente de acidentes em dutos, sendo a principal, danos provocados por terceiros, como escavações e atividades agrícolas.

O planejamento das linhas dutoviárias é realizado considerando a travessia, em sua maior extensão, de áreas rurais. No entanto, o crescimento populacional e econômico faz com que estas áreas antes desocupadas passem a ser

utilizadas para uso urbano. Este crescimento populacional próximo à faixa de dutos aumenta o risco de danos ao duto e também à população que vive ou trabalha próxima a estas áreas.

6. CONCLUSÃO

A modelagem de sistemas urbanos, embora não seja uma atividade recente, ainda apresenta grandes desafios, principalmente devido à complexidade e grande quantidade de variáveis envolvidas no crescimento urbano.

O desenvolvimento desta pesquisa permitiu entender o processo de mudanças na área de estudo. Este entendimento inclui a taxa de crescimento urbano, as diferenças de crescimentos observadas entre os bairros e a configuração espacial do crescimento.

O uso de imagens orbitais de média resolução espacial, como as TM utilizadas neste trabalho, não permite a distinção de usos do solo intraurbano (residencial, comercial, industrial etc.). Mesmo para os usos referentes à expansão urbana, em que se utilizam duas classes para a simulação: urbano e não urbano, as imagens possuem certa ambiguidade nas áreas periféricas, onde alguns assentamentos são difíceis de serem classificados, por apresentarem características ora urbanas, ora rurais, gerando confusão espectral. Desta forma, o trabalho foi desenvolvido considerando apenas as classes de cobertura da terra.

Mesmo utilizando imagens TM, as técnicas de modelagem permitiram a identificação das principais tendências de ocupação e de mudanças de cobertura da terra para a área estudada, fornecendo subsídios para o monitoramento e estudo de áreas atravessadas por dutos.

O estabelecimento de normas para o uso e cobertura da terra em áreas próximas à faixa de dutos, através de planos de gerenciamento, pode orientar o desenvolvimento urbano próximo à estas áreas.

A criação, manutenção e disponibilização de um banco de dados através da internet, com informações referentes aos dutos em operação, produtos transportados e aos tipos de uso e cobertura da terra próximos às faixas de dutos também seria uma importante ferramenta para o gerenciamento de riscos e para tomadas de decisão em caso de acidentes.

A modelagem utilizada neste trabalho pode ser estendida para maiores trechos ao longo de faixas de dutos, contribuindo em seu monitoramento.

AGRADECIMENTOS

Os autores agradecem o apoio financeiro concedido pelo CENPES/PETROBRAS e ao CNPq.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ALBERTI, M.; WADDELL, P. An integrated urban development and ecological simulation model. **Integrated Assessment**, 1, p. 215 –227, 2000.

ALMEIDA, C. **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**. 351f. Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto) – Instituto de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2003.

ALMEIDA, C. M.; GLERIANI, J. M.; CASTEJON, E. F.; SOARES-FILHO, B. S. Using neural networks and cellular automata for modelling intra-urban land-use dynamics. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 22, n. 9, p. 943-963. 2008.

ANP. **Anuário estatístico brasileiro do petróleo, gás natural e biocombustíveis 2013**. Rio de Janeiro: ANP. 2013. 232 p.

BATTY, M.; XIE, Y.; SUN, Z. Modeling urban dynamics through GIS-based cellular automata. **Computers, environment and urban systems**, v. 23, n. 3, p. 205-233. 1999.

BELL, E. J.; HINOJOSA, R. C. Markov Analysis of Land-Use Change - Continuous Time and Stationary Processes. **Socio-Economic Planning Sciences**, v. 11, n. 1, p. 13-17. 1977.

BONHAM-CARTER, G. F. **Geographic information systems for geoscientists: modelling with GIS**. Ontario: Pergamon. 1994. 305 p.

BRAIL, R.; KLOSTERMAN, R. Planning

- Support Systems: Integrating Geographic Information Systems. **Models, and Visualization Tools (ESRI Press, Redlands, CA)**. 2001. 500 p.
- BRASIL. Conselho Nacional do Meio Ambiente. **Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para o Relatório de Impacto Ambiental RIMA**. Diário Oficial [da] República Federativa do Brasil, Brasília, DF, 17 fev. 1986. p. 2548 – 2549.
- BROWN, D. G.; PIJANOWSKI, B. C.; DUH, J. D. Modeling the relationship between land use and land cover on private lands in the upper Midwest, USA. **Journal of Environmental Management**, v. 59, p. 247–263. 2000.
- CÂMARA, G.; MONTEIRO, A.M.V. **Introdução à modelagem dinâmica espacial**. 2003; São José dos Campos-SP. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. CDROM.
- CARNEIRO, P. R. F. **Controle de Inundações em Bacias Metropolitanas, Considerando a Integração do Planejamento do Uso Solo à Gestão dos Recursos Hídricos. Estudo de caso: bacia dos rios Iguaçú/Sarapuí na Região Metropolitana do Rio de Janeiro**. 2008. IX, 296 p. (Doutorado em Engenharia Civil) Coordenação dos Programas de Pós-Graduação de Engenharia da Universidade Federal do Rio de Janeiro (COPPE/UFRJ), Rio de Janeiro.
- CHEIN, F. L. **Desigualdade regional, migração e custos de transporte: três ensaios sobre desenvolvimento**. 2006. 142f. Tese (Doutorado em Economia do Centro de Desenvolvimento e Planejamento Regional) – CEDEPLAR/FACE/UFMG, Belo Horizonte, 142f. 2006.
- CHOI, J. B.; GOO, B. K.; KIM, J. C.; KIM, Y. J.; KIM, W. S. Development of limit load solutions for corroded gas pipelines. **International journal of pressure vessels and piping**, v. 80, n. 2. p. 121-128. 2003.
- COSTANZA, R. Model Goodness of Fit - a Multiple Resolution Procedure. **Ecological Modelling**, v. 47, n. 3-4, p. 199-215. Sep 15, 1989.
- CPRM. **Projeto Rio de Janeiro**. Relatórios Técnicos. Brasília, CPRM - Serviço Geológico do Brasil Departamento de Recursos Minerais - DRM – RJ, 2000. 24 p.
- FERREIRA, M.V. **Análise das pressões do uso e ocupação da terra sobre o trecho da faixa de dutos Rio – Belo Horizonte**. 184 f. Dissertação (Mestrado em Geociências e Meio Ambiente) – Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Universidade Estadual Paulista, Rio Claro, 2009.
- FIRJAN. **Avaliação dos impactos logísticos e socioeconômicos da implantação do arco metropolitano do Rio de Janeiro**. Rio de Janeiro. 2008. 89 p.
- GEERTMAN, S.; STILLWELL, J. C. H. **Planning support systems in practice**. Berlin: Springer Verlag. 2002. 580 p.
- GRIFFITHS, P.; HOSTERT, P.; GRUEBNER, O.; LINDEN, S. V. D. Mapping megacity growth with multi-sensor data. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, n. 2, p. 426-439. 2010.
- HAGEN, A. Fuzzy set approach to assessing similarity of categorical maps. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 17, n. 3, p. 235-249. Apr-May, 2003.
- HUMPHREY, C. R.; SELL, R. R. The impact of controlled access highways on population growth in Pennsylvania nonmetropolitan communities, 1940-1970. **Rural Sociology**, v.40, p.332-343, 1975.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Sinopse do Censo Demográfico 2010**. Rio de Janeiro: IBGE. 2011. 261 p.
- JRC - Joint Research Centre – European Commission/Institute for Remote Sensing Applications. ESA - European Space Agency/ESRIN – Earthnet Programme Office. **Modelling Deforestation Processes – A Review**. Trees Series B: Research Report nº 1. Luxembourg: ECSC-EC-EAEC, 1994.
- LEE, D. B. Requiem for Large-Scale Models. **Journal of the American Institute of Planners**, v. 39, n. 3, p. 163-178. 1973.
- LI, X.; YEH, A. G. O. “Data mining of cellular automata’s transition rules.” **International Journal of Geographical Information Science** 18(8): 723-744, 2004.
- LICHTER, D. T.; FUGUITT, G. V. Demographic

- response to transportation innovation: The case of the interstate highway. **Social Forces**, v. 59, p. 492. 1980.
- PETROBRAS TRANSPORTE SA – Transpetro. **Relatório ambiental ORBEL I**. Rio de Janeiro. 409 p, 2006.
- SANTÉ, I.; GARCÍA, A. M.; MIRANDA, D.; CRECENTE, R. Cellular automata models for the simulation of real-world urban processes: a review and analysis. **Landscape and Urban Planning**, v. 96, n. 2, p. 108-122. 2010.
- 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, n. 3, p. 217-235. Sep 1, 2002.
- SOARES-FILHO, B., RODRIGUES, H., COSTA, W., 2009. **Modeling Environmental Dynamics with Dinamica EGO**. Centro de Sensoriamento Remoto (IGC/UFGM) - Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, MG, Brazil. Disponível em: http://www.csr.ufmg.br/dinamica/tutorial/Dinamica_EGO_guidebook.pdf (Acesso em 13/02/2014). 114 p.
- TORRENS, P.M. **How cellular models of urban systems work (1. theory)**. (CASA Working Papers 28). Centre for Advanced Spatial Analysis (UCL): London, UK, 2000. 68 p.
- TORRENS, P. M.; O’SULLIVAN, D. Cellular automata and urban simulation: where do we go from here. **Environment and Planning B: Planning and Design**, V. 28, Issue 2, pp. 163-168, 2001.
- TRENCH, C. J. The US Oil Pipeline Industry’s Safety Performance. New York: **Allegro Energy Consulting**. 2003. 39 p.
- TRENTIN, G.; FREITAS, M. I. C. Modelagem da dinâmica espacial urbana: modelo de autômato celular na simulação de cenários para o município de Americana-SP. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 62, Edição Especial n.1, p. 291-305, 2010.
- PHMSA. Office of Pipeline Safety, **Building safe communities: pipeline risk and its application to local development decisions**, 30 p. 2010. Disponível em: <http://primis.phmsa.dot.gov/comm/publications/PIPA/PIPA-PipelineRiskReport-Final-20101021.pdf> (Acesso em 11/02/2014).
- VOSS, P. R.; CHI, G. Highways and Population Change. **Rural sociology**, v. 71, n. 1, p. 33-58. 2006.
- WHITE, R.; ENGELEN G. “High-resolution integrated modelling of the spatial dynamics of urban and regional systems.” **Computers, Environment and Urban Systems** 24: 383-400, 2000
- WOLFRAM, S. Statistical-Mechanics of Cellular Automata. **Reviews of Modern Physics**, v. 55, n. 3, p. 601-644. 1983.
- WU, X. et al. Performance evaluation of the SLEUTH model in the Shenyang metropolitan area of Northeastern China. **Environmental Modeling and Assessment**, v. 14, n. 2, p. 221-230. 2009.