

Detecção de mudanças na cobertura vegetal orientada à atualização de mapas de uso e cobertura das terras

Luiz André Tissiani Scharlau¹
Attílio Antonio Disperati¹
Francisco Dario Maldonado²
Antonio José de Araujo¹

¹ Curso de Pós-graduação em Ciências Florestais UNICENTRO/Irati, PR-153, KM 7, Bairro Riozinho, 84.500-000 – Irati, Paraná, Brasil
anscharlau@gmail.com

² Centro Regional de Geomática – CEREGEO, Universidad Autónoma de Entre Ríos-UADER, Diamante, Entre Ríos, Argentina
francisco.dario.maldonado@gmail.com

Abstract. The objective of this study was to update a map of land use using a map of intensity of changes. The periodic generation of land use maps, in many cases, is based on the updated of previous period maps, so the operation can be more economical but the accuracy of some classes of the new map can be low and only acceptable for classes of interest. This form of update is mainly used for classes that experiencing changes will change the thematic legends. The update method used a simple cross between map use and land cover map of 2000 with the intensity changes of 2001/2009 for the use map in 2009. The result showed that the natural forest class can be reliably updated and the areas lost by this class, only present confusion to distinguish between class agriculture and forestry in the initial deployment. The class reforestation can be reliably updated from the loss of forest class in its advanced stages, when it has a higher spectral response than the natural forest. This update maps proved unreliable to update the classes of agricultural use, livestock and natural areas in urban areas, but these results can be improved using techniques that consider the characteristics of the transition regions.

Palavras-chave: vegetation cover, monitoreo, multitemporal, change detection, remote sensing.

1. Introdução

O objetivo deste estudo foi a atualização de um mapa de uso e cobertura das terras usando um mapa da intensidade das mudanças na cobertura vegetal e posteriormente a análise da confusão nos resultados. Este objetivo foi motivado pela necessidade de geração periódica de mapas de uso em base a mapas de uso do período anterior, como possível alternativa economia à geração de um mapa de uso completamente novo.

A atualização periódica de mapas de uso é uma das atividades mais úteis do sensoriamento remoto orbital, segundo Jensen (2009), para isso existe grande variedade de procedimentos adaptados para cada necessidade. Em geral são usadas metodologias orientadas a obter um novo mapa de uso e cobertura repetindo os procedimentos para obter mapas anteriores. Porém a atualização e conseguinte correção do mapa de uso anterior, usando técnicas de detecção de mudanças, podem ser mais rentáveis, sobre tudo quando a atualização é freqüente como ocorre nos sistemas operacionais de monitoramento de áreas naturais sob grande pressão de ocupação, áreas de proteção ambiental ou fronteiras agropecuárias. Nesses casos quando a atualização requeira periodicidade é usada uma técnica de detecção de mudanças na cobertura vegetal aplicada de forma confiável principalmente para as classes de interesse. Este procedimento é confiável, sobretudo se essas classes apresentam mudança temática quando apresentam mudanças espectrais, como ocorre com a perda de florestas naturais ou de mata ciliar.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo está localizada no município de Balsa Nova, Região Metropolitana de Curitiba, as coordenadas geográficas de 25°32'34" de latitude sul e 49°44'16" de longitude oeste e 25°36'21" de latitude sul e 49°35'38" de longitude oeste. Esse município apresenta uma área territorial de 397 Km², correspondente a 0,2% do Estado do Paraná, IBGE (2010). A vegetação da área de estudo é parte do bioma Mata Atlântica, representada pela Floresta Ombrófila Mista - FOM, onde ocorrem a *Araucaria angustifolia*, conhecida como Pinheiro do Paraná, a *Ilex paraguariensis* (erva-mate) e a *Ocotea porosa* (imbuia), dentre outras espécies típicas desse domínio. Compreende as formações florestais que ocupam a porção intermediária das encostas da Serra do Mar, situadas entre 600 e 1.200 metros de altitude segundo Kersten et. al. (2008). O solo apresenta composição variada, originado de um conjunto heterogêneo de rochas sedimentares, incluindo arenitos, siltitos, folhelhos, argilitos, diamictitas, tilitos e ocasionalmente carvão, MINEROPAR (2006).

Os materiais usados no trabalho foram o Mapa de uso da terra do ano de 2000 para a área de Balsa Nova (Figura 1), com legenda de 8 temas e alta acurácia temática (K=0,92) em razão de ser obtido da interpretação de um mosaico de ortoimagens coloridas com 0,84m de resolução espacial, em Scharlau (2011), fornecidas pela Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental do Estado do Paraná – SUDERHSA, colorido normal do ano de 2000, SUDERSA (2009).

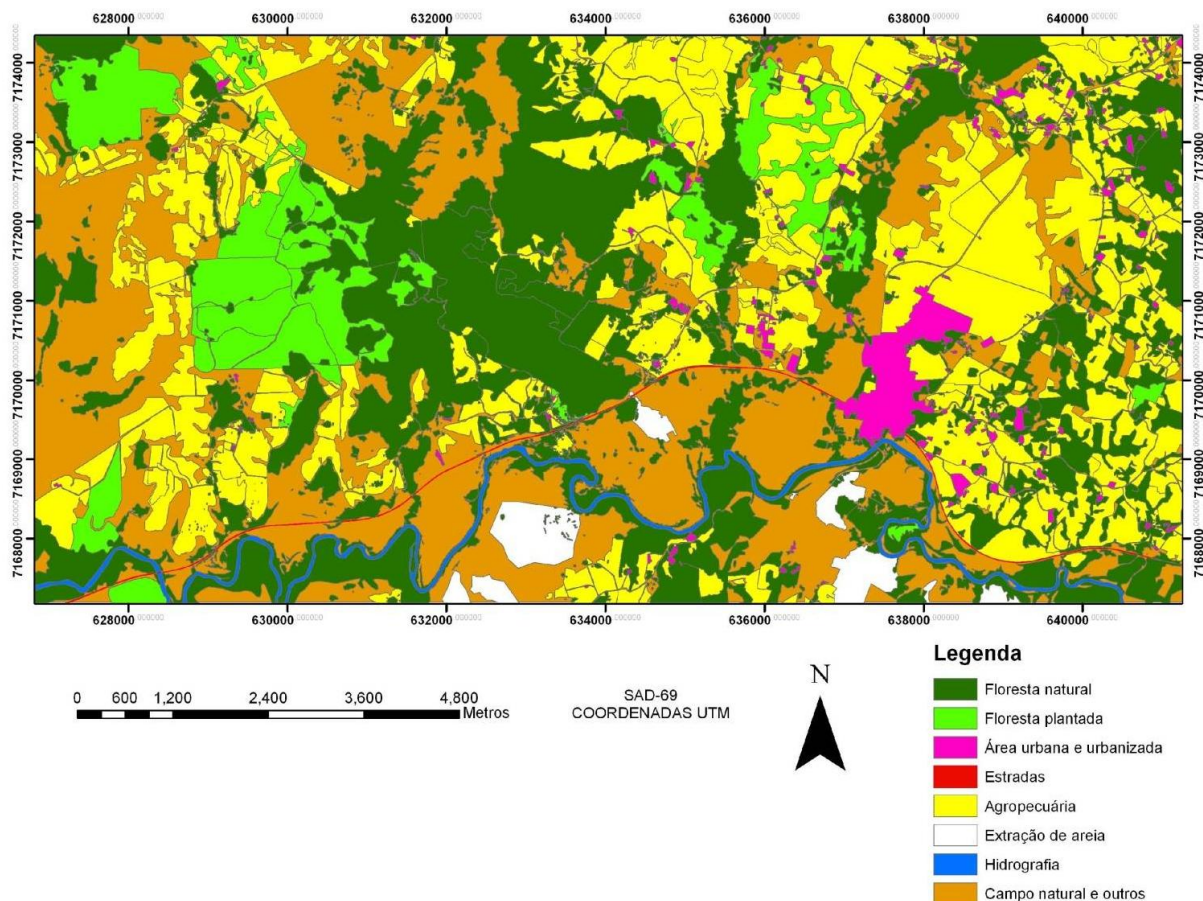


Figura 1. Mapa de uso das terras do ano 2000. De Scharlau (2011).

O segundo mapa utilizado foi o "Mapa de intensidade das mudanças na cobertura vegetal" foi obtido em Scharlau (2011), usando a técnica de detecção de mudanças na cobertura vegetal- RCEN, segundo Maldonado e Santos (2005) e Maldonado et al. (2007), aplicada às imagens Landsat TM das datas 28/07/2001 e de 03/08/ 2009. Essa técnica produz uma

imagem intensidade a que posteriormente é limiarizada para produzir um “Mapa” de cinco classes temáticas cujo significado se refere à intensidade e direção da mudança da cobertura vegetal. As classes de média intensidade foram definidas entre os limites de não mudança (um desvio) e dois desvios-padrão, e a alta intensidade desde dois desvios-padrão até os extremos da distribuição de frequência. Desta forma o mapa de intensidade das mudanças possui uma legenda de não mudança, duas de ganho e duas de perda de cobertura vegetal.

Para a estimação da acurácia do mapeamento foram usados 210 pontos de controle temático obtidos em levantamento de campo em novembro de 2009. Os softwares utilizados foram ArcView versão 9.3 e Erdas versão 9.1.

A metodologia articula um cruzamento temático de dois mapas para obter o "Mapa da dinâmica do uso e cobertura" e posteriormente uma agrupação de temas para obter o "Mapa de uso atualizado". O primeiro cruzamento temático se efetua entre o mapa de uso para o ano 2000 e o mapa de intensidade das mudanças entre os anos 2001 e 2009. Essas datas correspondem aproximadamente à mesma época do calendário agrícola de 2001 e 2009, época da preparação dos solos, pelo que a dinâmica própria da atividade agrícola aparece no mapa de intensidades como não mudança ou mudanças pouco intensas.

O "Mapa de uso das terras de 2000" é atualizado com o “Mapa da intensidade das mudanças na cobertura vegetal 2001/2009” para obter o "Mapa de uso das terras 2009". Para analisar esta atualização se usou um resultado intermédio o "Mapa da dinâmica do uso e cobertura das terras 2001/2009", cuja legenda está formada pelo estado inicial e final dos mapas 2000 e 2009. Esse mapa permite agrupar e analisar a confiabilidade das classes da dinâmica para atualizar as classes de uso e cobertura ao ano 2009.

A classe floresta natural se apresenta alguma mudança é interpretada como mudança temática qualquer seja a intensidade. Considerando que um ganho na floresta ombrófila mista significa que houve um agrupamento por reflorestamento e uma perda significa corte raso para agricultura ou uma fase inicial da implantação de reflorestamentos. A classe agropecuária apresenta poucas mudanças por ser usadas imagens de uma mesma época e de baixa cobertura ou de emergência de cultivos. A perda intensa dentro desta classe é rara e um ganho alto de cobertura nesta época pode ser interpretado como mudança ao uso florestal nesse período de nove anos. Algumas áreas de mudanças de média intensidade foram interpretadas como mudanças de classe, aumentando a superfície ocupada pela classe campo natural e outros. A classe campo natural e outros agrupa classes que não podem ser discriminadas com esta técnica, como pastagem e macega, por exemplo.

3. Resultados e Discussão

No primeiro resultado do cruzamento temático se obteve o mapa da dinâmica de uso e cobertura 2001-2009 com 12 classes, apresentado na Figura 2.

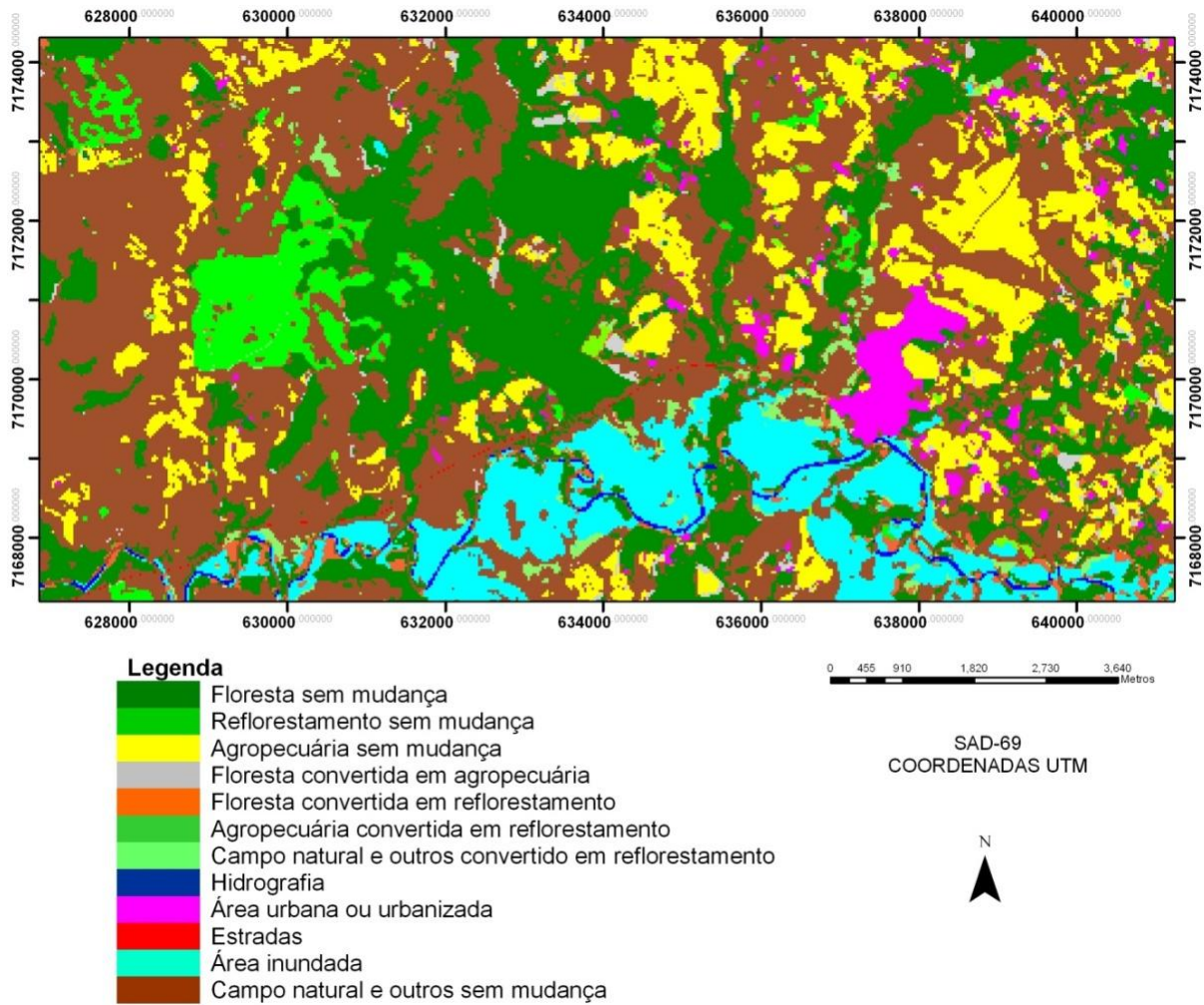


Figura 2. Mapa da dinâmica do uso e cobertura 2000 a 2009.

O mapa apresenta grandes áreas de floresta na porção central onde uma parte foi convertida para reflorestamento em numerosos polígonos da porção central e sul, de relevo mais movimentado. A conversão para agropecuária se produz principalmente em seu lado leste mais próximo a zona de maior ocupação humana, polígonos magenta na Figura 2. As áreas de campo natural que foram convertidas para reflorestamento estão situadas nas áreas mais baixas próximas a mata ciliar do centro oeste da área próxima a Balsa Nova. Pode-se observar no mapa que essas áreas de mata ciliar não apresentaram mudanças importantes no período considerado. A seguir se apresenta na Tabela 1 as classes temáticas nos mapas resultados e superfícies das classes.

Tabela 1. Classes de interesse no mapa de uso e cobertura da terra 2000 e mapa atualizado para 2009.

| CLASSES | MAPA DE USO 2000 (ha) | MAPA DA DINÂMICA 2001/2009 (ha) | MAPA DE USO 2009 (ha) | DIFERENÇA % |
|---|-----------------------|---------------------------------|-----------------------|--------------|
| Floresta sem mudança | | 2.510,6 | | |
| FLORESTA NATURAL | 3.243,4 | | 2.510,6 | -22,6 |
| Agropecuária sem mudança | | 1.327,6 | | |
| Floresta convertida em agropecuária | | 147,0 | | |
| AGROPECUARIA | 2.955,3 | | 1.474,6 | -50,1 |
| Reflorestamento sem mudança | | 387,9 | | |
| Agropecuária convertida em reflorestamento | | 53,1 | | |
| Floresta convertida em reflorestamento | | 148,9 | | |
| Campo natural e outros convertidos em reflorestamento | | 132,3 | | |
| REFLORESTAMENTO | 822,1 | | 722,2 | -12,2 |

| | | | |
|---|-----------------|-----------------|----------------|
| Campo natural e outros sem mudança | | 4.580,9 | |
| CAMPO NATURAL E OUTROS SEM MUDANÇA | 2.806,5 | | 4.580,9 |
| Área urbana | 220,9 | 244,3 | 10,6 |
| Hidrografia | 108,2 | 55,4 | -48,8 |
| Estradas | 8,7 | 8,6 | -1,1 |
| TOTAL DEMAIS ÁREAS | 519,1 | 1.143,6 | 116,1 |
| TOTAL GERAL | 10.347,1 | 10.341,9 | -0,05 |

Os resultados encontrados indicaram que para a atualização de um mapa de uso com um, mapa de detecção de mudanças, a partir de uma imagem de média resolução espacial do Landsat 5 TM, obteve-se um bom índice de exatidão global, no valor de 0,7, e, um índice Kappa muito bom, 0,64, segundo a categorização de Landis e Koch (1977). Foram utilizados 210 pontos de controle, sendo 147 o número de acertos geral. O índice Kappa, de acordo com a interpretação terrestre indica que 64% do que foi analisado corresponde à realidade, ao comparar o existente em campo com o referido mapa. Esse índice é considerado alto em um mapeamento com uma classe tematicamente muito ampla, como era a classe campo natural e outros sem mudanças, deve ser analisado em conjunto com os índices de cada tema mapeado.

Quanto aos erros de inclusão e omissão, pode-se dizer que, tomando-se como base a primeira classe, floresta sem mudanças, obteve-se um erro de inclusão de 33,3%, quando foram incluídas as classes 2, 3 e 12 (reflorestamento sem mudanças, agropecuária sem mudanças e campo natural e outros sem mudanças), e um erro de omissão de 12,5%, ao serem excluídos dois pontos como sendo as classes 3 e 5 (agropecuária sem mudanças e floresta para reflorestamento).

Tabela 2. O resultado da matriz de confusão para o mapa 2009.

| Classes | Erro de Inclusão | Erro de Omissão |
|---|------------------|-----------------|
| 1-Floresta sem mudança | 33,3 | 12,5 |
| 2-Reflorestamento sem mudança | 15,0 | 19,0 |
| 3-Agropecuária sem mudança | 5,1 | 54,3 |
| 4-Floresta para agropecuária | 66,6 | 0 |
| 5-Floresta para reflorestamento | 50,0 | 0 |
| 6-Agropecuária para reflorestamento | 0 | 0 |
| 7-Campo natural e outros para reflorestamento | 0 | 0 |
| 8-Hidrografia | 0 | 0 |
| 9-Área urbana e urbanizada | 29,1 | 10 |
| 10-Estradas | 0 | 27,2 |
| 11-Área inundada; | 6,2 | 0 |
| 12-Campo natural e outros sem mudança | 51,8 | 22,5 |

A classe agropecuária convertida em reflorestamento também oferece boa confiabilidade, esta é obtida da intersecção de áreas de agropecuária com áreas de alto ganho de cobertura vegetal, sobretudo pela razão de as imagens serem de época de baixa cobertura de cultivos. As áreas de alta perda de cobertura vegetal, associadas espacialmente a áreas urbanas e urbanizadas, foram interpretadas como expansão das áreas urbanas. Porém, algumas dessas novas áreas podem ter sido omitidas quando se considera esta condição de vizinhança, podendo-se assim estimar um erro de omissão alto, considerando-se uma legenda não confiável.

A metodologia apresenta dificuldade para atualizar a classe temática campo natural e outros, nesta as mudanças fortes podem ter significado para atualizar a classe agropecuária ou reflorestamentos, e as mudanças de pouca intensidade nessa classe não foram consideradas para uma mudança temática.

Porém, a exatidão global do mapa obteve um índice Kappa bom de 0,64 segundo a categorização de Landis e Koch (1977). Assim, os resultados encontrados indicaram que para a atualização de um mapa de uso com um, mapa de intensidade das mudanças, a partir de uma imagem de média resolução espacial do Landsat 5 TM, obteve-se um bom índice de exatidão global. Dos 210 pontos de controle utilizados 147 foram o número de acertos geral, indicando

também que a atualização de algumas classes foi pouco precisa. Esse índice foi considerado alto para um mapeamento com uma classe tematicamente fragmentada e de ampla distribuição espacial, como “campo natural e outros”, assim o mapeamento deve ser analisado em conjunto considerando espacialmente cada tema mapeado (Tabela 2 e Tabela 3).

Tabela 3. Erros de omissão e inclusão dentre as classes de interesse.

| Classes de Atualização | Classes de Interpretação Terrestre | | | | | | | | | | | | Exatidão Global | Erro de Inclusão | |
|------------------------|------------------------------------|----|------|---|---|---|---|---|----|------|----|------|-----------------|------------------|------|
| | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 | 9 | 10 | 11 | 12 | | | |
| Visual | | | | | | | | | | | | | | | |
| 1 | 14 | 3 | 2 | | | | | | | | | | 2 | 21 | 33,3 |
| 2 | | 17 | 3 | | | | | | | | | | | 20 | 15 |
| 3 | 1 | | 37 | | | | | | | | | | 1 | 39 | 5,1 |
| 4 | | | 8 | 3 | | | | | | | | | | 11 | 66,6 |
| 5 | 1 | | | | 1 | | | | | | | | | 2 | 50 |
| 6 | | | 1 | | | 1 | | | | | | | | 2 | 0 |
| 7 | | | | | | 1 | | | | | | | 2 | 4 | 0 |
| 8 | | | | | | | 1 | | | | | | | 8 | 0 |
| 9 | | | 1 | | | | 1 | | 18 | 3 | | | 2 | 25 | 29,1 |
| 10 | | | | | | | | | | 8 | | | | 8 | 0 |
| 11 | | | | | | | | | | 1 | | 15 | | 16 | 6,2 |
| 12 | | 1 | 27 | | | | | 1 | | | | | 25 | 54 | 51,8 |
| Exatidão Global | 16 | 21 | 79 | 3 | 1 | 2 | 1 | 9 | 20 | 11 | 15 | 32 | | 147 | |
| Erro de Omissão | 12,5 | 19 | 54,3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 10 | 27,2 | 0 | 22,5 | | | |

Na Tabela, os números das classes de interpretação correspondem: 1-Floresta natural sem mudança; 2-Floresta plantada sem mudança; 3-Agropecuária sem mudança; 4-Floresta natural para agropecuária; 5-Floresta natural para floresta plantada; 6-Agropecuária para floresta plantada; 7-Campo natural e outros para floresta plantada; 8-Hidrografia; 9-Área urbana e urbanizada; 10-Estradas; 11-Área inundada; 12-Campo natural e outros sem mudança.

Na Tabela 3 os erros de inclusão e omissão se observam que a classe floresta natural sem mudança, obteve um erro de inclusão de 33,3%, quando foram incluídas as classes 2, 3 e 12 (floresta plantada sem mudança, agropecuária sem mudança e campo natural e outros sem mudança), e um erro de omissão de 12,5%, ao serem excluídos dois pontos como sendo as classes 3 e 5 (agropecuária sem mudança e floresta natural para floresta plantada). As classes de degradação representaram mudanças na cobertura da terra que estão associadas com a perda da cobertura vegetal sendo a intensidade de mudança refletida pela intensidade da radiometria. Por exemplo, uma mudança caracterizada pela substituição da cobertura florestal por solo exposto será associado a uma degradação forte. Noutro sentido, mudanças caracterizadas por um aumento da cobertura vegetal como conversão de pasto degradado à plantação, serão associados a uma recuperação forte.

Na Figura seguinte se mostra o resultado do agrupamento das classes do mapa da dinâmica para produzir o “Mapa de uso e cobertura das terras 2009” (Figura 4).

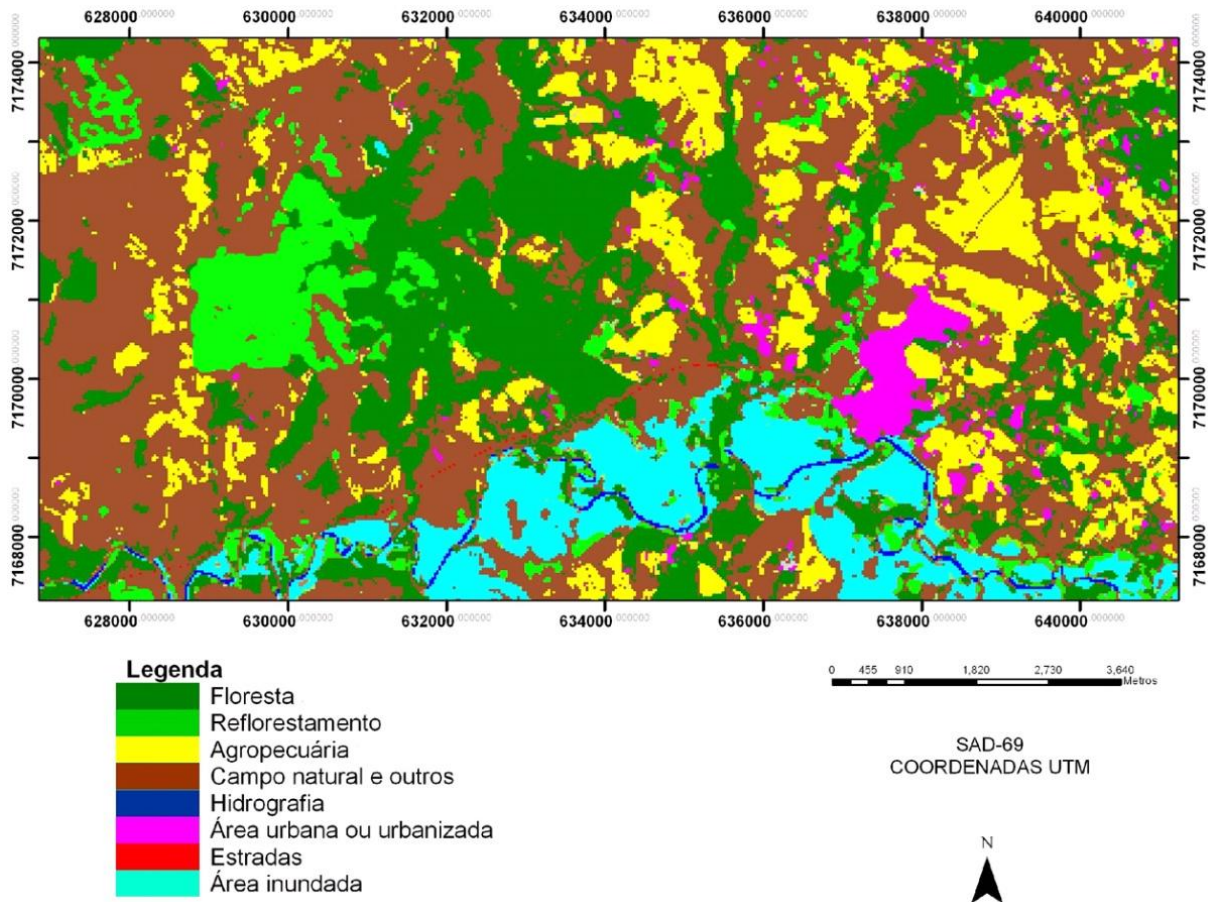


Figura 3. Mapa de uso das terras, após atualização e agrupamento das classes do Mapa da dinâmica do uso 2009.

No mapa da Figura 3, verificou-se que dos 2.806,6 ha de floresta, em 2009, 147 ha foram convertidos para agropecuária e 148,9 ha convertidos para reflorestamento. A superfície convertida em reflorestamento em 2009 foi de 334 hectares, das quais 44% são de antigas florestas, 16% áreas de agropecuária e 40% pertenciam a classe campo natural e outros sem mudança.

4. Conclusões

Pode-se concluir que a atualização do mapa de uso apresenta confusão para algumas classes e embora seja uma operação mais econômica que a confecção de um novo mapa de uso, essa não pode ser utilizada com os mesmos fins, pois é insatisfatória para atualizar todas as classes de um novo mapa de uso. Esta forma de atualização pode ser satisfatória se o interesse dos usuários do novo mapa se referirem ao seguimento da evolução das áreas de florestas naturais. Sobretudo considerando a rapidez e facilidade com que o mapa de intensidade das mudanças pode ser obtido como sinalara Quirino et al (2005), ao atualizar uma área florestal utilizando imagens Landsat TM na região leste da Floresta Nacional do Tapajós-PA, tendo concluído que nessa região há um potencial significativo deste método em termos de acurácia e simplicidade.

Com relação à temática de validação do método utilizado, diante à classificação do mapa atualizado, foi tido como bom, através dos cálculos pela matriz de confusão de acordo com Congalton e Green (1999). Embora algumas classes apresentem confusão inaceitável na matriz de confusão, se recomenda para análise o índice apresentado por Pontius e Millones (2011), que avalia a confusão espacial. Finalmente, esta metodologia pode ser melhorada o

uso de classificadores para avaliar a transição de cada classe que poderia ser uma forma de melhorar a atualização de mapas de uso.

Referências Bibliográficas

Congalton, R. G.; Green, K. **Assessing the Accuracy of Remotely Sensed Data: Principles and Practice**. Mapping sciences series. New York: CRC Press Inc., 1999. 98p.

Coppin, P. R.; Jonckheere, I.; Nackaerts, K.; Muys, B. ; Lamblin, E. Review Article: Digital change detection methods in ecosystem monitoring: a review. **International Journal of Remote Sensing**, v.25, n.9, p.1565-1596, 2004.

Frau, C. M.; Santos, J. R.; Maldonado, F. D.; Valenzuela, J. G.; Valeriano, M. M.; Rojas, Y. O.; Hernandez, Y. M. Caracterización y monitoreo de paisaje semiárida en la Región del Maule mediante dados satelitales. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, v.14, n.6, p.660-668, 2010.

Jensen, J.R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p.

Kersten, R.A.; Galvao, F.; Lopes, O.F. **A formação das paisagens paranaenses**. Geología do Estado de Parana. Curitiba: Ed.UFP, 2008.

Korram, S.; Biging, G.S.; Chrisman, N.R.; Colby, D.R.; Congalton, R.G.; Dobson, J.E.; Ferguson, R.L.; Goodchild, M.E.; Jensen, J.R.; Mace, T.H. **Accuracy Assessment of Remote Sensing-Derived Change Detection**. Monograph Series. Maryland: American Society for Photogrammetry and Remote Sensing. 1999. 65p.

Maldonado, F.D.; Santos, J.R.; Graça, P.M.L. Change detection technique based on the radiometric rotation controlled by no-change axis, applied on a semi arid landscape. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 8, p.1789-1804, 2007.

MINEROPAR. Minerais do Paraná. Disponível em: <<http://www.mineropar.pr.gov.br/>>. Acesso em: 12.jan.2006.

Pontius, R.G.; Millones, M. Death to Kappa: birth of quantity disagreement and allocation disagreement for accuracy assessment. **International Journal of Remote Sensing**, v. 32, n. 15, p.4407-4429, 2011.

Scharlau, L.A.T. **Análise temporal do uso da terra no município de Balsa Nova, PR**. 2011. 140p. Dissertação (Mestrado em Ciências Florestais) - UNICENTRO, Irati. 2011.

SUDERHSA – Superintendência de Desenvolvimento de Recursos Hídricos e Saneamento Ambiental. Web. Disponível em: <www.suderhsa.pr.gov.br>. Acesso em: 21.jan.2009.

Veloso, H.P.; Rangel Filho, A.L.; Lima, J.C. **Classificação da vegetação brasileira, adaptada a um sistema universal**. Rio de Janeiro, Brasil. 1991.