



**Explorando Causas Próximas dos Padrões de Uso e Cobertura da Terra na Região Metropolitana de Santarém – PA**

**Exploring Proximate Causes of Land Use and Land Cover Patterns in Santarém Metropolitan Region – PA**

Jéssica Ariana de Jesus Corrêa<sup>1</sup> & Julio Tota da Silva<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Universidade Federal do Oeste do Pará, Programa de Pós-Graduação em Sociedade, Natureza e Desenvolvimento, Av. Mendonça Furtado 2.946, 68040-470, Santarém, PA, Brasil

<sup>2</sup>Universidade Federal do Oeste do Pará, Instituto de Engenharia e Geociências, Rua Vera Paz s/n, Unidade Tapajós, 68040-255, Santarém, PA, Brasil  
Emails: [jehssicorrea@yahoo.com.br](mailto:jehssicorrea@yahoo.com.br); [totaju@gmail.com](mailto:totaju@gmail.com)

DOI: [http://doi.org/10.11137/2020\\_2\\_277\\_288](http://doi.org/10.11137/2020_2_277_288); Recebido: 28/11/2019 Aceito: 22/04/2020

**Resumo**

Este estudo explora os fatores determinantes do padrão de uso e cobertura da terra na Região Metropolitana de Santarém (RMS), no estado do Pará. A análise empírica foi baseada na regressão logística para verificar as relações que levam em consideração explicitamente as interações espaciais das causas fundamentais do padrão espacial. Um banco de dados contendo as classes “urbano”, “floresta primária”, “vegetação secundária”, “agricultura”, “pastagem”, e os fatores determinantes precipitação pluvial do trimestre chuvoso, precipitação pluvial do trimestre seco, altitude, declividade, temperatura de superfície do trimestre mais seco, distância a rodovias, distância a núcleos urbanos, presença de estradas, presença de corpos d’água, população por distrito, presença de projeto de assentamentos e presença de áreas protegidas, foram compilados em uma grade regular de 1 km x 1 km. Apesar do crescimento de 52,58 km<sup>2</sup> e 420, 98 km<sup>2</sup> das classes “urbano” e “agricultura”, respectivamente, no período analisado, a classe dominante na área de estudo pertence à “floresta primária” com aproximadamente 17.000 km<sup>2</sup>. Os padrões de “agricultura”, “pastagem”, “urbano” e “vegetação secundária” podem ser explicados principalmente pela presença de estradas. Enquanto os fatores biofísicos como a declividade assim como políticos como unidades de conservação têm uma influência importante nos padrões de floresta primária. Mais notavelmente, verificou-se que unidades de conservação atuaram como bloqueadores para o avanço da agricultura mecanizada. Por fim, os resultados mostraram empiricamente os efeitos dos fatores determinantes sobre os padrões, os quais podem ser utilizados no desenvolvimento de modelos integrados de mudança de uso da terra para geração de cenários futuros na região do estudo.

**Palavras-chave:** Uso e cobertura da terra; forças fundamentais; Amazônia

**Abstract**

This study explores the determinants factors of land use and land cover pattern in the Metropolitan Region of Santarém (RMS). The empirical analysis was based on logistic regression to verify relationships that explicitly take into account the spatial interactions of the fundamental causes of the spatial pattern. A database containing the urban, primary forest, secondary vegetation, agriculture, pasture classes, and the determinants precipitation of rainy quarter, precipitation of dry quarter, elevation, slope, surface temperature of driest quarter, distance to highways, distance to urban centers, presence of roads, presence of water bodies, population by district, presence of settlement and presence of protected areas, were compiled in a regular grid of 1 km x 1 km. Despite the growth of 52.58 km<sup>2</sup> and 420.98 km<sup>2</sup> of the “urban” and “agriculture” classes, respectively, in the analyzed period, the dominant class in the study area belongs to the “primary forest” with approximately 17,000 km<sup>2</sup>. The patterns of agriculture, pasture, urban and secondary vegetation can be explained mainly by the presence of roads. While biophysical factors such as slope as well as political as conservation units have an important influence on primary forest patterns. Most notably, conservation units have been found to act as blockers for the advance of mechanized agriculture. Finally, the results showed empirically the effects of the determining factors on patterns, which can be used in the development of integrated land use change models for future scenario generation in study region.

**Keywords:** land use and land cover; fundamental causes; Amazonian

## 1 Introdução

A configuração espacial do uso e cobertura da terra (Land Use and Cover - LUC) é um determinante importante de muitos processos ecológicos tais como persistência populacional de espécies, fluxos de nutrientes e interações entre espécies, assim como de processos socioeconômicos como ocupação do território, migração populacional e intensificação de atividades agrícolas. LUC representa os elementos integrantes do sistema terrestre por se tratar tanto dos atributos da superfície como das suas formas de uso (Lambin *et al.*, 2001).

Os padrões emergentes visíveis na paisagem denotam os processos de transformação gerados pelas mudanças no uso e cobertura da terra (Verburg *et al.*, 2004). Essas mudanças são estimuladas ou limitadas pelas interações de fatores, denominados de fatores determinantes ou forças motrizes (*driving forces*) (Lesschen *et al.*, 2005; Geist *et al.*, 2006; Meyfroidt *et al.*, 2013).

Estudos empíricos se concentraram em fatores determinantes para explicar desmatamento, crescimento urbano, expansão agrícola e outros tipos de LUC. Normalmente se fundamentaram em dois grupos amplos de fatores, ou seja, as causas próximas e subjacentes. Os fatores próximos explicam a ação direta que afetam o uso da terra, por exemplo extração de madeira ou construção de estradas (Geist & Lambin, 2002). Subjacentes são as “forças fundamentais” que sustentam o efeito de fatores próximos sobre o uso de recursos naturais tais como mudanças demográficas, econômicas, políticas e tecnológicas (Geist *et al.*, 2006).

Embora tenha sido estabelecido um *framework* (Geist & Lambin, 2002; Lambin *et al.*, 2003) dos processos que influenciam os padrões de desmatamento e outros tipos de usos e coberturas da terra por meio de estruturas que levam em consideração várias forças impulsionadoras como biofísicas, econômicas, demográficas, políticas e tecnológicas, a composição desses fatores diferem de um local para outro pois as causas de mudanças e padrões LUC são complexas e mudam de região para região e ao longo do tempo. Assim, características culturais, socioeconômicas e biofísicas que conduzem a um determinado padrão LUC em um local poderá não conduzir em outro.

Alguns fatores como declividade, elevação, proximidade a mercados e crescimento populacional

foram utilizados como variáveis explicativas para o padrão de mudanças de uso e cobertura da terra em diferentes regiões, escalas de análises e diferentes usos (Aguiar *et al.*, 2007; Silva *et al.*, 2016; Silva & Li, 2017). Aguiar *et al.* (2007) e de Espindola *et al.* (2012) analisaram determinantes biofísicos, acessibilidade, econômicos e políticos como potenciais fatores do padrão de desmatamento, pastagem, agricultura temporária e permanente na Amazônia. Contudo, entendendo que a região é composta por uma heterogeneidade de espaços/tempos, com velocidades de transformação e padrões distintos (Becker, 2005), análises que considerem as diferenças locais e regionais são requeridas.

Na região Oeste do Pará rápidas e expressivas transformações têm ocorrido no uso e cobertura da terra, principalmente para sistemas antrópicos. Dentro desse recorte espacial a Região Metropolitana de Santarém (RMS) configura-se com mudanças e novo padrão de paisagem, particularmente a partir da entrada da soja no final da década de 1990 (Gomes *et al.*, 2017). Nesse contexto, analisar as variáveis que conduziram ao padrão de uso e cobertura da terra em um determinado momento, que reflete o resultado de uma longa história de mudanças, pode ser utilizado para avaliar e discutir práticas de planejamento do uso da terra, bem como o desenvolvimento de modelos de mudanças na região. Assim, o objetivo deste trabalho consistiu em verificar a relação dos fatores determinantes dos padrões espaciais de uso e cobertura da terra em um período que captasse as mudanças ocorridas na Região Metropolitana de Santarém - PA a partir do crescimento de áreas plantadas de soja até o mais próximo do momento atual. Devido à disponibilidade de dados oficiais e de qualidade analisou-se os anos de 2004 e 2014.

## 2 Material e Métodos

### 2.1 Área de Estudo

A RMS está localizada no Oeste do Pará, sendo formada pelos municípios de Belterra, Mojuí dos Campos e Santarém (Figura 1), totalizando uma área de 27.285,05 km<sup>2</sup> e população estimada de 338.405 habitantes para o ano de 2019 (IBGE, 2020), sendo o município de Santarém o segundo maior aglomerado urbano do Pará.

Os municípios que compõem a RMS estão na área de influência da BR – 163 (Rodovia Santarém –

Cuiabá), que tem importância estratégica na região, pois permite o escoamento da produção de grãos do Mato Grosso até o porto graneleiro em Santarém e Mirirituba em Itaituba. Como consequência da produção em larga escala de grãos e da pavimentação da rodovia, a região do seu entorno vem sofrendo uma grande pressão antrópica, ocasionando

mudanças de cobertura e uso da terra (Almeida & Almeida, 2015). Dessa forma, a RMS abrange em sua configuração espacial um mosaico heterogêneo de paisagens, apresentando área antropizadas e naturais, tais como unidades de conservação, áreas urbanizadas e áreas agrícolas.

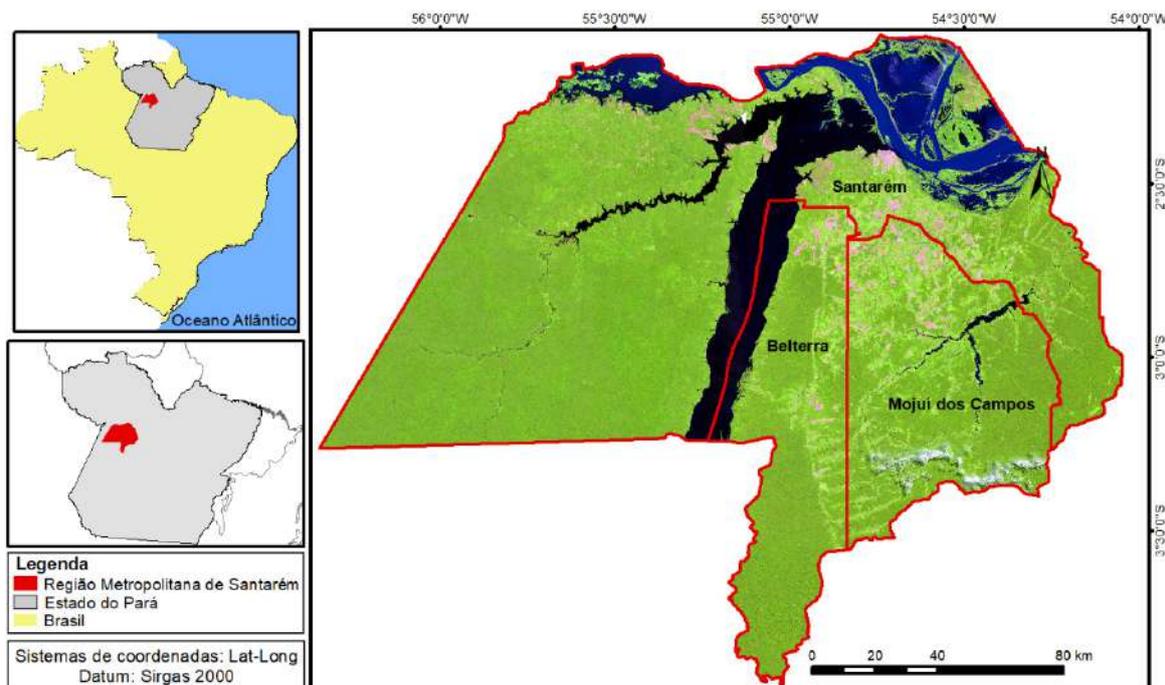


Figura 1 Localização da área de estudo.

## 2.2 Dados

Nesse estudo foram utilizados dados de 2004 e 2014 de uso e cobertura da terra elaborados no âmbito do projeto TerraClass para a Amazônia Legal (Almeida *et al.*, 2016). O TerraClass é um projeto de longo prazo que usa uma combinação de dados vetoriais de desmatamento do PRODES e imagens orbitais de satélite (Landsat-5 / TM, MODIS e SPOT-5) que são classificadas usando técnicas visuais e semi-automáticas em 15 classes diferentes.

Com base na legenda original, e nas classes existentes na área de estudo, reclassificou-se, utilizando o software QGIS 2.18.13, as classes “pastagem cultivada arbustiva” e “pastagem cultivada herbácea” em “Pastagem”. Área não observada e outros foram reclassificadas para a classe “Outros”. A classe “cultura agrícola temporária” foi renomeada para “Agricultura” e “área urbanizada” para “Urbano”. As demais classes presentes no período analisado permaneceram da mesma forma que na legenda original, ou seja,

“Floresta primária”, “Vegetação secundária”, “*Não floresta*”, “Desflorestamento” e “Corpos d’água”. A **análise empírica** foi composta por 5 classes de uso e cobertura da terra, conforme Tabela 1.

Fatores determinantes como potenciais para explicar o padrão de uso e cobertura da terra foram selecionados mediante revisão de literatura (Aguar *et al.*, 2007; Rivero *et al.*, 2009; de Espindola *et al.*, 2012) e disponibilidade de dados oficiais e de qualidade. Foi composto um banco de dados contendo 12 variáveis explicativas subdivididas em três categorias de fatores subjacentes (Tabela 1). A análise de dados é do tipo *cross-section* (um ponto no tempo), por isso as variáveis explicativas foram coletadas em anos próximos dos dados de uso e cobertura com a finalidade de captar as relações do período, por exemplo dados do censo 2000 foram utilizados para as classes de 2004, dados do censo de 2010 utilizados para 2014. Dados que não possuem disponibilidade temporal foram utilizados nos dois anos de análise, como por exemplo, rodovias e unidades de conservação.

Variáveis	Tipo de dado	Ano	Fonte
<b>Uso e Cobertura</b>			
Presença de Agricultura	Binário (0-1)	2004	EMBRAPA/ INPE
Presença de Pastagem		-	
Presença de Urbano		2014	
Presença de Vegetação Secundária			
Presença de Floresta primária			
<b>Biofísicos</b>			
Precipitação pluvial acumulada média do trimestre chuvoso	Contínuo (mm)	1990-2014	CHIRPS
Precipitação acumulada média do trimestre seco	Contínuo (mm)	1990-2014	
Altitude	Contínuo (m)	-	Topodata
Declividade	Classes	-	
Temperatura de superfície média do trimestre mais seco	Contínuo (°C)	2000-2004	MODIS
		2010-2014	
<b>Socioeconômicos</b>			
Distância a Rodovias	Contínuo (km)	-	DNIT
Distância a Núcleos urbanos	Contínuo (km)	-	IBGE
Presença de Estradas	Binário (0-1)	-	SEMMAS/PA
Presença de Corpos d'água	Binário (0-1)	-	IBGE
População por distrito	n° de pessoas	2000	
		2010	
<b>Políticos</b>			
Presença de Áreas protegidas	Binário (0-1)	-	MMA
Presença de Projeto de assentamentos	Binário (0-1)	Até 2006	INCRA

Tabela 1 Sumário dos dados usados na análise.

### 2.2.1 Métodos

A análise do padrão consistiu no uso da métrica de paisagem presença de classe. Essa métrica caracteriza diferentes composições de paisagem, mas sem ser espacialmente explícito, ou seja, engloba a variedade de manchas dentro de uma paisagem (McGarigal & Marks, 1995), caracterizando apenas se ela existe ou não no mosaico. Utilizando o conceito de mancha (áreas homogêneas não lineares de variados tamanhos e formas), utiliza-se as classes de uso e cobertura da terra como sendo o elemento que será aplicado a métrica de presença. Assim, cada

classe de uso e cobertura foi organizada com atributo presença em uma grade regular na menor unidade que representasse o nível de detalhes dos padrões de cada classe levando em consideração a extensão da área de estudo. Dessa forma, estabeleceu-se uma grade de tamanho de 1 km × 1 km, denominada de espaço celular, totalizando 27.841 células em toda a extensão da RMS.

As demais variáveis foram inseridas no espaço celular com os seguintes operadores: valor médio para precipitação, temperatura de superfície, declividade e altitude; distância euclidiana para

rodovias e núcleos urbanos; presença para áreas protegidas, assentamentos, corpos d'água e estradas; e soma pela área para a população do distrito. O preenchimento do espaço celular foi utilizando os operadores do Plugin FillCell (TerraME) (Andrade & Avancini, 2017).

A relação entre o padrão de cada classe e os fatores determinantes foi testada usando a análise de regressão logística no programa estatístico GRET (GNU Regression Econometrics Time-Series Library). A variável dependente neste tipo de análise deve ser categórica, nesse estudo mais precisamente é um evento dicotômico de presença ou ausência do tipo binária das variáveis de uso e cobertura da terra, em que presença assume o valor 1 (um) se o evento de interesse ocorre ou 0 (zero) em caso contrário (Fávero *et al.*, 2009).

A função logística, conforme Equação 1, fornece os valores de probabilidade que podem ser expressos quantitativamente como uma função das variáveis explicativas.

$$f(Z) = \frac{1}{1+e^{-Z}} \quad (1)$$

$$Z = \ln\left(\frac{p}{1-p}\right) = \alpha + \beta_1 X_1 + \beta_2 X_2 + \dots + \beta_k X_k \quad (2)$$

Em que  $p$  indica a probabilidade de ocorrência do evento de interesse,  $X$  representa o vetor de variáveis explicativas (ou independentes) e  $\alpha$  e  $\beta$  os parâmetros do modelo. O termo  $\ln\left(\frac{p}{1-p}\right)$  é chamado de logit e o termo  $\frac{p}{1-p}$  representa a chance (odds) de ocorrência do evento.

Odds ratio (OR) foram usados para facilitar as interpretações do modelo. A razão de chances  $[\exp(\beta)]$ , expressão traduzida de OR, pode ser interpretada como a mudança nas chances para o evento considerado com o aumento no fator correspondente. Assim, valores menores do que 1 de OR indicam menos chances de ocorrer o padrão, enquanto valores acima de 1 indicam mais chances (Verburg *et al.*, 2004).

### 3 Resultados e Discussão

#### 3.1 Dinâmica do uso e cobertura da terra em 2004 e 2014

Na área de estudo, a Floresta primária aparece como a principal classe dominante de LUC com 17.570,50 km<sup>2</sup> (2004) e 17.031,50 (2014) (Tabela 2). Já a vegetação secundária é uma classe dinâmica, pois ela participa de algumas transições de usos com a pastagem e áreas desmatadas, tendo no período de análise um crescimento de 1.153,6 km<sup>2</sup>. O crescimento de 420,98 km<sup>2</sup> de agricultura se deve expansão do agronegócio de grãos, principalmente a soja. De acordo com Gomes *et al.* (2017) introdução da soja ressignificou o padrão tradicional de ocupação territorial. Além disso, propiciou a implosão dos espaços consolidados conforme pode ser observado no crescimento de áreas construídas na região de 51,95 km<sup>2</sup> em 2004 para 104,53 km<sup>2</sup> em 2014.

Classes	Área 2004 (km <sup>2</sup> )	Área 2014 (km <sup>2</sup> )
Agricultura	118,25	539,23
Áreas não observadas (nuvens)	1.399,76	230,45
Urbano	51,95	104,53
Desflorestamento	109,21	11,29
Floresta primária	17.570,50	17.031,50
Corpos d'água	4.636,81	4.636,81
Não floresta	849,42	849,42
Pastagem	1.451,16	1.630,26
Vegetação Secundária	1.653,93	2.807,53
Total	27.840,99	27.841,02

Tabela 2 Dinâmica de uso e cobertura da terra em 2004 e 2014.

#### 3.2 Padrão espacial e fatores determinantes da presença das classes de uso e cobertura da terra

O padrão da distribuição espacial de células com presença de agricultura é bem localizado na região conhecida por Planalto Santareno (Figura 2). Os processos que levaram as mudanças de uso e cobertura culminaram com a expansão de áreas de agricultura temporária conforme observado o crescimento na Tabela 2, especialmente para

agricultura mecanizada com plantações de soja.

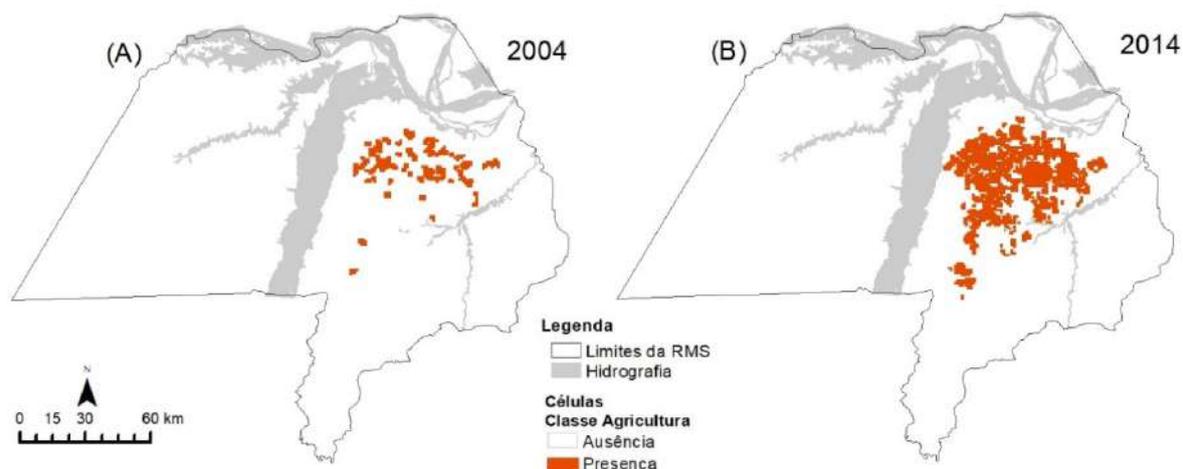


Figura 2 Células com presença de agricultura; A. 2004; B. 2014.

Os coeficientes para o padrão de agricultura indicaram que unidades de conservação funcionaram como uma barreira para a sua expansão (Tabela 3). À medida que a área de agricultura crescia a presença deste uso em células com presença de área de conservação ficava menos provável com 0,07 chances de ocorrer em 2014. Verificou-se também que a presença de estradas atua como um facilitador de acessibilidade as áreas com plantações de agricultura, embora tenha diminuído as chances de 2,66 em 2004 para 1,90 em 2014, sua influência continua sendo relevante para a presença de agricultura. Agricultura, principalmente a produção da soja, estimula a implantação de projetos de acessibilidade especialmente as de transporte para

o escoamento da produção como pavimentação de estradas e rodovias, instalação de hidrovias e ferrovias (Silva *et al.*, 2013).

A temperatura de superfície apresentou efeito crescente sobre as chances de se ter agricultura em áreas com maiores temperaturas, isto é, para cada aumento de 1 unidade na temperatura as chances aumentaram em 2,8 em 2004 e 2,7 em 2014. O crescimento de áreas urbanas e o uso do solo por parte da agricultura modificam as características do clima local alterando os padrões e a magnitude da interação entre a radiação proveniente do Sol e o solo e, conseqüentemente, os processos de troca de energia no sistema solo-planta-atmosfera (Gartland, 2008).

	2004		2014	
Agricultura	Coeficientes ( $\beta$ )	exp ( $\beta$ )	Coeficientes ( $\beta$ )	exp ( $\beta$ )
altitude	0,0427	1,0436	0,0192	1,0194
declividade	0,3774	1,4585	-0,1585*	0,8534
temperatura de superfície trimestre seco	1,0267	2,7918	0,9833	2,6733
distância a núcleos urbanos	-1,62E-06*	0,9999	-0,0001	0,9999
distância a rodovias	-7,68E-05	0,9999	-0,0001	0,9999
número de pessoas por distrito	0,0124	1,0125	0,0045	1,0045
presença de estradas	0,9804	2,6655	0,6461	1,9081
presenças de corpos d'água	0,5985*	1,8194	-1,3220	0,2666
presença de unidades de conservação	-	-	-2,5304	0,0796
precipitação pluvial trimestre chuvoso	-0,0483	0,9528	0,0171	1,0172
precipitação pluvial trimestre seco	-0,0046	0,9954	-0,0117	0,9883
presença de assentamentos	-	-	-1,5308	0,2164
constante	-29,4658		-22,4157	
pseudo-R <sup>2</sup>	0,5189		0,6716	

\* não significativo em  $p < 0,05$ .

Tabela 3 Estimativas binárias para o padrão de agricultura [valores exp ( $\beta$ )].

As áreas de pastagens aparecem concentradas em regiões próximas a estradas e corpos d'água (Figura 3). Na área de estudo, especificamente, as concentrações e o crescimento de regiões de

pastagens plantadas estão próximos as estradas e à rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém), enquanto que os naturais estão próximos a áreas de várzea.

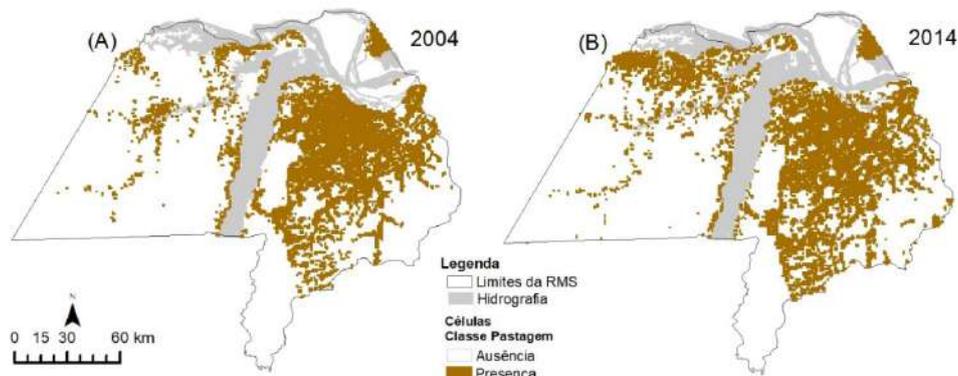


Figura 3 Células com presença de pastagem; A. 2004; B. 2014.

O padrão histórico de uso e cobertura da terra na RMS pode, em parte, ser explicado pela acessibilidade e variáveis biofísicas, principalmente quando se trata da agricultura e pastagem. As chances da presença de pastagem estiveram associadas a 5,92 em 2004 e 5,70 em 2014 à presença de estradas, e à declividade da região com 3,55 em 2004 e 2,20

em 2014 (Tabela 4). Determinantes das pastagens como estradas e outras variáveis de acessibilidade são similares aos determinantes do desmatamento (Rivero *et al.*, 2009; de Espindola *et al.*, 2012). Áreas de pastagens na Amazônia têm alta correlação com o desmatamento onde ocupam uma média de 62,1% de áreas desflorestadas (Almeida *et al.*, 2016).

Pastagem	2004		2014	
	Coefficientes ( $\beta$ )	exp ( $\beta$ )	Coefficientes ( $\beta$ )	exp ( $\beta$ )
altitude	-0,0048	0,9952	-0,0111	0,9889
declividade	1,2695	3,5589	0,7926	2,2090
temperatura de superfície trimestre seco	0,7807	2,1829	0,6256	1,8693
distância a núcleos urbanos	-2,02E-05	0,99998	-2,03E-05	0,99998
distância a rodovias	-2,21E-05	0,99998	-2,94E-05	0,99997
número de pessoas por distrito	0,0655	1,0677	0,0424	1,0433
presença de estradas	1,7789	5,9233	1,7411	5,7034
presenças de corpos d'água	-0,3624	0,6960	-0,5498	0,5771
presença de unidades de conservação	0,4423	1,5563	0,3564	1,4282
precipitação pluvial trimestre chuvoso	-0,0001*	0,9999	0,0125	1,0126
precipitação pluvial trimestre seco	-0,0068	0,9932	-0,0042	0,9958
presença de assentamentos	0,2262	1,2538	0,6734	1,9610
constante	-19,6322		-17,5678	
pseudo-R <sup>2</sup>	0,4193		0,4067	

\* não significativo em  $p < 0,05$ .

Tabela 4 Estimativas binárias para o padrão de Pastagem [valores exp ( $\beta$ )].

A partir do processo de mudanças resultante da entrada da soja a dinâmica territorial se alterou na RMS, entre os quais se pode citar a migração populacional para os núcleos urbanos (Gomes *et al.*, 2017) que, além de aumentar a densidade

populacional, ocasionou a expansão da área urbana e de pequenos núcleos populacionais em que se verificou crescimento de 51,95 km<sup>2</sup> para 104,53 km<sup>2</sup>, principalmente no município de Santarém (Figura 4).

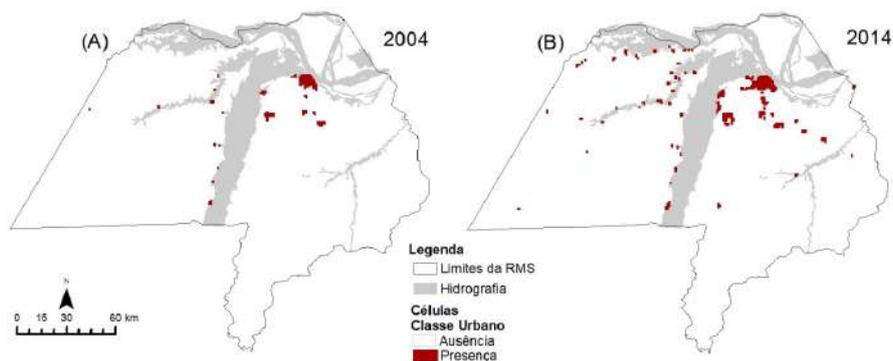


Figura 4 Células com presença da classe urbano; A. 2004; B. 2014.

Os principais fatores para o padrão urbano são a presença de estradas, presença de corpos d’água e temperatura de superfície (Tabela 5). O padrão urbano não foi bem relacionado com as variáveis utilizadas sendo muitas não significativas (precipitação do trimestre seco, assentamento e declividade) ou com magnitude de efeito baixo (altitude, declividade, distância a núcleos urbanos e precipitação pluvial no trimestre chuvoso) (Tabela 5). Apesar desses fatores mencionados contribuírem para as mudanças na conversão de outras classes para o uso urbano a longo prazo, elementos importantes não foram testados nesse trabalho, como crescimento da população urbana, infraestruturas, serviços básicos de saúde, acesso à educação, que são determinantes na localização do padrão, como por exemplo, para

usos residencial/comercial, que são subclasses da urbanização (Amaral *et al.*, 2013).

A presença da vegetação secundária aparece distribuída ao longo da área de estudo (Figura 5). Vale ressaltar que em 2004 houve a presença acentuada de nuvens, resultado este identificado na classe nuvens com 1.399,76 km<sup>2</sup> (Tabela 2) que fez apresentar uma diferença no padrão da vegetação secundária entre um ano e outro na região noroeste da RMS. Apesar disso, houve uma tendência de crescimento da vegetação secundária, evidenciado em outras pesquisas (Souza *et al.*, 2015), em função do sistema produtivo tradicional baseado, em grande parte, no sistema de corte, queima e pousio apresentando, assim, um dinamismo dessa classe na área de estudo.

Urbano	2004		2014	
	Coefficientes (β)	exp (β)	Coefficientes (β)	exp (β)
altitude	-0,0034*	0,9966	-0,0079	0,9922
declividade	-0,4352*	0,6471	-0,3887	0,6779
temperatura de superfície trimestre seco	0,7268	2,0684	0,3346	1,3974
distância a núcleos urbanos	-1,00E-04	0,9999	-6,34E-05	0,9999
distância a rodovias	3,96E-05	1,00001	-5,471E-06*	0,9999
número de pessoas por distrito	0,017	1,0172	-0,0099*	0,9901
presença de estradas	3,162	23,6185	3,1220	22,6917
presenças de corpos d’água	1,6536	5,2258	1,4253	4,1590
presença de unidades de conservação	1,8641	6,45	1,3013	3,6742
precipitação pluvial trimestre chuvoso	-0,0994	0,9053	-0,0568	0,9448
precipitação pluvial trimestre seco	0,0029	1,0029	0,0014*	1,0014
presença de assentamentos	-	-	0,1461*	1,1574
constante	-19,8072		-9,1293	
pseudo-R <sup>2</sup>	0,4777		0,3646	

\* não significativo em  $p < 0,05$ .

Tabela 5 Estimativas binárias para o padrão Urbano [valores exp (β)].

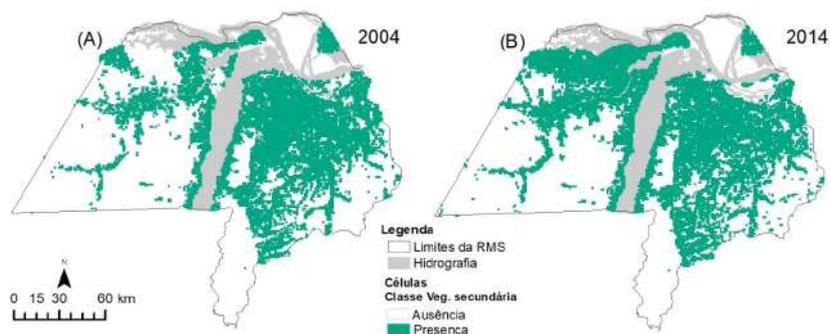


Figura 5 Células com presença de vegetação secundária; A. 2004; B. 2014.

Os principais fatores para o padrão da vegetação secundária são a declividade média, temperatura de superfície, presença de estradas e

presença de unidades de conservação e presença de assentamentos humano com OR a partir de 1,81 (Tabela 6).

Vegetação secundária	2004		2014	
	Coefficientes ( $\beta$ )	exp ( $\beta$ )	Coefficientes ( $\beta$ )	exp ( $\beta$ )
altitude	-0,011	0,989	-0,0184	0,9818
declividade	1,146	3,1455	1,3991	4,0516
temperatura de superfície trimestre seco	0,5982	1,8189	0,5966	1,8159
distância a núcleos urbanos	-1,69E-05	0,9999	-2,31E-05	0,99997
distância a rodovias	-2,66E-05	0,9999	-3,33E-05	0,99996
número de pessoas por distrito	0,0381	1,0388	-0,0054	0,99461
presença de estradas	1,6364	5,1367	1,8222	6,1857
presenças de corpos d'água	-1,1862	0,3054	-1,8892	0,1512
presença de unidades de conservação	0,8655	2,3762	1,0931	2,9836
precipitação pluvial trimestre chuvoso	-0,0105	0,9896	-0,0123	0,9878
precipitação pluvial trimestre seco	-0,0061	0,994	-0,0056	0,9945
presença de assentamentos	0,7855	2,1935	1,0548	2,8714
constante	-11,6915		-11,2808	
pseudo-R <sup>2</sup>	0,3529		0,4246	

Tabela 6 Estimativas binárias para o padrão de Vegetação secundária [valores exp ( $\beta$ )].

Quanto à classe Floresta primária, observa-se um padrão de área ainda com domínio de células com presença em praticamente toda a área de estudo (Figura 6) por se tratar de uma área ainda preservada e com a presença de extensas áreas protegidas pertencentes a Floresta Nacional do Tapajós e

Reserva Extrativista Tapajós-Arapiuns.

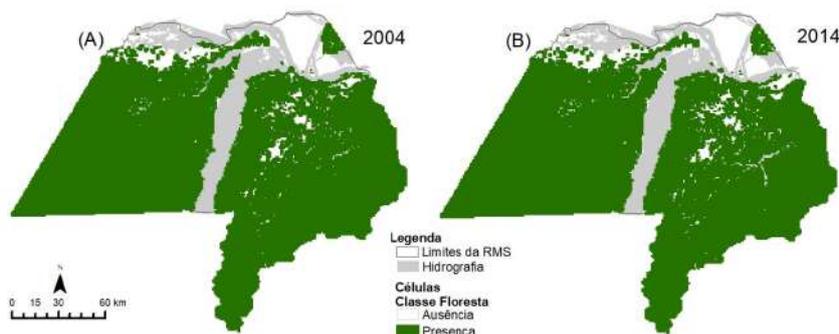


Figura 6 Células com presença de Floresta primária; A. 2004; B. 2014.

Os coeficientes indicaram a presença de unidades de conservação (UC) como fator positivo, significando que a presença desse fator aumenta as chances de células com presença da classe floresta (Tabela 7). UCs ajudam a manter o padrão de cobertura florestal, apresentando áreas com menores distúrbios. Dentro dessas áreas dificilmente se tem presença de agricultura que é considerado elemento caracterizador de distúrbios na paisagem, a não ser aquelas áreas de capoeiras exclusivas para o sistema familiar. A Floresta Nacional do Tapajós e Reserva Extrativista Tapajós Arapiuns tem uma organização particular no que se refere ao uso da terra devido às

restrições impostas por essas categorias de Unidade de Conservação. Cada família pode fazer uso de até 1,25 hectares na área de capoeira, enquanto que nas áreas de floresta nativa, a área total cultivada por ano não pode ultrapassar 0,5 hectares (Affonso *et al.*, 2016).

Assentamentos humanos demonstraram que as chances de se ter presença de floresta em células com assentamentos diminuíram de 6,85 em 2004 para 2,16 em 2014. A temperatura de superfície indica que um aumento na temperatura diminui as chances de células ter presença de floresta em 2014.

Floresta primária	2004		2014	
	Coeficientes ( $\beta$ )	exp ( $\beta$ )	Coeficientes ( $\beta$ )	exp ( $\beta$ )
altitude	0,0271	1,0275	0,0287	1,0292
declividade	1,4089	4,0915	1,4575	4,2953
temperatura de superfície trimestre seco	0,13	1,1388	-0,1287	0,8782
distância a núcleos urbanos	4,63E-05	1,0000463	5,12E-05	1,0000
distância a rodovias	4,16E-05	1,0000416	3,31E-05	1,0000
número de pessoas por distrito	-0,0244	0,9759	-0,0196	0,9806
presença de estradas	0,0467*	1,0478	0,081*	1,0844
presenças de corpos d'água	-1,0249	0,3588	-1,4207	0,2415
presença de unidades de conservação	2,6494	14,1449	3,0284	20,6641
precipitação pluvial trimestre chuvoso	-0,0093	0,9907	-0,0114	0,9886
precipitação pluvial trimestre seco	0,0142	1,0143	0,0129	1,0129
presença de assentamentos	1,9254	6,8582	0,7726	2,1654
constante	-21,0026		-12,5472	
pseudo-R <sup>2</sup>	0,6161		0,6327	

\* não significativo em  $p < 0,05$ .

Tabela 7 Estimativas binárias para o padrão de Floresta [valores exp ( $\beta$ )].

Os fatores próximos influenciam o padrão de LUC, resultante da complexa interação de variáveis sociais, políticas, econômicas, tecnológicas e biofísicas (Geist & Lambin, 2002). Muitos fatores são descritos na literatura como possíveis explicadores dos padrões de uso e cobertura da terra, no entanto, na prática, a falta de dados e a pouca variabilidade espacial dos dados existentes dificultam o entendimento de todos os possíveis fatores que realmente podem ser determinantes no padrão de uso e cobertura na região da Amazônia.

Limitações referentes à aquisição de base de dados de uso e cobertura da terra que contenham menos cobertura de nuvens, algo consideravelmente difícil quando se trata de sensores orbitais passivos na região Amazônica principalmente no

período conhecido como estação chuvosa, foram identificadas durante a pesquisa, além disso a disponibilidade temporal de dados também é outro fator limitante. Nesse mesmo contexto, dados como a variabilidade espacial para a escala de análise na área de estudo foram relativamente escassos. Apesar disso, foi possível captar as relações entre usos e cobertura e fatores determinantes ainda que algumas relações tenham sido irrisórias como as apresentadas pela variável distância a núcleos urbanos.

#### 4 Conclusão

Este estudo considerou o padrão de LUC na Região Metropolitana de Santarém, em um período de pós inserção da agricultura mecanizada, objetivando verificar a relação dos fatores

determinantes sobre os padrões espaciais em 2004 e 2014. Em termos de áreas as florestas primárias diminuíram da primeira para segunda data, contudo é a classe de maior representatividade em relação às demais, enquanto que o uso urbano e agricultura apresentaram crescimento.

O padrão de agricultura, pastagem, urbano e vegetação secundária podem ser explicados principalmente pela presença de estradas, sendo o fator mais importante. Já os fatores biofísicos como a declividade assim como políticos como unidades de conservação têm uma influência importante nos padrões de floresta primária. Em certa medida, os fatores analisados estão relacionados ao padrão de uso da terra, contudo a natureza dos dados pode contribuir para a não explicação de algumas relações. Por fim, o método utilizado pode ser usado para especificar variáveis e identificar relações funcionais em modelos de simulação de mudanças no uso da terra e cenários futuros.

## 5 Agradecimentos

À Fundação Amazônia de Amparo a Estudos e Pesquisa (FAPESPA) e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) - Código de Financiamento 001.

## 6 Referências

Affonso, A.G.; Escada, M.I.S.; Amaral, S.; Souza, A.R.; Siqueira, J.M.; Torres, N.C.; Camilotti, V.L.; Dal'Asta, A.P.; Costa, L.C.O. & Soares, F.R. 2016. *As comunidades ribeirinhas do Baixo Tapajós (PA): infraestrutura, mobilidade, serviços sócio ambientais e conectividade*. São José dos Campos, INPE, 153p.

Aguiar, A.P.D.; Câmara, G. & Escada, M.I.S. 2007. Spatial statistical analysis of land-use determinants in the Brazilian Amazonia: Exploring intra-regional heterogeneity. *Ecological modelling*, 209(2-4): 169-188.

Almeida, C.A.; Coutinho, A.C.; Esquerdo, J.C.D.M.; Adami, M.; Venturieri, A.; Diniz, C.G.; Dessay, N.; Durieux, L. & Gomes, A.R. 2016. High spatial resolution land use and land cover mapping of the Brazilian Legal Amazon in 2008 using Landsat-5/TM and MODIS data. *Acta Amazonica*, 46(3): 291-302.

Almeida, R.M. & Almeida, O.S. 2015. Análise das ações da Gerência Executiva do IBAMA de Santarém/PA no combate ao desmatamento na região de influência da BR-163 no Oeste do Pará. In: SIMPÓSIO

BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, João Pessoa, INPE, Anais, p. 2293.

Amaral, S.; Dal'Asta, A.P.; Brigatti, N.; Pinho, C.M.D.; Medeiros, L.C.C.; Andrade, P.R.; Pinheiro, T.F.; Alves, P.A.; Escada, M.I.S. & Monteiro, A.M.V. 2013. Comunidades ribeirinhas como forma socioespacial de expressão urbana na Amazônia: uma tipologia para a região do Baixo Tapajós (Pará-Brasil). *Revista Brasileira de Estudos de População*, 30(2): 367-399.

Andrade, P.R. & Avancini, R. 2017. *Creating and Filling Cellular Spaces in TerraME*. Disponível em: <<https://github.com/TerraME/terrame/wiki/Fill#Cellular/>>. Acesso em: 02 abr. 2019.

de Espindola, G.M.; Aguiar, A.P.D.; Pebesma, E.; Câmara, G. & Fonseca, L. 2012. Agricultural land use dynamics in the Brazilian Amazon based on remote sensing and census data. *Applied Geography*, 32(2): 240-252.

Fávero, L.P.L.; Belfiore, P.P.; Silva, F.L.D. & Chan, B.L. 2009. *Análise de dados: modelagem multivariada para a tomada de decisões*. Rio de Janeiro, Elsevier, 646p.

Gartland, L. 2008. *Heat islands: understanding and mitigating heat urban areas*. Published by Earthscan. UK and USA, 215p.

Geist, H.; McConnell, W.; Lambin, E.F.; Moran, E.; Alves, D. & Rudel, T. 2006. Causes and trajectories of land-use/cover change. In: LAMBIN, E.F. & GEIST, H. (ed.). *Land-Use and Land-Cover Change*. Global Change - The IGBP Series. Springer, p. 41-70.

Geist, H.J. & Lambin, E.F. 2002. Proximate Causes and Underlying Driving Forces of Tropical Deforestation Tropical forests are disappearing as the result of many pressures, both local and regional, acting in various combinations in different geographical locations. *BioScience*, 52(2): 143-150.

Gomes, T.V.; Cardoso, A.C.D.; Coelho, H.S. & Oliveira, K.D. 2017. Santarém (PA): um caso de espaço metropolitano sob múltiplas determinações. *Cadernos Metrópole*, 19(40): 891-918.

IBGE. 2020. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Disponível em: <<https://cidades.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 18 mar. 2020.

Lambin, E.F.; Turner, B.L.; Geist, H.J.; Agbola, S.B.; Angelsen, A.; Bruce, J.W.; Coomes, O.T.; Dirzo, R.; Fischer, G.; Folke, C.; George, P.S.; Homewood, K.; Imbernon, J.; Leemans, R.; Li, X.; Moran, E.F.; Mortimore, M.; Ramakrishnan, P.S.; Richards, J. F.; Skaanes, H.; Steffen, W.; Stone, G. D.; Svedin, U.; Veldkamp, T.A.; Vogel, C. & Xu, J. 2001. The causes of land-use and land-cover change: moving beyond the myths. *Global environmental change*, 11(4): 261-269.

- Lambin, E.F.; Geist, H.J. & Lepers, E. 2003. Dynamics of land-use and land-cover change in tropical regions. *Annual review of environment and resources*, 28(1): 205-241.
- Lesschen, J.P.; Verburg, P.H. & Staal, S.J. 2005. *Statistical methods for analysing the spatial dimension of changes in land use and farming systems*. Kenya, International Livestock Research Institute, 81p.
- McGarigal, K. & Marks, B.J. 1995. *FRAGSTATS: spatial pattern analysis program for quantifying landscape structure*. Washington, U.S. Forest Service General, 122p.
- Meyfroidt, P.; Lambin, E.F.; Erb, K.H. & Hertel, T.W. 2013. Globalization of land use: distant drivers of land change and geographic displacement of land use. *Current Opinion in Environmental Sustainability*, 5(5): 438-444.
- Rivero, S.; Almeida, O.; Ávila, S. & Oliveira, W. 2009. Pecuária e desmatamento: uma análise das principais causas diretas do desmatamento na Amazônia. *Nova economia*, 19(1): 41-66.
- Silva, M.; Nascimento, C.P.; Alexandre, C.C.; Cláudio, A.A. & Adriano, V. 2013. A transformação do espaço amazônico e seus reflexos na condição atual da cobertura e uso da terra. *Novos Cadernos NAEA*, 16(1).
- Silva, P. & Li, L. 2017. Mapping urban expansion and exploring its driving forces in the city of Praia, Cape Verde, from 1969 to 2015. *Sustainability*, 9(8): 1434.
- Souza, A.R.; Escada, M.I.S. & Monteiro, A.M.V. 2015. Gradientes de intensificação do uso da terra: Análise no entorno de comunidades ribeirinhas e de terra firme em Santarém e Belterra (PA) entre 1990 e 2010. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 17, João Pessoa, 2015. Anais, São José dos Campos, INPE.
- Verburg, P.H.; van Eck, J.R.R.; de Nijs, T.C.; Dijst, M.J. & Schot, P. 2004. Determinants of land-use change patterns in the Netherlands. *Environment and Planning B: Planning and Design*, 31(1): 125-150.