

Dinâmica espaço-temporal da vegetação secundária no município de Apuí (AM)

Paulo Eduardo dos Santos Massoca¹
Aurora Miho Yanai¹
Paulo Maurício Lima de Alencastro Graça¹
Philip Martin Fearnside¹
Rita de Cássia Guimarães Mesquita¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas da Amazônia - INPA
Av. André Araújo, 2936, Aleixo - 69060-001 - Manaus - AM, Brasil
{pmassoca, yanai, pmlag, pmfearn, rita} @inpa.gov.br

Abstract. Secondary forests accounted for over one-third (266.000 km²) of the total deforested area in the Legal Amazon by 2008. This study analyzed the spatial and temporal dynamics of secondary forests in Apuí (AM), Brazil, municipality in which the expansion of cattle ranching has caused substantial increases in deforestation. A multi temporal series of 10 Landsat TM 5 satellite was classified by the maximum likelihood method in Envi 4.7 software. Mappings were analyzed by logical expressions using Dinamica EGO software, which allowed the extraction of information related to the land cover dynamics in the landscape. It also allowed the evaluation of the methodology employed in the images classification. The results pointed to the intensive land use system established in the region, where deforestation rates were above the average found in the whole Amazon in the last decade. The dynamics of secondary forest was associated temporally to the date of images acquisition and spatially to the local dynamics of pastures expansion and maintenance. The high land use dynamics in the region resulted in a high decrease of secondary forests; on average, only 10% of the secondary forests mapped in a year remain in the landscape after six years. The methodology employed in our study was useful for mapping land cover. The use of tools that allowed the overlay of classified images and the extraction of their quantitative information were essential to the refinement and analysis of data, minimizing errors associated with the process of classifying satellite imagery.

Palavras-chave: capoeiras, secondary forests, landcover change, arco do desmatamento, classificação supervisionada, landscape ecology.

1. Introdução

A ocupação humana na Amazônia Legal resultou no desmatamento de aproximadamente 750 mil km² até 2011 (INPE, 2012). Isso representa aproximadamente 18% da cobertura florestal original da região, dos quais mais de um terço (266 mil km²) já se encontravam recobertos por vegetação secundária em 2008 (Embrapa e INPE, 2011), resultado da ineficiência dos modelos predominantes de produção e uso da terra na Amazônia.

A importância da vegetação secundária na paisagem vem crescendo tanto pelo aumento de sua extensão como pelo reconhecimento dos serviços ambientais que propiciam (Lugo, 2009). Além de absorverem grandes quantidades de carbono, florestas secundárias têm papel fundamental na conservação de habitats (Chazdon et al., 2009) e na proteção dos solos e recursos hídricos (Klemick, 2011), além de serem componentes fundamentais nos sistemas agrícolas tradicionais e fonte de grande variedade de recursos para a população rural (Toledo and Salick, 2006).

Na Amazônia, áreas em processo de regeneração são denominadas “capoeiras” e sua ocorrência na paisagem está relacionada a fatores físicos e socioeconômicos regionais (Alves, 2002; Alves et al., 2003; Lu et al., 2003). Áreas com concentração de pequenos produtores rurais tendem a abrigar grandes extensões de vegetação secundária devido aos ciclos repetitivos de corte e queima nas áreas de agricultura tradicional que influem positivamente na formação de capoeiras (Perz e Skole, 2003). Entretanto, em fronteiras de expansão agropecuária como o “arco do desflorestamento”, o processo de consolidação da ocupação

humana é acompanhado pela intensificação do desmatamento e do uso da terra, reduzindo o abandono de áreas e a formação de vegetação secundária (Almeida et al., 2010).

O objetivo deste estudo foi analisar a dinâmica espacial e temporal da vegetação secundária no município de Apuí, no sudeste do Amazonas, caracterizado por intensa atividade antrópica relacionada à expansão da pecuária (Carrero e Fearnside, 2011). Apuí é um dos municípios estudados no âmbito do Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos Serviços Ambientais da Amazônia (INCT/Servamb) com o intuito de avaliar os serviços ambientais associados às formações de floresta secundária na Amazônia. Nesse sentido, foram analisadas as variações anuais da vegetação secundária entre 2001-2011 face ao contexto ambiental e socioeconômico da região, avaliando-se também a metodologia utilizada no estudo para o mapeamento da vegetação secundária na paisagem.

2. Metodologia de Trabalho

2.1. Localização e descrição da área de estudo

A área de estudo compreende a região do município de Apuí (7.20°S, 59.89°W), no sudoeste da Amazônia brasileira (Figura 1). Apuí está situado ao longo da rodovia Transamazônica (BR-230), que o conecta aos municípios vizinhos de Humaitá (400 km a oeste) e Jacareacanga (300 km a leste). A expansão da malha viária e das atividades agropecuárias na região teve início na década de 1970 após a construção da BR-230. Em 1982, o Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária (INCRA) criou na região o Projeto de Assentamento Rio Juma (PARJ), no qual se instalou posteriormente a sede do município. O PARJ possui mais de 5.000 lotes e uma área de aproximadamente 444.000 ha.

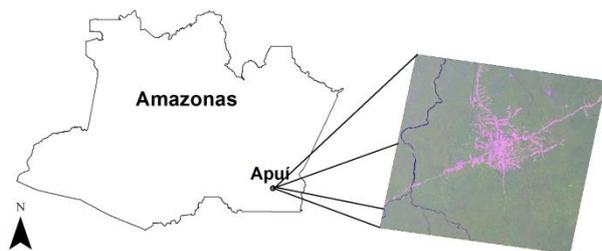


Figura 1. Localização da área de estudo (cena Landsat TM 5, órbita 230, ponto 65).

Apuí vem experimentando um crescimento populacional associado ao desmatamento e à expansão da pecuária, principal atividade econômica do município. Sua população mais do que triplicou entre 1990 a 2000 e atualmente é de 18 mil habitantes. Em 2010, 41% da população residia no campo, onde aproximadamente 90% da área de

produção eram ocupadas por pastagens e abrigava um rebanho de 146 mil cabeças de gado (IBGE, 2012).

2.2. Aquisição, processamento e classificação das imagens

A área de estudo foi definida pela cena Landsat TM 5 (órbita 230 / ponto 65). Ela é uma das cinco cenas que engloba Apuí, abrangendo 37% da área do município e incluindo sua sede municipal e os principais acessos ao local. Uma série multitemporal de 10 imagens Landsat TM 5 do período de 2001 a 2011 foi utilizada neste estudo, com exceção do ano de 2002 que não possui imagens disponíveis.

As imagens foram compostas por seis bandas ópticas com resolução espacial de 30 metros. A imagem de 2011 foi georreferenciada com base no mosaico GeoCover da NASA, sendo projetada para o sistema UTM, Datum WGS 1984, Zona 21 Sul, sendo posteriormente utilizada como base para o georreferenciamento das demais imagens no *software* Arcgis 9.3.

O fluxograma da Figura 1 representa os procedimentos utilizados no estudo. Uma máscara foi elaborada a partir do arquivo vetorial do desmatamento acumulado até o ano de 2011 elaborado pelo PRODES. O arquivo foi transformado em uma imagem matricial (*raster*) binária, originando a máscara. O propósito da máscara foi manter nas cenas apenas áreas

efetivamente desmatadas em cada cena, excluindo do processo de classificação componentes da hidrografia (rios e reservatórios de água), de formações de vegetação natural não florestada (áreas de campina e savana) e nuvens e sombras presentes eventualmente na cena. Isso objetivou a redução de erros no processo de classificação das imagens na medida em que limitou o processo de classificação às áreas de interesse do estudo. Antes da aplicação da máscara, todas as imagens foram redimensionadas para ajustar seus tamanhos ao da máscara.

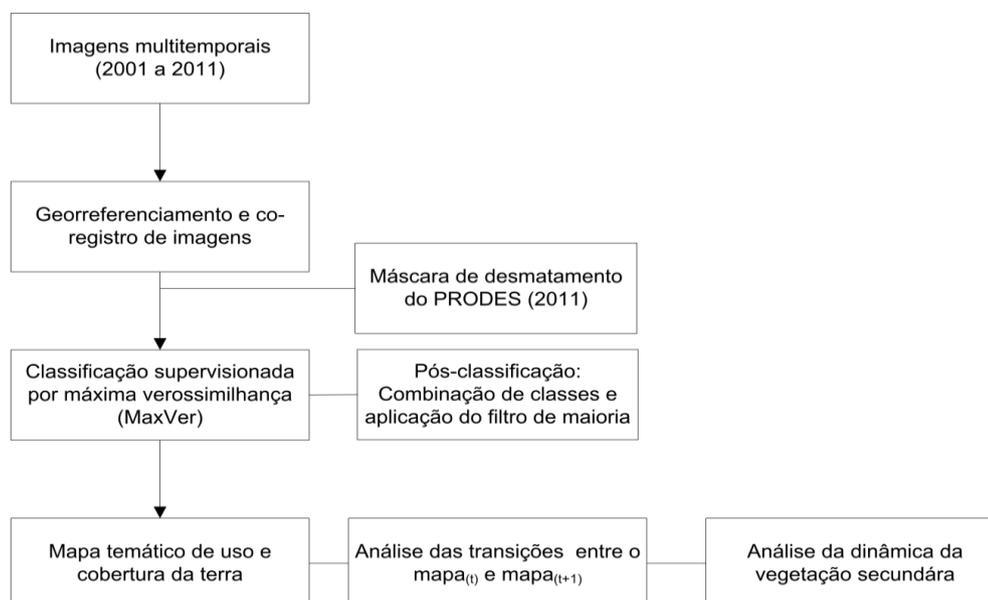


Figura 1. Metodologia empregada para classificação e análise das imagens multitemporais.

Com as imagens mascaradas foi realizada a classificação supervisionada utilizando o método da máxima verossimilhança (*maximum likelihood*) no *software* Envi 4.7. Este tipo de classificação baseia-se no uso de um algoritmo com intuito de determinar os pixels que representam valores de reflexão de uma determinada classe temática.

Ao menos quatro classes temáticas foram mapeadas em cada imagem, seguindo categorização similar ao do TerraClass (Embrapa e Inpe, 2011): i) “vegetação secundária” (pasto sujo, regeneração com pasto e vegetação secundária), ii) “floresta”, iii) “hidrografia” (rios, lagos e reservatórios de água) e iv) “desmatamento” (pastagens limpas, pastagens sujas, área urbana, áreas agrícolas, áreas com solo exposto, estradas e acessos). Nuvens e respectivas sombras foram registradas e agrupadas em uma classe adicional. Para cada uma dessas classes temáticas foram selecionadas tantas amostras de treinamento quanto necessárias a fim de discriminar da melhor maneira possível o conjunto de padrões espectrais dos pixels correspondentes a uma mesma forma de cobertura da terra. Assim, por exemplo, foram amostradas individualmente áreas de floresta sombreadas pelo relevo ou, pelo contrário, expostas diretamente à radiação solar em platôs e encostas, as quais apresentam padrões espectrais distintos entre si. A pós-classificação das imagens consistiu em duas etapas. Na primeira, as diferentes amostras de treinamento foram agrupadas (*Combine Classes*) em suas respectivas classes temáticas. Em seguida, um filtro de maioria (*Majority Analysis*) foi aplicado utilizando uma janela de 3 x 3 pixels a fim de reduzir os ruídos oriundos da classificação.

2.3. Avaliação e análise das imagens classificadas

A avaliação da classificação das imagens foi feita de duas maneiras. A partir de uma matriz de confusão no *software* Envi 4.7 o percentual de acerto da classificação da imagem de 2011 foi estimado com base nos pontos de GPS coletados em trabalho de campo no mesmo

ano. Já o mapeamento do projeto TerraClass realizado no ano de 2008 foi usado para comparar o percentual de acerto da classificação realizada na imagem do mesmo ano. Para isso, o arquivo vetorial do TerraClass foi mascarado, posteriormente rasterizado e teve suas classes de cobertura da terra agrupadas de modo a coincidir com a classificação temática realizada neste estudo, obtendo-se assim a área total de cada classe temática.

A fim de estimar a área ocupada por cada classe temática e minimizar possíveis erros decorrentes da classificação, foi elaborado um modelo no *software* Dinamica EGO que, através de expressões lógicas, identificou e quantificou todas as transições ocorridas entre as diferentes classes temáticas para cada par de anos consecutivos. Desse modo, obtiveram-se informações de desmatamento anual (transição entre “floresta” e “desmatamento”) e do incremento da área de vegetação secundária na paisagem (transição entre “desmatamento” e “vegetação secundária”). O corte da vegetação secundária (*clearing*) foi identificado a partir das transições entre “vegetação secundária” e “desmatamento”. Além disso, foi possível identificar e quantificar os erros associados à classificação, como aqueles relacionados à transição entre a classe “desmatamento” e “floresta”, por exemplo.

As classes temáticas que permaneceram intactas entre dois anos consecutivos corresponderam ao acúmulo de determinada cobertura da terra ao longo do tempo. Nesse contexto, a área de vegetação secundária acumulada na paisagem foi analisada para quantificação de seu tempo de permanência na paisagem, que corresponde ao período pelo qual as áreas de vegetação secundária presentes na paisagem em determinado ano são mantidas antes de serem cortadas. Esse tempo foi estimado considerando-se seis anos-base (2001 a 2007) dos quais a área de vegetação secundária presente foi sequencialmente confrontada com as cenas dos anos subsequentes, obtendo-se, anualmente, a área de vegetação secundária remanescente na paisagem ao longo do tempo.

3. Resultados e Discussão

3.1. Avaliação do mapeamento

A avaliação da classificação supervisionada através da máxima verossimilhança na cena do ano de 2011 indicou uma acurácia global de 87% em relação aos pontos coletados em campo (coeficiente Kappa = 0,82). De um o total de 169 pontos, 147 foram classificados corretamente na imagem. No entanto, houve erros substanciais na classificação das áreas de vegetação secundária, que foi confundida com áreas de floresta pelo classificador (Tabela 1).

Tabela 1. Matriz de confusão com base na imagem de 2011.

Classe temática	Verdade de Campo (pixels)				Total	Inclusão	Omissão
	Desmatamento	Vegetação Secundária	Floresta	Hidrografia			
Desmatamento	58 (100%)	1 (1,8%)	-	-	59 (34,9%)	1,7%	-
Vegetação Secundária	-	32 (59,3%)	-	-	32 (18,9%)	-	40,7%
Floresta	-	21 (38,9%)	41 (100%)	-	62 (36,7%)	33,9%	-
Hidrografia	-	-	-	16 (100%)	16 (9,5%)	-	-
Total pontos	58	54	41	16	169		

O resultado da classificação (2008) demonstrou similaridades com o mapeamento do TerraClass (Embrapa e INPE, 2011), ainda que as cenas tenham datas diferentes (Tabela 2). As principais diferenças entre os dois mapeamentos de uso e cobertura da terra podem ser atribuídas a: i) presença de nuvens e sombras recobrando a cena utilizada pelo TerraClass, que reduziu especialmente as áreas de hidrografia do mapeamento, e ii) erros associados à classificação de “floresta” e “vegetação secundária”, o que será discutido posteriormente.

Tabela 2. Comparação entre as áreas mapeadas neste estudo e pelo projeto TerraClass (Embrapa e INPE, 2011) para a região de Apuí (Landsat 5 TM, cena 230, ponto 65) no ano de 2008.

	Classes de cobertura da terra					
	Desmatamento	Hidrografia	Vegetação secundária	Floresta	Nuvens e sombras	Total
<i>TerraClass – data da imagem: 30/07/2008</i>						
km ²	1214,6 ¹	8,9	393,0 ²	737,7	17,9	2372,1
%	51,2%	0,4%	16,6%	31,1%	0,8%	100%
<i>Este estudo – data da imagem: 28/06/2008</i>						
km ²	1226,2	11,4	305,3	819,1	-	2361,9
%	51,9%	0,5%	12,9%	34,7%	-	100%

¹ Corresponde à soma das classes temáticas “área urbana”, “agricultura anual”, “mineração”, “mosaico de ocupações”, “pasto limpo”, “pasto com solo exposto” e “outros”.

² Corresponde à soma das classes “pasto sujo”, “regeneração com pasto” e “vegetação secundária”.

3.2. Desmatamento

O mapeamento realizado indica que uma área de 1.770 km² encontrava-se desmatada até julho de 2011 em Apuí, o que corresponde a 3,2% da área total do município e a aproximadamente 34% da área total da cena considerada na análise. Isso corresponde a um acréscimo de mais de 77% ao desmatamento acumulado até o ano de 2003, oito anos antes. No mesmo período, o desmatamento acumulado na Amazônia Legal e no Amazonas não aumentou mais que 38%, evidenciando o acelerado desflorestamento em Apuí e corroborando sua inclusão dentre os municípios com as maiores taxas de desmatamento na região (INPE, 2012).

3.3. Vegetação secundária

Além da derrubada da floresta, o corte da vegetação secundária também contribui com expressivas extensões de terra convertidas anualmente para uso agropecuário (Figura 3).

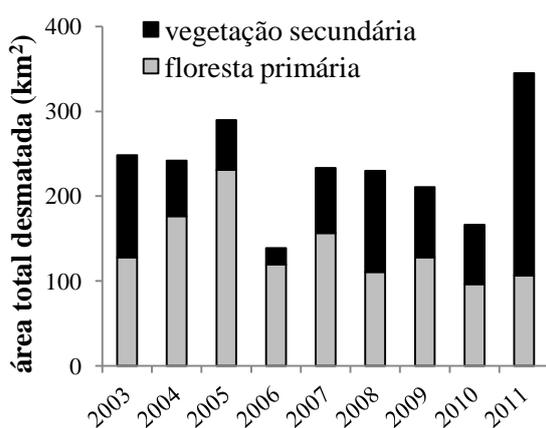


Figura 3. Contribuição do corte da floresta primária e da vegetação secundária para a área total desmatada em Apuí, AM.

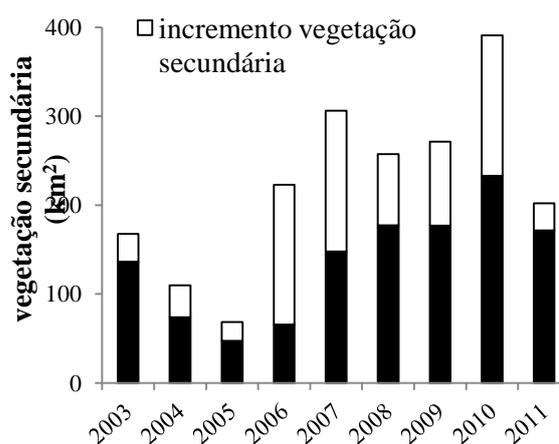


Figura 4. Incremento anual de vegetação secundária (km²) na área total de capoeira mapeada anualmente em Apuí, AM.

A avaliação das imagens classificadas evidenciou que áreas desmatadas em um determinado ano eventualmente passavam à classe de vegetação secundária já no ano posterior, sugerindo que pastagens recém implantadas são classificadas como vegetação

secundária após o recobrimento do solo pela vegetação em regeneração, especialmente quando atividades de manutenção (capina e queima) não são empregadas. Portanto, essa conversão detectada nas classificações realizadas inclui não somente o corte específico da vegetação secundária regenerando sobre áreas abandonadas, mas também as atividades de manutenção de pastagens já consolidadas na paisagem.

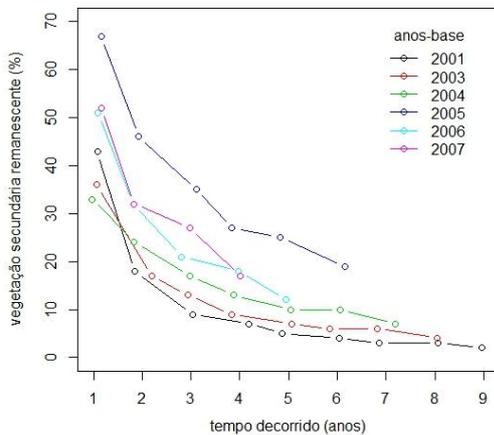


Figura 5. Percentual de área de vegetação secundária remanescente na paisagem no decorrer do tempo em Apuí, AM, para cada ano-base.

ao longo do ano, geralmente decrescendo entre os meses de agosto a outubro com o início do período seco na Amazônia, ocasião em que atividades de derrubada e queima da vegetação são favorecidas.

Portanto, mudanças substanciais na cobertura da terra podem ocorrer em questão de poucos meses, afetando o mapeamento como ferramenta de análise de mudanças na cobertura da terra. Durante o período analisado, a área de vegetação secundária na paisagem variou entre aproximadamente 70-400 km² (Figura 4), representando entre 5–23% do total de áreas desmatadas em Apuí, evidenciando a variação natural na área recoberta por vegetação secundária na paisagem.

3.4. Tempo de permanência da vegetação secundária na paisagem

A área total de vegetação secundária reduziu mais de 50% em apenas dois anos para todos os anos-base considerados. Essa redução exponencial resultou, num período de seis anos, na permanência média de uma área equivalente a apenas 10% da área original de vegetação secundária presente na paisagem (Figura 5).

Isso sugere um ciclo de corte extremamente rápido como reflexo da dinâmica de manutenção das pastagens nas propriedades rurais. Nesse contexto, práticas de capina, roçado e queima da vegetação em regeneração nas pastagens resultam na constante redução das áreas mapeadas como vegetação secundária na paisagem.

O uso intensivo dos solos na região sugere um grande potencial para a degradação dessas áreas em um curto período de tempo. Isso acarreta consequências não somente ao potencial produtivo dessas áreas, que decai rapidamente antes de ser abandonada, como também para a vegetação secundária que se estabelece a partir de então nesses ambientes. Diversos estudos relatam o comprometimento da sucessão ecológica em áreas com histórico de uso relacionado à pecuária, que sustentam florestas secundárias com reduzida biodiversidade e uma sucessão ecológica lenta ou mesmo estagnada (Mesquita et al, 2001). Como consequências, tem-se o

comprometimento do potencial dessas formações florestais em proverem os serviços ambientais associados a essas áreas.

3.5. Avaliação da metodologia de classificação das imagens

A Tabela 3 indica as principais transições relacionadas a erros identificados no presente estudo decorrentes do processo de classificação das imagens.

Tabela 3. Percentual de transições ocorridas entre pares de classes de cobertura da terra associadas a erros no processo de classificação das imagens mapeadas no presente estudo.

Período	desmatamento → floresta	floresta → vegetação secundária	vegetação secundária → floresta
2001->2003		2.7%	2.8%
2003->2004		5.5%	2.6%
2004->2005		4.5%	2.4%
2005->2006		4.1%	6.4%
2006->2007		5.5%	4.1%
2007->2008		7.5%	5.6%
2008->2009		2.3%	6.6%
2009->2010		2.0%	11.8%
2010->2011		3.1%	5.5%
Média ± DP	4.1% ± 1.8%	5.3% ± 2.9%	18.0% ± 7.9%

Dentre as transições originadas a partir da classe temática “desmatamento”, a transição para “floresta” respondeu em média por 4,1% da área total transicionada a partir das áreas “desmatadas”. A principal causa disso esteve associada ao mapeamento de áreas com padrões de desmatamento irregulares na paisagem, como locais atingidos por tempestades de vento (*blowndowns*) e áreas afetadas por incêndios. Inicialmente classificadas como áreas desmatadas na paisagem, ao serem abandonadas e recobertas pela vegetação em regeneração, esses locais assemelham-se às áreas de floresta primária, confundindo o classificador.

Já a transição entre as classes “floresta” e “vegetação secundária” correspondeu em média a 5,3% do total de áreas que anualmente transicionam a partir da classe “floresta”. Embora essa transição possa ocorrer em casos de degradação da floresta (exploração madeireira ou abertura de clareiras), a análise das imagens sugere que o classificador é incapaz de distinguir o padrão espectral entre capoeiras e áreas de floresta localizadas em porções do relevo expostas diretamente à radiação solar durante a passagem do satélite, situadas tanto em encostas como em platôs.

Entretanto, a fonte de erro mais significativa nos mapeamentos correspondeu às transições de “vegetação secundária” para “floresta”, que em média contabilizou 18% da área total anual originada a partir da classe de “vegetação secundária”. Esse mesmo erro foi detectado na análise da imagem de 2011, onde 38,9% das áreas de capoeira identificadas em campo foram classificadas como floresta no mapeamento (Tabela 2). Isso ocorre basicamente nas bordas de floresta primária, geralmente associadas à vegetação secundária, e em áreas que a floresta situa-se em relevo acentuado, de modo análogo ao descrito para a transição entre floresta e vegetação secundária. Além disso, áreas de vegetação secundária antigas na paisagem são de difícil detecção e distinção das áreas de floresta pelo classificador.

4. Conclusões

Os resultados demonstraram uma intensa dinâmica da vegetação secundária em Apuí, com as áreas recobertas por vegetação secundária temporalmente e espacialmente na paisagem conforme o período do ano e a expansão e manutenção das áreas de pecuária. Da

área total de vegetação secundária mapeada em um determinado ano, apenas 10%, em média, permanecem presentes na paisagem decorridos seis anos. Esse cenário sugere o comprometimento do solo nessas áreas com reflexos sobre o desenvolvimento da vegetação secundária após seu abandono, afetado o provimento dos serviços ambientais associados a essas formações florestais.

A metodologia empregada foi útil para o mapeamento da cobertura da terra, mas a utilização de ferramentas que permitam a sobreposição das imagens classificadas e a extração de informações quantitativas dos mapeamentos mostrou-se essencial para refinar a análise dos dados e avaliar a dinâmica da cobertura da terra, reduzindo os erros associados ao processo de classificação das áreas de vegetação secundária.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado do Amazonas (FAPEAM), Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), Instituto Nacional de Ciência e Tecnologia dos Serviços Ambientais da Amazônia (INCT/Servamb).

Referências

Almeida, C.A.; Valeriano, D.M.; Escada, M.I.S.; Rennó, C.D. Estimativa de área de vegetação secundária na Amazônia Legal Brasileira. **Acta Amazonica**, v.40, n.2, p.289-302, 2010.

Alves, D.S. Space-time dynamics of deforestation in Brazilian Amazonia. **International Journal of Remote Sensing**, v.23, n.14, p.2903- 2908, 2002.

Carrero, G.C.; Fearnside, P.M. Forest clearing dynamics and the expansion of landholdings in Apuí, a deforestation hotspot on Brazil's Transamazon Highway. **Ecology and Society**, v.16, n.2: 26, 2011.

Chazdon, R.L.; Peres, C.A.; Dent, D.; Sheil, D.; Lugo, A.E.; Lamb, D.; Stork, N.E.; Miller, S.E. The potential for species conservation in tropical secondary forests. **Conservation Biology**, v.23, p.1406–1417, 2009.

Embrapa; INPE. Levantamento de informações de uso e cobertura da terra na Amazônia: Sumário Executivo. TerraClass. Disponível em:
<http://www.inpe.br/cra/projetos_pesquisas/sumario_executivo_terraclass_2008.pdf>. Acesso em: 30.09.2012.

IBGE, Censo 2010. Disponível em: <http://censo2010.ibge.gov.br/>. Acessado em: 16/11/2012. 2012a.

INPE. **PRODES Digital**. São José dos Campos. 2004. Disponível em:
<<http://www.obt.inpe.br/prodesdigital/metodologia.html>>. Acesso em: 28.09. 2012.

Klemick, H. Shifting cultivation, forest fallow, and externalities in ecosystem services: Evidence from the Eastern Amazon. **Journal of Environmental Economics and Management**, v.61, p95–106, 2011.

Lu, D.S.; Mausel, P.; Brondizio, E.; Moran, E. Classification of successional forest stages in the Brazilian Amazon basin. **Forest Ecology and Management**, v.181, n.3, p.301-312, 2003.

Lugo, A.E. The Emerging Era of Novel Tropical Forests. **Biotropica**, v.41, p. 589–591, 2009.

Mesquita, R.C.G.; Ickes, K.; Ganade, G.; Williamson, G.B. Alternative successional pathways in the Amazon Basin. **Journal of Ecology**, v.89, p.528–537, 2001.

Perz, S.G.; Skole, D.L. Secondary Forest Expansion in the Brazilian Amazon and the Refinement of Forest Transition Theory. **Society & Natural Resources**, v.16, p.277–294, 2003.

Toledo, M.; Sallick, J. Secondary Succession and Indigenous Management in Semideciduous Forest Fallows of the Amazon Basin. **Biotropica**, v.38, p.161–170, 2006.