

Detecção de mudanças e análise de padrões de expansão agrícola na Amazônia mato-grossense

Thales Vaz Penha¹
Maria Isabel Sobral Escada¹
Leila Maria Garcia Fonseca¹
Thales Sehn Korting¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{thales.penha, thales.korting}@inpe.br/{isabel, leila}@dpi.inpe.br

Abstract. The agricultural expansion in Mato Grosso state, Brazil, is a process that in recent decades has been consolidated due to the high production of grains such as soybeans. This process is closely related to the land use and land cover changes and the replacement of natural forest cover for economic activities such as livestock and agriculture, especially, along the southern and eastern edges of the Amazon region. In this sense, several scientific projects and researches aim to support important decision-making using remote sensing data and techniques to study the land use and land cover changes. The change detection techniques allow the recognition of agricultural expansion patterns and it represents an interesting tool to improve territory management and public policies. This present study aimed to analyze the spatial-temporal trajectory of agricultural expansion patterns in an Amazon region applying a change detection technique and using the land cover classifications generated by TerraClass in different years (2004, 2010, 2014). The classification results were considered satisfactory (κ greater than 0.7 and overall accuracy higher than 0.8) and indicate further consolidation of agricultural expansion process, as well as continued expansion of annual agricultural patches, which leads to a better assessment and discussion about Amazon cover changes.

Palavras-chave: agricultural expansion, land use and land cover change patterns, Amazon, expansão agrícola, padrões de mudança de uso e cobertura da terra, TerraClass, Mato Grosso, Amazônia.

1. Introdução

O histórico de ocupação recente do território mato-grossense está estritamente ligado ao desenvolvimento econômico do estado e da região da Amazônia como um todo. Para Becker (2007), a partir da década de 1970 a Amazônia brasileira passou por profundas transformações estruturais em termos de conectividade, economia e povoamento - subsidiados por políticas públicas.

Neste mesmo período, um novo ciclo de transformações ocorria no território mato-grossense, impulsionado pela introdução de tecnologia na produção agrícola e pelos investimentos estatais para o desenvolvimento da região tais como a abertura de estradas, o estímulo à migração e o financiamento de grandes projetos agropecuários e de exploração mineral. Houve um crescimento econômico acelerado do estado e conseqüentemente a intensificação do processo de desmatamento - consolidando novas frentes de expansão da fronteira agrícola na Amazônia (Silva, 2009).

As causas do desmatamento na Amazônia e também em Mato Grosso são múltiplas, tanto da reprodução do ciclo da expansão pecuária, exploração da madeira, desflorestamento e avanço da fronteira agrícola quanto da agricultura de corte e queima, da agricultura comercial, da exploração seletiva predatória e dos incêndios florestais (Becker, 2007). O desmatamento é parte do processo de expansão agrícola na Amazônia mato-grossense que é caracterizada principalmente pela monocultura de grãos como o milho e a soja e marcada pelos grandes latifúndios de produção para a exportação. Áreas antes ocupadas por floresta são gradualmente convertidas em outras coberturas como o pasto e em seguida para o uso agrícola. Este padrão recentemente tem se modificado, mais especificamente a partir de 2004 e 2006, com a implementação de políticas públicas de controle do desmatamento -

capitaneado pelo PPCDAM (Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal) vide MMA (2013) e a moratória da soja que inibe a prática de atividade agrícola em áreas já desmatadas, conforme apontam estudos recentes como de Gibbs et al. (2015). No entanto, dados do PAM (Produção Agrícola Municipal)-IBGE indicam um aumento de áreas plantadas por lavouras temporárias e permanentes em Mato Grosso (Figura 1), o que indica que o processo de expansão agrícola continua em alta, porém o padrão de expansão e os autores anteriormente identificados podem estar se modificando.

Neste sentido, diversos projetos científicos buscam suportar importantes tomadas de decisão que norteiam políticas públicas no país. Entre os órgãos de pesquisa existentes, destaca-se o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), cujos projetos desenvolvidos possuem diversas frentes, como o PRODES e o TerraClass (INPE, 2016a; INPE, 2016b). O primeiro, também chamado de Projeto de Monitoramento do Desmatamento na Amazônia Legal por Satélite, visa monitorar o desmatamento na Amazônia legal. Enquanto que o TerraClass busca qualificar esse desflorestamento, utilizando 14 classes temáticas em suas classificações (Almeida et al, 2016; INPE, 2016c). Os dados disponibilizados pelo TerraClass possuem uma periodicidade de dois anos, com início em 2004 até o ano de 2014, que possibilitam realizar análises de mudanças da cobertura da terra e subsidiam discussões de padrões de mudanças de uso bem como processos correlatos.

Estas mudanças identificadas pelo TerraClass podem ser analisadas sob um viés de trajetória espaço-temporal, uma vez que uma área mapeada em um ano pode ter mudado de classe em outro ano. Assim posto, técnicas de detecção de mudança podem ser empregadas para identificar estas mudanças de classes, assim como, apontarem possíveis padrões de mudanças de uso e cobertura da terra, conforme trabalhos de Ximenes et al. (2008); Saito et al. (2011); Macedo et al. (2013); Nery et al. (2014).

O presente trabalho tem como objetivo realizar uma análise de trajetória espaço-temporal dos padrões de expansão agrícola em uma região da Amazônia mato-grossense por meio de técnicas de detecção de mudanças e identificação de tipologias de cobertura da terra utilizando as classificações geradas pelo TerraClass em diferentes anos (2004, 2010, 2014). Propõe-se ainda identificar os atores e agentes responsáveis pelo processo de expansão agrícola na região como suporte à políticas de gestão do território.

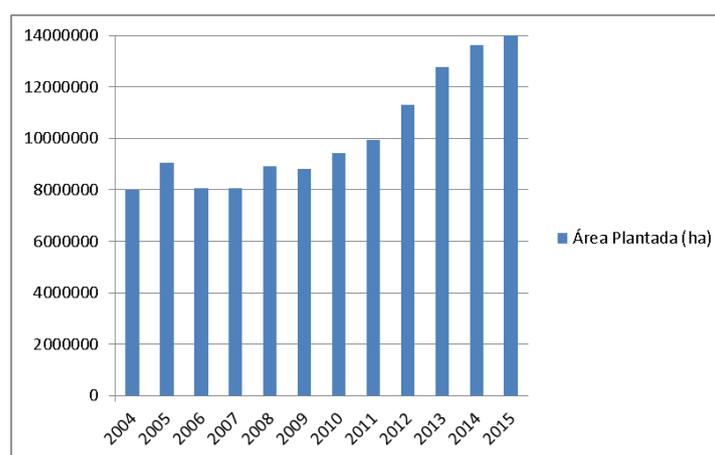


Figura 1: Total de áreas de lavouras plantadas (hectares) em Mato Grosso. Fonte: PAM (IBGE, 2016).

2. Materiais e Métodos

A área de estudo (Figura 1) localiza-se ao norte do estado do Mato Grosso (MT) no domínio ecossistêmico da Amazônia na região conhecida como Arco do Desflorestamento – região também da fronteira agropecuária mato-grossense. A área de estudo abrange parte de

treze (13) municípios: Claudia, Feliz Natal, Itaúba, Lucas do Rio Verde, Nova Ubirata, Porto dos Gaúchos, Santa Carmen, Sinop, Sorriso, Tabapora, Tapurah, União do Sul e Vera. O surgimento destes municípios está relacionado à abertura de estradas, principalmente após a construção da BR 163 (Cuiabá-MT-Santarém-PR), e os investimentos em infraestrutura nos anos 70. Possuem como principais atividades econômicas: a agricultura, a pecuária e as atividades extrativistas. Os municípios de Lucas do Rio Verde e Sinop destacam-se como a principais cidades da região sendo referência na oferta de serviços e comércio.

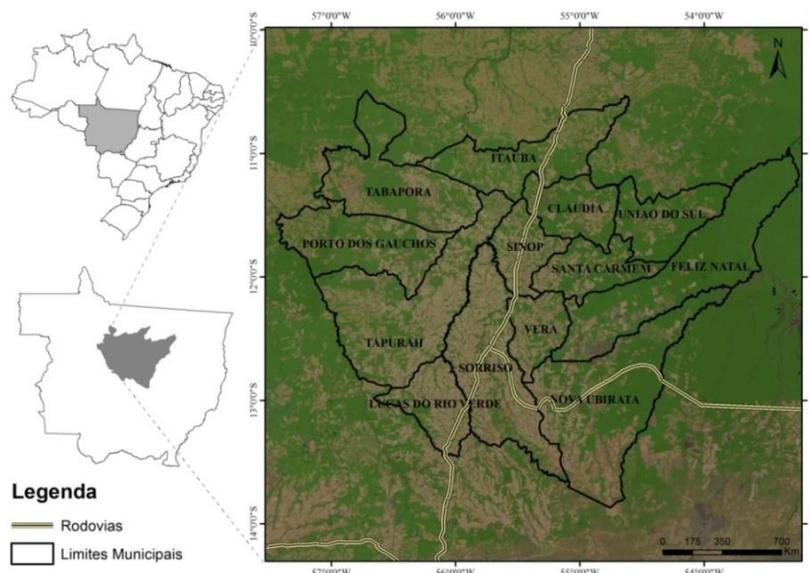


Figura 2: Mapa da área de estudo: cena Landsat 8 composição R:4; G:3; B:2.

A metodologia do trabalho pode ser dividida em quatro partes: (i) técnica de detecção de mudanças por operação aritmética e geração de tabelas de transição para avaliação das mudanças de uso e cobertura da terra para agricultura anual; (ii) identificação e caracterização dos padrões de expansão agrícola; (iii) classificação dos padrões de expansão agrícola; (iv) validação da classificação e quantificação da expansão agrícola. As etapas do trabalho foram elaboradas conforme ilustra a Figura 3.

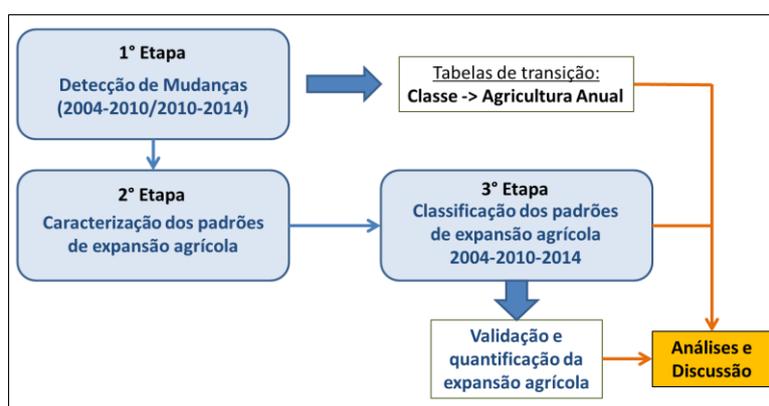


Figura 3: Fluxograma das etapas do trabalho.

Os dados vetoriais referentes à classificação de cobertura da terra foram adquiridos no portal do banco de dados do projeto TerraClass-INPE para três anos (2004, 2010 e 2014); os limites municipais foram adquiridos no sítio do IBGE e os dados de rodovias de Mato Grosso foram adquiridos do portal do DNIT-MT. Todos os dados foram compatibilizados para o mesmo sistema de coordenadas geográficas: South American Datum 1969 (SAD 69) e sistema de projeção: Cônica Equivalente de Albers.

A primeira parte do trabalho consistiu na definição do recorte espacial e delimitação da área de estudo, tendo em vista que os municípios da área de estudo tiveram um aumento considerável de áreas agrícolas ao longo dos anos, conforme os dados tabulares do TerraClass. Em seguida, realizou-se a detecção de mudanças por meio do cruzamento dos dados zonais de classificação de uso e cobertura da terra em anos pareados: 2004-2010 e 2010-2014.

Após análise das áreas e classes de mudanças, realizou-se uma seleção das áreas que se tornaram ‘agricultura anual’ de um ano para outro, como exemplificado na Figura 4, onde se pode observar o aumento de áreas agrícolas bem como a direção preferencial das manchas. Em seguida, geraram-se as tabelas de transição para avaliação das classes de mudanças de uso e cobertura da terra para agricultura anual e calcularam-se algumas métricas da paisagem sobre as manchas de agricultura para caracterização das tipologias de expansão agrícola (Tabela 1) e para posteriormente classifica-las. As métricas relativas à forma das manchas calculadas são facilmente executáveis em SIGs (Sistemas de Informação Geográfica) e permitem identificar o tamanho das manchas, a regularidade das manchas (compacidade) e a contribuição da borda sobre a mancha.

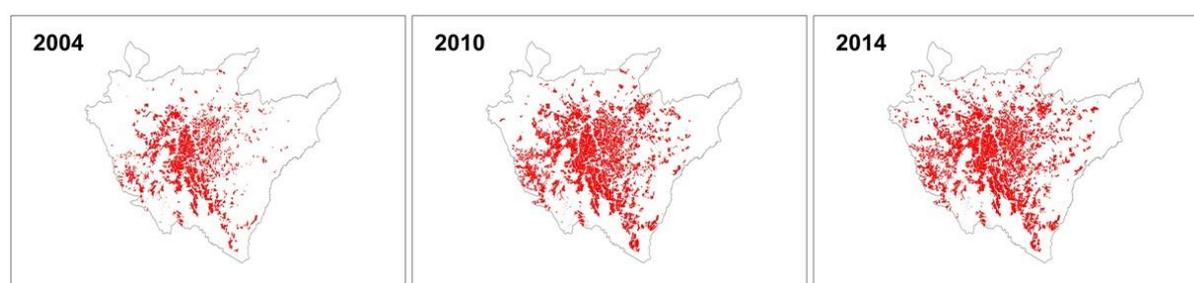


Figura 4: Áreas de expansão agrícola para os anos de 2004/2010/2014.

Tabela 1: Métricas de manchas utilizadas na caracterização da expansão agrícola.

Métrica	Fórmula	Tipo	Intervalo	Unidade
Área (A)	-	Área	> 0, sem limite	Hectares (ha)
Perímetro (P)	-	Borda	> 0, sem limite	Metros (m)
Índice de forma (IF)	$IF = \frac{0.25 \times P}{\sqrt{A}}$	Forma	≥ 1 , sem limite	-
Densidade de Borda (DB)	$DB = \frac{P}{A}$	Forma	≥ 1 , sem limite	(m/ha)

Na etapa seguinte, identificou-se e caracterizou-se os padrões de expansão agrícola com base na metodologia proposta por Saito et al. (2011). Foram identificados três tipologias de padrão de expansão agrícola na região, conforme ilustra a Figura 5.

A última etapa deste estudo consistiu na classificação e quantificação da expansão agrícola. A classificação de padrões de expansão para cada um dos três anos analisados foi realizado após a construção empírica de uma árvore de decisão com base nas métricas da paisagem calculadas (Figura 6). Em seguida, geraram-se tabelas com a quantificação de cada padrão de expansão agrícola através do cálculo de área de cada categoria para posterior análise das trajetórias desta expansão.

TerraClass	Padrão de Expansão Agrícola	Descrição para escala 1:250.000	Semântica Padrão de Expansão
	Consolidado	-Manchas grandes e contínuas de agricultura anual; -Manchas compactas e irregulares; -Alta densidade;	- Agroindústria e Agronegócio; - Grandes estabelecimentos rurais; - Monocultura de grãos consolidado
	Geométrico	-Manchas médias a grandes; -Forma geométrica regular; -Densidade média.	- Médios e grandes estabelecimentos rurais; - Estágio intermediário e avançado de monocultura de grãos;
	Difuso	-Manchas pequenas, isoladas; -Forma variada, irregular; -Baixa densidade de manchas;	- Expansão de estabelecimentos rurais sobre novas áreas; - Agricultura em estágio inicial de monocultura de grãos

Figura 5: Tipologias dos padrões de expansão agrícola. Adaptado de Saito et al. (2011).

Por fim, a última parte do trabalho consistiu na validação das classificações de expansão agrícola em 2004/2010/2014, utilizou-se como referência o mosaico das imagens *Landsat8* do ano de 2014 adquirido no Portal *GeoNetwork* da Agência Nacional das Águas (ANA) e o mosaico de 2004 que foi gerado pelo autor a partir de 30 cenas *Landsat ETM+ PanMosaics* (1999-2003) adquiridos do sítio *Earth Explorer – USGS (U.S. Geological Survey)*. Por meio de amostragem estratificada, coletou-se 30 amostras de cada classe para geração do índice Kappa e matriz de confusão, conforme sugere Congalton (1999).

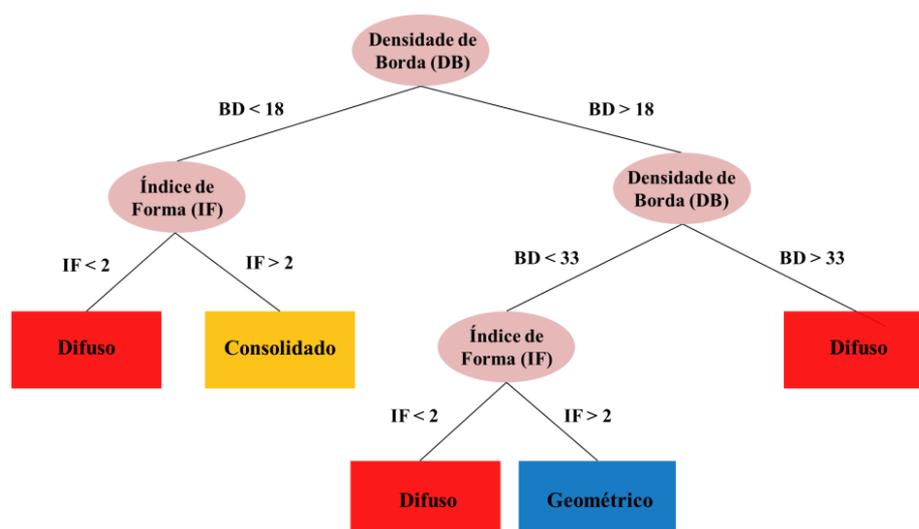


Figura 6: Árvore de decisão para a classificação dos padrões de expansão agrícola.

3. Resultados e Discussão

Os resultados obtidos da classificação de padrões de expansão agrícola para os anos de 2004, 2010 e 2014 são apresentados na Figura 7 a seguir. Na Figura 8, apresentam-se os resultados da validação das classificações que de modo geral foram considerados satisfatórios com índice kappa (superior a 0.7) e exatidão global (superior a 0.8). Além de se observar o aumento nominal das

áreas de agricultura anual na área de estudo (cerca de 880.000 hectares entre 2004-2014), é possível identificar e qualificar o tipo de expansão agrícola predominante na região. Nota-se também um grau de adensamento de manchas com o passar dos anos e uma direção preferencial deste processo que tende a avançar para áreas de floresta, nas bordas do ecossistema Amazônia.

Os resultados apresentados nas tabelas de transição de classes (Tabela 2) permitem compreender as mudanças na cobertura da terra e um relativo padrão do processo de substituição da cobertura natural pela agricultura. No período de 2004-2010 as principais classes que mais contribuíram foram: “Desflorestamento”, “Floresta” e “Pasto Limpo” (24.16%, 17.25% e 39.61% respectivamente) e no período de 2010-2014 as principais classes que se tornaram agricultura anual foram: “Pasto Limpo”, “Vegetação Secundária” e “Floresta” (49.90%, 23.01% e 10,93% respectivamente). No período de 2004-2010, a contribuição de áreas com ‘desflorestamento’ e ‘floresta’ se explica pelo fato das políticas públicas propostas ainda estarem em estágio inicial, como o PPCDAM e a moratória da soja. Já no período de 2010-2014 o reflexo destas políticas já pode ser observado com a diminuição da contribuição destas classes na expansão agrícola em Mato Grosso. A classe de maior contribuição para o aumento das manchas agrícolas entre 2004-2014 é o pasto, principalmente o limpo, em função da maior disponibilidade de áreas e das condições físico-ambientais e econômicas favoráveis que viabilizam a rápida substituição do pasto em agricultura mecanizada.

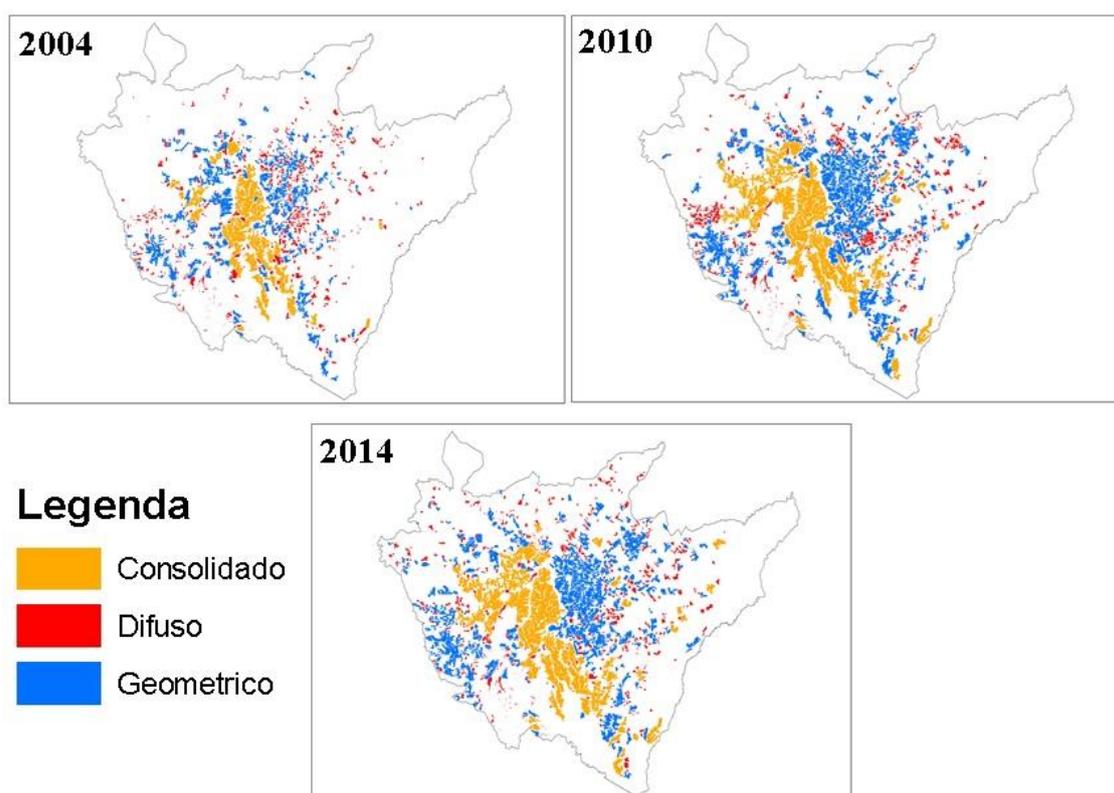


Figura 7: Classificação dos padrões de expansão agrícola para os anos de 2004/2010/2014.

Tabela 2: Aumento por período da classe agricultura anual.

Transição de classes para Agricultura Anual 2004-2010			Transição de classes para Agricultura Anual 2010-2014		
	Área (ha)	Área (%)		Área (ha)	Área (%)
Desflorestamento	193180.15	24.16	Desflorestamento	8630.98	3.12
Floresta	137880.78	17.25	Floresta	30272.10	10.93
Pasto Limpo	316623.62	39.61	Pasto Limpo	138153.73	49.90
Pasto Sujo	34379.67	4.30	Pasto Sujo	9415.31	3.40
Vegetação Secundária	65524.66	8.20	Vegetação Secundária	63693.41	23.01
Outros	51857.10	6.49	Outros	26692.93	9.64
Total	799445.98	100.00	Total	276858.46	100.00

		Referência			
		Consolidado	Geométrico	Difuso	Total
Classificação	Consolidado	25	4	1	30
	Geométrico	5	25	0	30
	Difuso	1	2	27	30
	Total	30	32	28	90

Classes		kappa
Consolidado		0.7000
Geométrico		0.7414
Difuso		0.8548

Índice Kappa		0.7667
Exatidão Global		0.8444

		Referência			
		Consolidado	Geométrico	Difuso	Total
Classificação	Consolidado	27	3	0	30
	Geométrico	4	28	0	30
	Difuso	0	7	23	30
	Total	31	38	23	90

Classes		kappa
Consolidado		0.8475
Geométrico		0.7778
Difuso		0.6888

Índice Kappa		0.7667
Exatidão Global		0.8444

		Referência			
		Consolidado	Geométrico	Difuso	Total
Classificação	Consolidado	26	4	0	30
	Geométrico	4	25	1	30
	Difuso	4	4	24	30
	Total	34	33	23	90

Classes		kappa
Consolidado		0.7857
Geométrico		0.7368
Difuso		0.6418

Índice Kappa		0.7167
Exatidão Global		0.8111

Figura 8: Matriz de confusão e índice kappa calculados para as classificações dos padrões de expansão agrícola para os anos de 2004/2010/2014.

Ao analisar também a Tabela 3, quanto à quantificação dos padrões encontrados de expansão agrícola, nota-se que o padrão consolidado é que teve maior contribuição de aumento de área nos intervalos analisados. Já o padrão geométrico no primeiro período analisado (2004-2010) teve um grande aumento de área, porém no segundo período de análise (2010-2014) teve uma diminuição considerável de novas áreas (padrão geométrico), o que pode ser explicado pela diminuição da expansão agrícola em áreas de vegetação intacta, isto é, com políticas públicas mais restritiva, deixou-se de desmatar novas áreas para a exploração de atividades econômicas. Algo semelhante ocorre com o padrão difuso que teve uma diminuição abrupta no número de áreas agrícolas. Em geral o padrão difuso está associado à substituição de áreas recém-desmatadas para o uso agrícola em um intervalo de tempo curto e em regiões de baixa atividade produtiva. O reflexo das políticas públicas é a contenção do avanço deste padrão de expansão agrícola. No entanto, outros atores podem estar influenciando sobre o padrão difuso, como o pequeno produtor ou pecuarista, mas a limitação dos dados TerraClass não permite verificar este tipo de hipótese.

Observa-se também que a tendência para a região é o aumento de áreas agrícolas consolidadas, pois este padrão aos poucos incorpora áreas agrícolas isoladas e as conecta, formando uma grande área produtiva. À medida que menos coberturas naturais são exploradas pelo uso agrícola é de se esperar que a agricultura em áreas já consolidadas se intensifique.

Tabela 3: Aumento das áreas por ano da classe agricultura anual.

Classes de expansão agrícola	2004		2010		2014	
	Area (ha)	Area (%)	Area (ha)	Area (%)	Area (ha)	Area (%)
Consolidado	358120.11	33.95	685445.67	37.39	804306.68	41.41
Geométrico	444427.10	42.13	872328.57	47.59	856175.69	44.08
Difuso	252295.81	23.92	275221.85	15.01	281692.81	14.50
Total	1054843.01	100.00	1832996.09	100.00	1942175.18	100.00

4. Considerações Finais

No período analisado pelo estudo entre 2004-2014 houve um aumento considerável de agricultura anual. Após a classificação dos padrões de expansão agrícola verificou-se que a classe “consolidado” foi que mais aumentou em termos de área e houve diminuição do padrão “geométrico” e “difuso” muito em função de políticas públicas mais eficazes de controle do desmatamento e exploração de atividades econômicas.

Por fim, considerou-se que a metodologia adotada requer um refinamento na construção da árvore de decisão para a classificação dos padrões de expansão agrícola, bem como, uma melhor caracterização das tipologias identificadas. O uso de dados provenientes do TerraClass mostrou-se útil para análise de trajetórias temporais da expansão agrícola, no entanto, sugere-se a análise de intervalos mais curtos (pré e pós moratória da soja), como por exemplo, os períodos 2004-2006, 2006-2010 e 2010-2014 para melhor compreensão do processo em questão.

Agradecimentos

O primeiro autor agradece à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES) pela concessão da bolsa no Mestrado em Sensoriamento Remoto do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE).

Referências Bibliográficas

- 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. 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*, Vol 46 (3) 2016: 291-302.
- Becker, B. K. A Amazônia e a política ambiental brasileira. In: Santos, M. & Becker, B. K. (org.). **Território, Territórios: ensaios sobre o ordenamento territorial**. Rio de Janeiro: Lamparina, 2007. 3ªed, pg. 22-40.
- Congalton, R. G. **Assessing the accuracy of Remotely Sensed data: principles and practices**. 1999.
- Gibbs, H. K.; Rausch, L.; Munger, J.; Schelly, I.; Morton, D. C.; Noojipady, P.; Soares-filho, B.; Barreto, P.; Micol, L.; Walker, N. F. Brazil's Soy Moratorium. *Science*, 347, (6220): 377, 2015.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Produção Agrícola Municipal (PAM)**. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/bda/pesquisas/pam/>>. Acesso em: out de 2016.
- INPE, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. (2016). **Projetos**. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/projetos.htm>>. Acesso em: jul. de 2016a.
- _____. (2016). **Dados TerraClass**. Disponível em: <http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/dados_terraclass.php>. Acesso em: jul. de 2016c.
- _____. (2016). **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite**. Disponível em: <www.obt.inpe.br/prodes>. Acesso em jul. de 2016b.
- Macedo, R. C.; Almeida, C. M.; Santos, J. R.; Rudorff, B. F. T. Modelagem dinâmica espacial das alterações de cobertura e uso da terra relacionadas à expansão canavieira. **Boletim de Ciências Geodésicas**, sec. Artigos, Curitiba, v. 19, n°2, p.313-337, abr-jun, 2013.
- MMA, Ministério do Meio Ambiente. **Plano de Ação para prevenção e controle do desmatamento na Amazônia Legal (PPCDAm): 3ª fase (2012-2015) pelo uso sustentável e conservação da floresta**. Ministério do Meio Ambiente e Grupo Permanente de Trabalho Interministerial. Brasília: MMA, 2013.
- Nery, C. V. M.; Moreira, A. A.; Fernandes, F. H. S.; Almeida, R. P. Uso do Sensoriamento Remoto na Detecção de Mudança na Microrregião de Montes Claros/MG. **Revista Brasileira de Geografia Física**, v.07, n.01, 130-145, 2014.
- Saito, E. A., Escada, M. I. S., Fonseca, L. M. G., Korting, T. S. Análise de padrões de desmatamento e trajetória de padrões de ocupação humana na Amazônia usando técnicas de mineração de dados. In: XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), 15, 2011, Curitiba, PR, Brasil, **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2011. Artigos, p. 2833-2841, CD-ROM, On-line. ISBN 85-17-00018-8. Disponível em: <<http://www.dsr.inpe.br/sbsr2011/files/p0747.pdf>>. Acesso em: set. 2016.
- Silva, E. D. **Território, Cidade e Rede: O Papel de Rondonópolis na Expansão da Soja no Cerrado Mato-Grossense**. 2009. 213 p. Tese (Doutorado em Geografia Humana) – Universidade de São Paulo, São Paulo. 2009.
- Ximenes, A. C.; Almeida, C. M.; Amaral, S.; Escada, M. I. S.; Aguiar, A. P. D. Modelagem dinâmica do desmatamento na Amazônia. **Boletim Ciências Geodésicas**, sec. Artigos, Curitiba, v. 14, n°3, p.370-391, jul-set, 2008.