

Cenário de desmatamento da Bacia do Alto Paraguai (BAP) em 2022 e 2050

Talita Nogueira Terra
João dos Santos Vila da Silva

Embrapa Informática Agropecuária
Av. André Toselo, 209 - Caixa Postal 6041
13083-886 - Campinas, SP, Brasil
talitanogueiraterra@gmail.com
jvilla@cnpia.embrapa.br

Resumo: Os estudos das mudanças de paisagens comumente envolvem séries históricas que são investigadas pela técnica da sobreposição de imagens de satélite, fotos aéreas ou mapas em diferentes datas. A simulação de um estado futuro de uma paisagem é possível através da aplicação de pelo menos dois modos de análise: cadeias de Markov e cadeias de Markov acopladas a um algoritmo de autômato celular. As cadeias de Markov proporcionam uma modelagem da dinâmica da paisagem a partir de uma matriz de transição. O planejador ambiental não pode deixar de reconhecer as mudanças de uso da terra e interpretá-las, pois essas interpretações são condutoras do processo de tomada de decisão para a gestão do meio. Portanto, o objetivo deste trabalho foi simular o desmatamento da bacia do alto rio Paraguai (BAP) no cenário do ano de 2022 e de 2050, utilizando dados históricos de 1976, 1994 e 2008, com aplicação da cadeia de Markov e algoritmo de autômato celular. Segundo o resultado da simulação, em 2022, praticamente metade da BAP terá cobertura natural e 50% estará desmatada, já em 2050 apenas 36% da paisagem da BAP terá cobertura natural. Salienta-se que em 2008 41% da BAP já se encontrava sem cobertura vegetal natural, o que indica que o desmatamento está ocorrendo de forma acelerada e sem medidas efetivas de controle. Sugere-se a revisão das leis que estão aplicadas na bacia do Pantanal e a implementação de políticas voltadas à conscientização da importância da área e de sua preservação e conservação, a fim de se diminuir as taxas atuais de desmatamento.

Palavras-chaves: mudanças na paisagem, modelo de simulação, Pantanal.

Abstract: Studies of changes in landscapes usually involve time series which are worked by the technique of overlapping satellite images, aerial photos or maps at different dates. The simulation of a future state of a landscape is achieved through the application of at least two modes of analysis: Markov Change Prediction and Markov Change Prediction attached to Cellular automata. Markov Change provides a modeling of the dynamics of the landscape from a transition matrix. The environmental planner cannot fail to recognize the changes in land use and interpret them, because these interpretations are conducting the process of decision making to middle management. Therefore, the objective was to simulate the deforestation of the Upper Paraguay River Basin in the scenario of the year 2022 and 2050, thru the history data of 1976, 1994 and 2008, by the application of Markov Chain and Cellular automata-Markov Chain. According to the simulation, in 2022 almost half of the BAP will be natural cover. In 2050 only 36% of the landscape of the BAP will have natural cover. Despite that in 2008 41% of the BAP did not have natural cover, which indicates that deforestation is occurring at an accelerated and uncontrolled way. It is suggested the revision of laws that are applied in the area and implementation of policies aimed at raising awareness of the importance of the area and its preservation, in order to try to curb deforestation.

Key Words: changes in the landscape, simulation model, Pantanal.

1. Introdução

As mudanças que ocorrem nos padrões de paisagens são mais bem representadas e medidas quando espacializadas, através das técnicas de sensoriamento remoto, que oferecem dados espaciais consistentes, cobrindo grandes áreas com um adequado detalhamento espacial e temporal. De forma geral, o sensoriamento remoto pode ser utilizado como uma técnica bastante eficaz para subsidiar o estudo das mudanças tanto no espaço urbano quanto no rural ou natural. Portanto, os planejadores de paisagens vêm cada vez mais empregando o SIG como instrumento para obtenção de índices e modelagens que trabalham com uma série de dados temporais. Aliada as outras tecnologias como o GPS (Global Positioning Systems) fornece a possibilidade de criar cenários e monitorar o crescimento urbano, o espaço intra-urbano, os problemas ambientais decorrentes do processo de expansão das atividades humanas e a definição de estratégias de planejamento urbano e de políticas municipais (Lausch, 2002).

Os estudos das mudanças de paisagens comumente envolvem séries históricas que são trabalhadas pela técnica da sobreposição de imagens de satélite, fotos aéreas ou mapas em diferentes datas (Santos, 2004). Segundo Paegelow e colaboradores (2003) a simulação de um estado futuro de uma paisagem é possível através da aplicação de três modos de análise: cadeias de Markov (Usher, 1979; Acevedo et al., 1995), avaliação multicriterial (Wu & Webster, 2000) e cadeias de Markov acopladas a um algoritmo de autômato celular. As cadeias de Markov proporcionam uma modelagem da dinâmica da paisagem a partir de uma matriz de transição (Moreira, 2007). A técnica simula a predição do estado de um sistema em um determinado tempo a partir de dois estados precedentes. A transição de um estado t para outro estado em um tempo $t+1$ depende somente das probabilidades de transição e da distribuição corrente dos estados em um tempo t , sendo independente da distribuição desses estados em um tempo $t-1$ (Moreira, 2007). Cabral e Zamyatin (2009) analisaram a eficácia das cadeias de Markov no estudo da mudança do uso e ocupação da terra (LUCC - Land-Use and Land-Cover Change). Concluíram que as cadeias de Markov são boas ferramentas para descrever e projetar quantitativamente o LUCC, porém elas não relacionam a célula com a sua vizinhança no espaço. Para solucionar a individualidade das células os autores sugerem a utilização das cadeias de Markov acopladas a modelos que espacializam as células, como os autômatos celulares e

ou modelos de extrapolação linear.

No fim da década de 40 foram descritos os autômatos celulares por Jonh Von Neumann e apresentado nos trabalhos publicados por Stanislaw Ulam. Autômatos celulares são sistemas dinâmicos e discretos. São formados por um reticulado ou uma grade n-dimensional regular de finitas células vizinhas, as quais influenciam no comportamento de cada célula analisada (Vidica, 2007). No caso deste estudo a grade será 2D e as células são os pixels, sendo que cada pixel possui embutido um uso da terra específico. Os autômatos celulares serão aplicados por meio do software Idrisi Andes, o módulo ca_Markov. Ele aplica um filtro contínuo, baseado nas regras de vizinhança de Von Newman (Estman, 2003). A evolução do modelo de autômatos celulares está relacionada ao estado inicial (tempo t) de um pixel e o processo de evolução do mesmo, enquanto o estado t+1 está relacionado com a regra de transição que é atribuída a cada pixel (Toffoli & Margolus, 1987 apud Wu & Webster, 2000). As regras que determinarão o estado seguinte de uma célula serão determinísticas, ou seja, sabendo os estados dos vizinhos de uma célula, pode-se dizer com exatidão o seu próximo estado.

Em estudos de uso e ocupação da terra as análises de autômatos celulares são tratadas como um sistema composto por espaço (representado pelos pixels), tempo (representado pelas iterações do processo), estados (representados por números discretos) (Sun, 2007) e as regras de transição (representada pela análise multicriterial). A análise multicritério é uma ferramenta matemática que permite comparar diferentes cenários fundamentados em diversos critérios, sendo entendida como um processo que combina e transforma dados espaciais em uma resposta para a tomada de decisão. Portanto, permite direcionar os tomadores de decisão para uma escolha mais ponderada (Roy, 1996). As aplicações desses modelos são facilitadas devidas suas inserções na forma de módulo em SIG, como no software Idrisi Andes.

Terra (2010) simulou o uso futuro e as mudanças da cobertura da terra (2028) em uma determinada região do litoral de São Paulo (Br), a partir de mapas de uso e ocupação da terra confeccionados de imagem do satélite World View e fotos aéreas dos anos de 1962, 1980, 2001 e 2007 e análise via cadeias de Markov. De acordo com Kamusoko e colaboradores (2009), para conhecer o possível erro da simulação devem ser utilizados dois mapas de uso e ocupação da terra, confeccionados a partir de imagens de satélites, e com eles simular um “mapa futuro” já conhecido, pois assim consegue-se calibrar o modelo para as simulações futuras. A comparação dos mapas foi dada por meio da estatística Kappa, presente no pacote estatístico do software Idrisi Andes. Autômatos celulares de Markov demonstraram efetividade de 53% para o ano de 2001. Foi considerado aceitável o erro, devido a dinâmica da região ser intensa e portanto, baseado em 2001 calibrou o cenário e os autômatos celulares de Markov, de forma a simular o cenário para 2028.

O planejador ambiental não pode deixar de reconhecer as mudanças de uso da terra e interpretá-las, pois essas interpretações são condutoras do processo de tomada de decisão para a gestão do meio. Portanto, o objetivo deste trabalho foi simular o desmatamento da Bacia do Alto Paraguai no cenário do ano de 2022 e de 2050.

2. Material e Métodos

Área de estudo

A Bacia do Alto Paraguai (BAP) é compartilhada pelo Brasil, Bolívia e Paraguai, sendo

que no território brasileiro compreende uma área de 361.666km², entre latitudes S 15°30' – S 22°30' e longitudes W 54°45' – W 58°30'. A área de estudo refere-se à porção brasileira, localizada no estado do Mato Grosso e Mato Grosso do Sul e abrange duas regiões adjacentes à planície e o planalto do Pantanal (**Figura 1**). Para as análises foram utilizados três cenários de desmatamento relativos aos anos 1976, 1994 e 2008 elaborados por Silva e colaboradores (2011). Os cenários de 1976 e 1994 foram utilizados para avaliação de mudanças e o cenário de 2008 para calibração do modelo de cenário futuro (**Figura 2**).

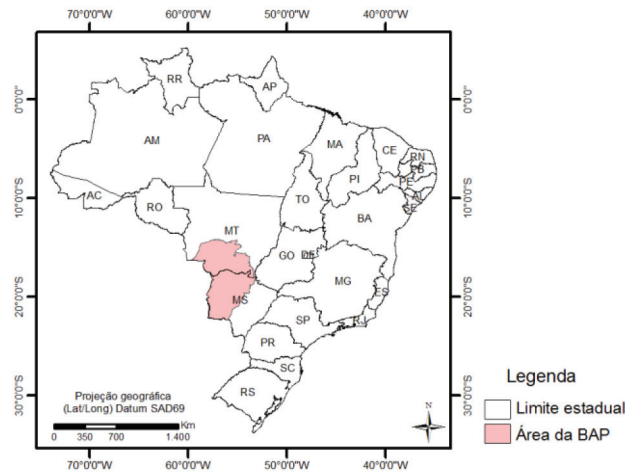


Figura 1. Localização da Bacia do Alto Paraguai.

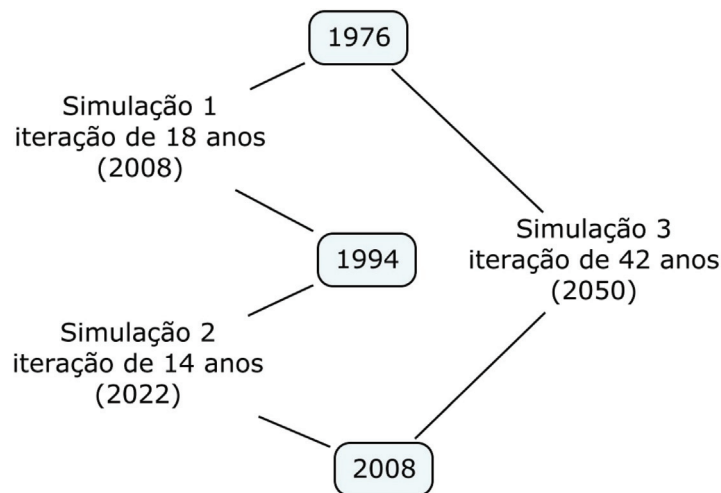


Figura 2. Diagrama explicativo das simulações.

Para simular o cenário de 2022 e posteriormente de 2050 foram utilizadas as cadeias de Markov e algoritmo de autômato celular no IDRISI Andes (conforme; Terra, 2010) aplicados aos mapas de uso e ocupação da terra no formato raster com pixel de 26mx26m. Para conhecer o provável erro desta simulação foi simulado o cenário de 2008 a partir dos cenários de 1976 e 1994. O intervalo de anos entre os dois mapas foi de 18 anos e o intervalo a ser projetado a partir do segundo mapa foi especificado em 14 anos, com um erro proporcional de 0,15, que segundo Pontius (2000) a maioria dos mapas de uso da terra possui 85% de acurácia de mapeamento, por isso 15% de erro. A coleção dos dois mapas de probabilidade gerados pelas cadeias de Markov foi inserida no módulo dos autômatos celulares acoplados nas cadeias de Markov, juntamente com o arquivo

de matriz de áreas de transição. Foi adotado que a iteração é de 14 vezes em função do ano futuro a ser simulado e foi aplicado o filtro de contigüidade do autômato celular *Standard* 5x5, que segue o filtro de Kernel. O ano simulado de 2008 foi comparado com o cenário real mapeado de 2008 através da ferramenta *Crosstab* (**Figura 3**) e a partir do índice de similaridade Kappa ele foi calibrado, sendo encontrado para tal 0,5. Este valor foi considerado aceitável, visto que a área está passando por bruscas mudanças e aparentemente sem controle.

O mesmo procedimento foi repetido para a simulação da paisagem de 2022 e 2050, porém foi utilizado como entrada os mapas datados de 1976 e 2008 e a iteração foram de 14 e 42, respectivamente.

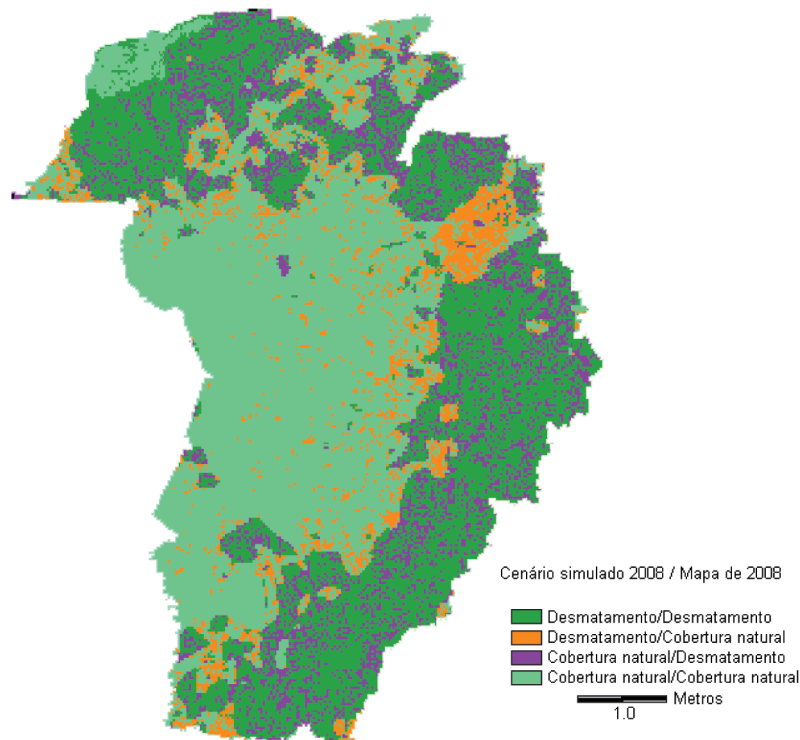


Figura 3. Cruzamento entre o cenário simulado de 2008 e o mapa de desmatamento de 2008.

3. Resultados e Discussão

Ao observar a série histórica de desmatamento da BAP, foi verificado que o desmatamento é descontrolado e aumentou significativamente de 1976 a 1994 (**Figura 4**). Esse aumento significativo de desmatamento foi um dos fatores responsáveis pela fragilidade da simulação, uma vez que a simulação consistiu na aplicação das cadeias de Markov seguida dos autômatos celulares acoplados nas cadeias de Markov. Pois, as cadeias de Markov é um sistema no qual o estado em que o sistema estará no período $n+1$ depende somente do estado em que o sistema estava no período n , ou seja, independentemente da série histórica analisada o último ano em análise, neste caso o ano de 2008, será o ano que influenciará as análises (Moreira, 2007).

Já os autômatos celulares correspondem a engenhos compostos por conjuntos de células que imprimem determinados movimentos, assemelhando-se a seres animados. Em geral, o mecanismo de autômatos celulares consiste em um arranjo n -dimensionais

de células, no qual o estado de cada célula depende de seu estado prévio e de um conjunto de regras de transição, de acordo com seu arranjo específico de uma dada vizinhança (Soares-Filho, 2004). Além disso, os autômatos celulares são alimentados das matrizes de probabilidade condicionais de cada uso da terra em análise gerados pela aplicação das cadeias de Markov. Neste estudo foram analisados dois usos da terra, o desmatamento e a cobertura natural, sendo obtido como probabilidade da área de cobertura natural ser desmatada em 2022 o valor de 35% (**Figura 5**), porém para o cenário de 2050 ela sobe para 58% (**Figura 6**). No entanto, apesar da forte pressão a região do Pantanal parece permanecer com grande parte da cobertura natural, enquanto que as regiões fronteiriças são devastadas.

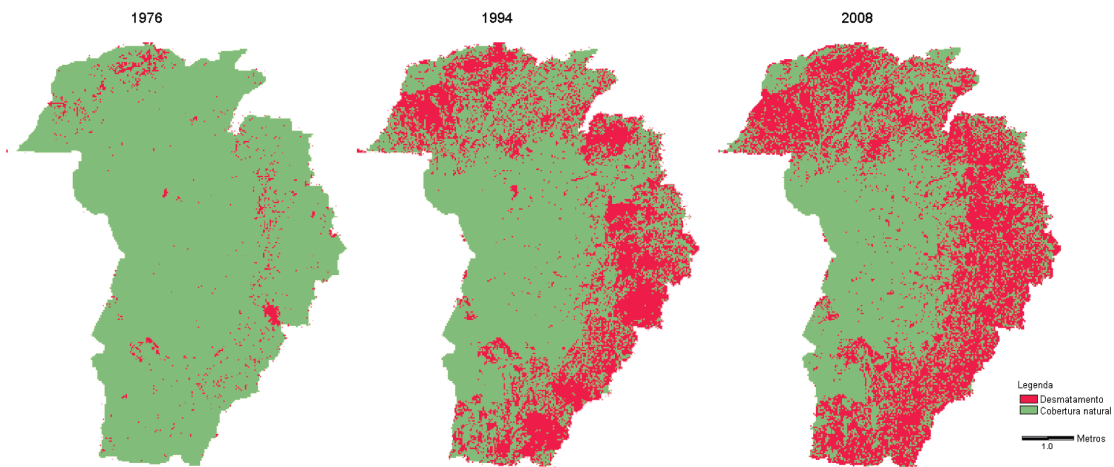


Figura 4. Distribuição espacial da cobertura natural e do desmatamento na série histórica.

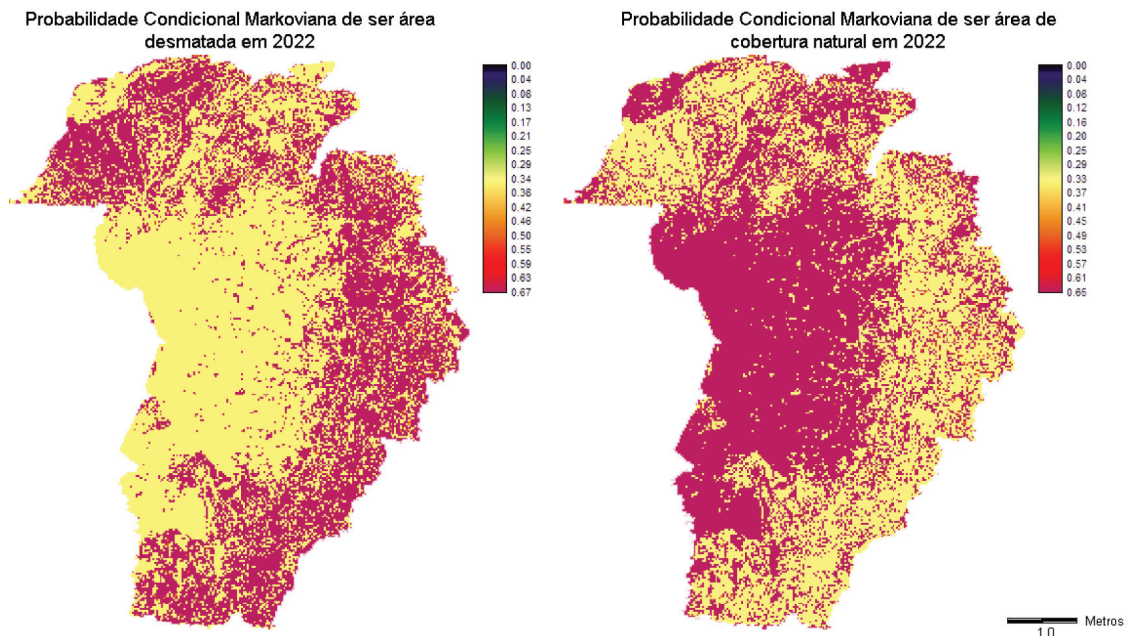


Figura 5. Probabilidades Condicionais Markovianas para a paisagem de 2022.

Segundo o resultado da simulação em 2022 praticamente metade da BAP terá cobertura natural e 50% será desmatada, já em 2050 apenas 36% da paisagem da BAP

terá cobertura natural. Já em 2008 quase que 60% da BAP possuía cobertura natural, o que indica que o desmatamento está ocorrendo de forma acelerada e descontrolada (**Figura 7**). O desmatamento influencia na percolação de água do solo, na vazão dos rios, na fauna, no regime de chuvas, no setor de serviços, entre outros. Portanto, os efeitos destes impactos não são mensuráveis, visto que eles podem ser sinérgicos ou apenas aditivos. Sinérgicos são os efeitos combinados, que interagem entre si e são maiores que a somatória dos efeitos individuais (Lein, 2003). Conforme Macdonald (2000) há relação de sinergismo até mesmo entre ações de manejo, quando um conjunto delas, em tempos sobrepostos, não resultam em respostas lineares. Para esse pesquisador o complexo aditivo é derivado de efeitos secundários ou indiretos, que não interagem entre si. Portanto, a ação de hoje influenciará na ação futura de uma forma não previsível.

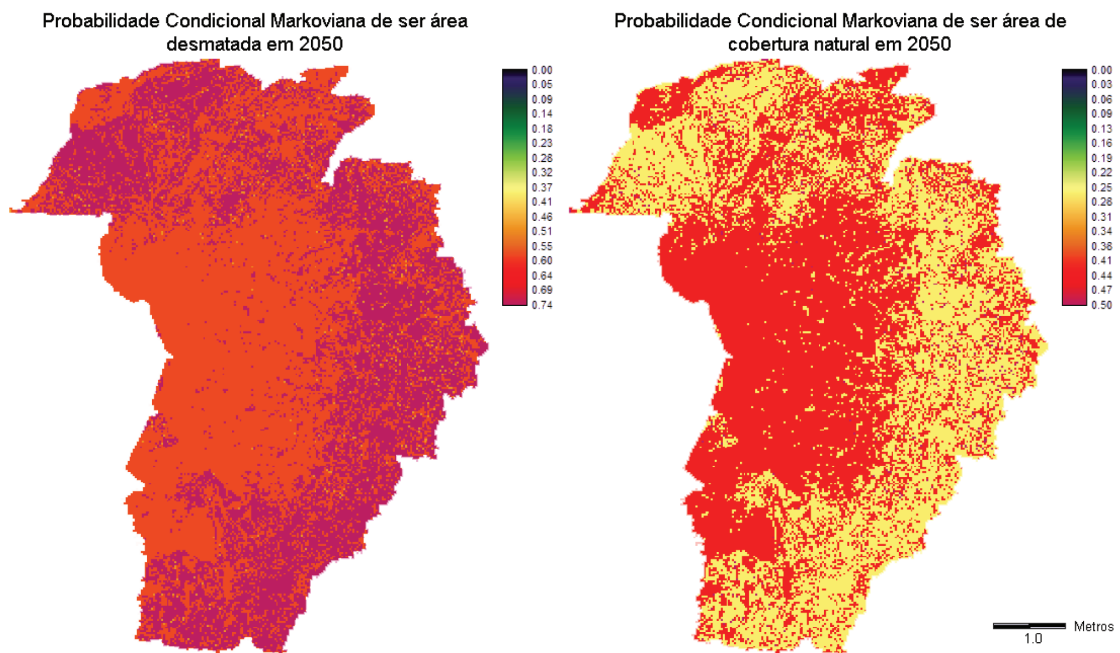


Figura 6. Probabilidades Condicionais Markovianas para a paisagem de 2050.

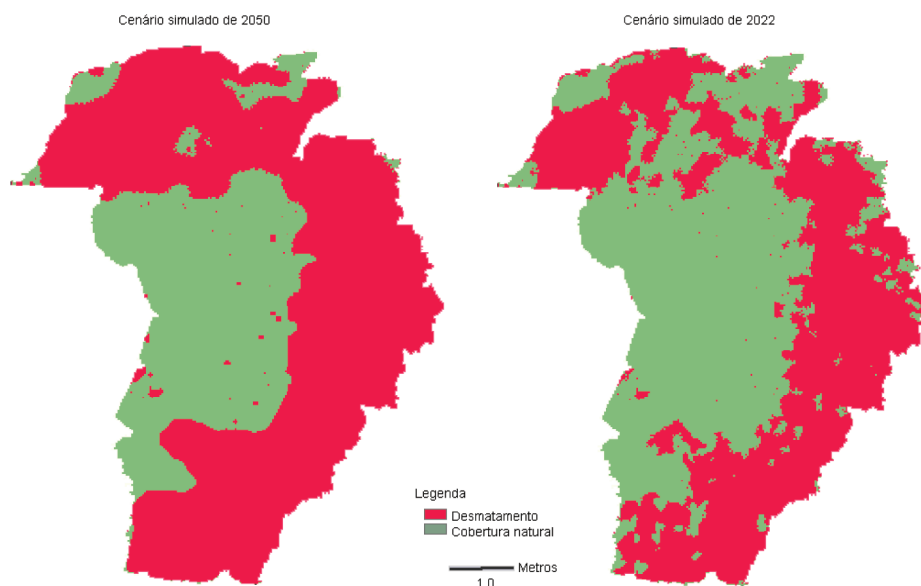


Figura 7. Cenários simulados para 2022 e para 2050.

Uma estrada aberta há maior facilidade de acesso a áreas antes não exploradas, surgem novas oportunidades de comercios, que por sua vez gera renda, movimentando a economia, passa a ser um pólo de interesse e assim é aberto um novo ciclo. Portanto, as vias de acesso e os centros urbanos são considerados fortes agentes modificadores da paisagem e estes deverão contribuir com uma simulação mais próxima do real.

Apesar das limitações da modelagem do cenário futuro, pode-se inferir que as mudanças causadas no meio pelas combinações de ações humanas ao longo do tempo serão maiores que as esperadas, portanto sugere-se a revisão das leis que estão aplicadas na área e a implementação de políticas voltadas à conscientização da importância da área e de sua preservação, a fim de se tentar frear o desmatamento.

4. Conclusões e Sugestões

Os mapeamentos evidenciaram que a cobertura natural restante ficará praticamente restrita ao Pantanal, enquanto que as pressões de uso vêm se movendo do oriente para o ocidente da região. Aparentemente não há medidas que incentivem a conservação da área, pois o observado é que a relação entre mudanças voltadas à conservação e mudanças voltadas ao uso antrópico sempre privilegiaram o denominador nos anos analisados, independentemente da área. Logo, é sugerido a implementação de políticas voltadas à conscientização da importância da área e de sua preservação, a fim de se tentar frear o desmatamento.

5. Referências

- Acevedo, M.F. **Transition and gap models of forest dynamics**. Ecological applications, v.5, n.4, p.1040-1055, 1995.
- Cabral, P.; Zamyatin, A. **Markov processes in modeling land use and land cover changes in Sintra-Cascais, Portugal**. Dyna, n. 158, p.191-198. Medellín, 2009.
- Eastman, J.R. **Guide to Gis and Image Processing**. Clark University, Worcester, A, USA, 328p. 2003.
- Lausch, A. **Integration of Spatio-Temporal Landscape Analysis in Model Approaches**. - In: Helming, K., Wiggering, H. (Eds.): Sustainable Development of Multifunctional Landscapes. Springer, p.111-123, 2002.
- Lein, J.K. **Applying evidential reasoning methods to agricultural land cover classification**. International Journal of Remote Sensing, v.24, n.21, p.4161-4180, 2003.
- Macdonald, L.H. **Evaluating and Managing Cumulative Effects: Process and Constraints**. Environmental Management, v.26, n.3, p.299-315, 2000.
- Moreira, D.A. **Pesquisa Operacional - Curso Introdutório**. Thomson, 23x16x2, e.1, 356p, 2007.
- Pontius, R.G. Jr. **Quantification error versus location error in comparison of categorical maps**. Photogramm Eng Remote Sensing v.66, p.1011-1016, 2000.
- Santos, R.F. **Planejamento ambiental - teoria e prática**. São Paulo: Oficina de Texto, 2004.
- Saaty, T.L.; Vargas, L.G.. Prediction, Projection and Forecasting. Kluwer Academic Publishers, Dordrecht, 251p, 1991.
- Silva, J.dos S.V.; Abdon, M.M.; Silva, S.M.A.; Moraes, J.A. **Evolution of deforestation in the Brazilian Pantanal and surroundings in the timeframe 1976 – 2008**. Geografia, Rio Claro, v. 36, Número Especial, p.35-55, 2011.
- Soares-Filho, B.S.; Cerqueira, G.C.; Araújo, W.L.; Voll, E. **Modelagem de Dinâmica de Paisagem: Concepção e Potencial de Aplicação de Modelos de Simulação baseados em Autômato Celular**. In: Ferramentas para modelagem da distribuição de espécies em ambientes tropicais. Albernaz A.L., Silva

J.M.C. da, Valeriano, D.(editores) Editora Museu Paraense Emílio Goeldi, 2004.

Terra, Talita Nogueira. **Efeitos cumulativos e a construção de cenários em paisagens legalmente protegidas**. Dissertação (Mestrado). Campinas: Faculdade de Engenharia Civil, Arquitetura e Urbanismo – UNICAMP, 121p, 2010.

Toffoli, T.; Margolus, N. **Cellular Automata Machines**. Cambridge, MA: MIT Press, 1987.

Usher, M.B. **Markovian Approaches to Ecological Sucession**. Journal of Animal Ecology, v.48, p.413-426, 1979.

Vidica, P.M. **Novas abordagens na evolução de autômatos celulares aplicados ao escalonamento de tarefas em multiprocessadores**. 236f: il. 2007. Dissertação (mestrado em Ciências da Computação) - Universidade Federal de Uberlândia. 2007.

Wu, F.; Webster, C.J. **Simulating artificial cities in a GIS environment: urban growth under alternative regulation regimes**. Int. J. Geographical Information Science, v.14, n.7, p.625-648, 2000.