

Uso e cobertura da terra na região da Floresta Nacional do Tapajós (PA) com suporte de imagens LISS III

Rosana Corazza¹
Henrique Luis Godinho Cassol²
Tatiana Mora Kuplich¹

¹Centro Regional Sul de Pesquisas Espaciais – CRS/INPE
Avenida Roraima, S/N, Campus UFSM - Santa Maria, RS, Brasil - CEP 97105-970
corazza_ro@yahoo.com.br; tmk@dsr.inpe.br

²Universidade Federal de Santa Maria – UFSM
Avenida Roraima, nº 1000, Bairro Camobi – Santa Maria, RS, Brasil – CEP 97105-900
hlcassol@hotmail.com

Abstract: The recent availability of Indian IRS-P6 (LISS III sensor) satellite images provided by INPE, enabled the use of a new data source for studies in the Amazon region. The images produced by LISS III sensor have 23,5 meter spatial resolution and radiometric resolution of 7 bits. Thus, this study aimed at the land cover mapping in the Tapajós National Forest and surroundings, using LISS III images and the PRODES methodology. To this end, we generated soil, vegetation and shade fraction-images through the Linear Spectral Mixture Model. The soil fraction image was masked twice, with the deforestation polygon/area of PRODES 2009 (which included all deforested areas since 1988), generating an image of the area outside the polygon (with, theoretically, no deforestation) and an image of the area inside the polygon (showing the fate of deforested areas). Those images were segmented and classified with the non-supervised ISOSEG algorithm. In relation to the outer area it was found an increase of 1.5% in deforestation areas in comparison to PRODES and the detection of 409.5 km² of forest degradation (2.6% of area). In the classification of the area inside the deforestation area mapped by PRODES, only around 33% remained as deforested/clearcut areas. Of the remainder, 38.6% corresponded to secondary vegetation. Thus, the use of the LISS III image was effective for the classification of the area, allowing identification of an increase of deforestation areas in comparison to Landsat-TM used by PRODES, and the use and occupation under the current deforestation polygon accumulated since 1988 and mapped by PRODES.

Palavras-chave: deforestation, forest degradation, LISS III, classification, desmatamento, degradação florestal, LISS III, classificação.

1. Introdução

A floresta amazônica possui o maior estoque de biomassa e carbono vegetal quando comparada às florestas boreais e temperadas (Malhi et al., 1999), tendo, portanto, fundamental importância no fluxo global de carbono e na estabilidade das condições climáticas (IPCC, 2007).

As contribuições na emissão de CO₂ na atmosfera, devido a mudanças no uso do solo diminuíram 20% no período de 1990-2000, mas ainda representam 12% do total das emissões antropogênicas (Le Quéré et al., 2009). Destes, estima-se que a floresta amazônica contribua com 1,1-1,9 % das emissões totais de CO₂, ou seja, 520 Mton CO₂ no intervalo de 2008-2009 (Aguiar et al., 2009). Por outro lado, a área desmatada para o ano de 2009 foi de 7.464 km² segundo o Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia – PRODES (PRODES, 2010).

O PRODES utiliza-se de imagens do sensor TM/Landsat para prover as taxas de desmatamento anuais, calculadas desde o ano de 1988 (Câmara et al., 2006). Porém, há o interesse em se estudar a aplicação e precisão de dados de outros sensores com características distintas ao sensor TM, que possam vir a complementar os programas e metodologias

existentes no que se refere ao monitoramento da cobertura vegetal e as taxas de desmatamento.

Dessa forma, dados de sensores remotos alternativos, como o LISS III (*Linear Imaging Self-Scanning System*) a bordo do satélite indiano ResourceSat-1 (IRS-P6), podem fornecer estimativas mais consistentes do que os da série TM, para a extensão de áreas com cobertura florestal e mudanças de uso do solo (Furby e Wu, 2007). As imagens LISS III são disponibilizadas gratuitamente pelo INPE desde fevereiro de 2010. Possuem maior resolução espacial se comparadas às do sensor TM (23,5 metros e 30 metros, respectivamente), porém, sua resolução radiométrica de 7 bits é um bit inferior a do TM. Sendo assim, a utilização de imagens LISS permite obter uma maior precisão na extensão das áreas classificadas, devido a sua maior resolução espacial (Furby e Wu, 2007), entretanto, menor acurácia na classificação de uso do solo, em decorrência da menor resolução radiométrica (Chander et al., 2008).

Inserido neste contexto, o objetivo deste trabalho foi considerado sob duas abordagens: a primeira foi classificar as áreas de corte raso (desmatamento), degradação e floresta, para a área externa ao polígono de desmatamento acumulado do PRODES até o ano 2009 na Floresta Nacional do Tapajós e seu entorno, mediante o uso de imagens do sensor LISS III. A segunda abordagem foi a de classificar, com as imagens LISS III, as áreas de corte raso, vegetação secundária e capoeira, que estão sob a máscara permanente de corte raso do PRODES acumulada desde o ano de 1988.

2. Metodologia de Trabalho

A área de estudo está situada na Floresta Nacional do Tapajós (FLONA do Tapajós) e seu entorno, localizada no estado do Pará, Brasil, totalizando 20.355,28 km². Esta área tem sido intensivamente pesquisada ao longo dos anos e apresenta grande pressão antrópica sobre seus remanescentes florestais em função da rodovia Transamazônica (BR-230) ao sul e da rodovia BR-163 (Cuiabá-Santarém) ao leste, caracterizando o padrão de desmatamento conhecido como “espinha de peixe” (Alves, 2002; Aragão, 2004).

A primeira etapa metodológica do trabalho consistiu no *download* do *shape* da classificação PRODES para o Estado do Pará até 2009 (<http://www.dpi.inpe.br/prodesdigital/prodes.php>) e das imagens do sensor LISS III no site do INPE (<http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>). As duas imagens utilizadas (órbita 319, pontos 077 e 078, bandas 3, 4 e 5) foram produzidas no dia 10 de setembro de 2009. Realizou-se o georreferenciamento das mesmas por meio do mosaico de imagens ortorretificadas de referência *Geocover*, disponibilizadas pela NASA (<http://glcfapp.glc.f.umd.edu/index.shtml>). Posteriormente foi realizado o mosaico das imagens e o recorte das bandas para o polígono da área de estudo no *software* SPRING, versão 5.1.6.

O Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) do SPRING foi aplicado às bandas 3, 4 e 5 do sensor LISS III, conforme a metodologia do PRODES (Shimabukuro et al., 2000), tendo em vista que os intervalos de comprimento de onda das bandas LISS são muito semelhantes aos do sensor Landsat 5/TM (Tabela 1). Empregou-se o Método dos Mínimos Quadrados Ponderados para a geração das imagens-fração solo, sombra e vegetação (Shimabukuro e Smith, 1991). Mediante análise visual, escolheu-se a imagem-fração solo para a classificação dos temas (classes corte raso, degradação, capoeira, vegetação secundária e floresta), por esta ter apresentado maior potencial na discriminação dos alvos.

Com uso da técnica de fatiamento, as áreas de hidrografia e nuvem foram extraídas do Plano de Informação (PI) da imagem-fração solo, nos intervalos de níveis de cinza de 0-40 e 229-255, respectivamente. A banda 4 foi utilizada para o fatiamento da hidrografia e a banda 3 para o fatiamento das nuvens. As áreas fatiadas foram associadas a classes temáticas e, em

seguida, extraídas da imagem-fração solo no programa LEGAL (Linguagem Espacial para Geoprocessamento Algebrico), implementado no SPRING.

Tabela 1 – Intervalos de comprimento de onda das bandas dos sensores TM e LISS III

	TM	LISS III
Banda 3	0,63 – 0,69 μm	0,62 – 0,68 μm
Banda 4	0,76 – 0,90 μm	0,77 – 0,86 μm
Banda 5	1,55 – 1,75 μm	1,55 – 1,70 μm

Fonte: (Chander et al., 2008).

Por fim, a imagem-fração solo foi recortada de acordo com o polígono de corte raso acumulado até 2009 pelo PRODES, originando dois produtos de interesse: a imagem-fração da área externa e da área interna (Figura 2 – a e b).

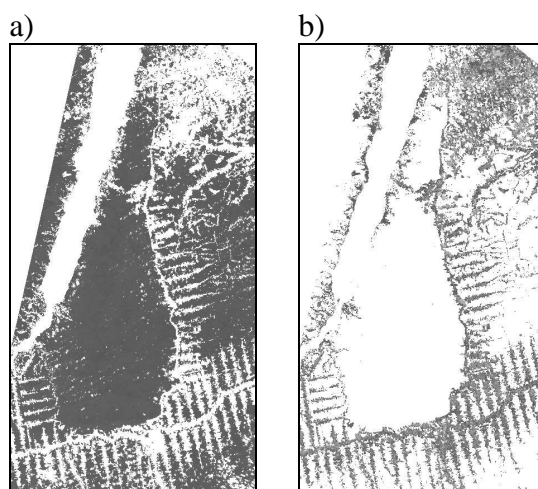


Figura 2 – Imagem-fração solo da área externa (a) e interna (b).

Na sequência segmentou-se as imagens fração-solo com uso do método de crescimento de regiões e dos valores de 4 e 8 para a similaridade e área, respectivamente. Estes valores mostraram maior possibilidade de extração de informações, comparativamente aos valores 8 e 16 preconizados pela metodologia do PRODES (Duarte et al., 2003).

A classificação das imagens-fração foi realizada pelo método não-supervisionado, com a utilização do algoritmo de agrupamento de dados ISOSEG e um limiar de aceitação de 90% (Câmara et al., 2006). A classificação não-supervisionada gerou 11 temas para a imagem-fração solo da área externa e 10 temas para a da área interna. Na área externa os temas foram mapeados para as seguintes classes: corte raso, degradação, floresta e máscara (áreas de nuvem, sobra de nuvem e demais imperfeições), e na área interna para as classes: corte raso, capoeira, vegetação secundária e máscara. As classificações resultantes foram, então, auditoradas visualmente e editadas com uso do algoritmo de edição matricial do SPRING.

Utilizou-se de três terminologias específicas para as classes de floresta degradada e/ou em regeneração, sendo estas: degradação, vegetação secundária e capoeira. A classe *degradação* foi empregada para a área externa ao polígono de corte raso do PRODES, por esta apresentar as áreas de florestas primárias que se encontram em processo de degradação, por meio de técnicas como o corte seletivo. A classe *vegetação secundária* representa a vegetação arbórea localizada na área interna ao polígono do PRODES, e que se estabeleceu após o processo de sucessão de corte raso em floresta secundária (Almeida, et al. 2010). A classe *capoeira*, neste trabalho, foi compreendida como a cobertura vegetal pioneira composta principalmente por uma vegetação herbácea e arbustiva e que apresenta alguma contribuição espectral do solo.

Por fim, realizou-se as medidas de cada classe para cada uma das abordagens. Os resultados alcançados foram comparados com informações de campo sobre os diferentes usos da terra, obtidos em trabalho de campo realizado na segunda quinzena do mês de setembro de 2009, permitindo, assim, verificar a eficácia e a consistência das classificações.

3. Resultados e Discussão

De acordo com a Tabela 2, podemos verificar que para a classificação do PRODES realizada em 2009 há predomínio da classe floresta na área de estudo (62,7%), tendo em vista que nesta área está incluída a Floresta Nacional do Tapajós. A classe corte raso representou 26,5% de área, caracterizando o desmatamento acumulado até 2009. As classes de hidrografia e nuvem apresentam as menores áreas de abrangência (9,1% e 2,7%, respectivamente).

Tabela 2 - Medidas das classes do PRODES, da classificação da área externa e interna.

	Área (km ²)	Porcentagem (%)
PRODES 2009		
Floresta	12.754,0	62,7
Desmatamento até 2009	5.210,2	26,5
Hidrografia	1.846,1	9,1
Nuvem	545,0	2,7
Classificação LISS – Área Externa		
Floresta	11.578,1	73,6
Máscara	3.510,8	22,3
Degradação	409,5	2,6
Corte raso	237,9	1,5
Classificação LISS – Área Interna		
Vegetação secundária	1.913,8	38,6
Corte raso	1.613,6	32,6
Capoeira	1.331,9	26,9
Máscara	95,8	1,9

Verifica-se que a classificação da área externa apresentou um incremento de 1,5% na quantificação da área de corte raso com o uso de imagens do sensor LISS III em relação aos valores encontrados pelo PRODES. Este incremento pode ser explicado por alguns fatores, dentre os quais: o lapso de tempo entre a data das imagens TM utilizadas pelo PRODES (28 de julho de 2009) e a data das imagens LISS III empregadas na classificação (10 de setembro de 2009), a diferença entre a resolução espacial e radiométrica dos sensores, além de pequenos problemas de ajustamento do georreferenciamento da imagem LISS III em relação ao PRODES.

As mesmas suposições podem ser inferidas às áreas florestais degradadas ou em processo de degradação, nas quais há a influência da resposta espectral do solo e da vegetação. Estas áreas constituíram 2,6% da área total e representam uma informação de grande valia, tendo em vista que possuem elevado potencial de serem convertidas em áreas de corte raso. A maior porcentagem da área externa ao polígono de corte raso do PRODES constitui-se de florestas (73,6%). Todavia, é importante destacar que a presença significativa de nuvens sobre a imagem (22,3%) foi um fator limitante à maior precisão dos dados, o que justifica a necessidade de novas classificações em situações onde a cobertura de nuvens seja menos expressiva.

Quanto à classificação da área interna, verificou-se que somente 32,6% do total da área desmatada identificada pelo PRODES, correspondia, de fato, a áreas de corte raso nas

imagens LISS III. O restante da área total (65,5%), excluindo-se a máscara, apresentou algum tipo de cobertura vegetal para a data de passagem do satélite (10/09/2009), sendo que 26,9% da área foi classificada como capoeira e 38,6% como vegetação secundária. A área total de máscara (cobertura de nuvens) foi de 1,9%.

A classe corte raso caracterizou-se pela resposta espectral predominante do solo exposto (Figura 4-a). A classe capoeira foi compreendida como a cobertura vegetal pouco espessa, basicamente composta por arbustos e gramíneas e que, nos dados das imagens de satélite apresentou mistura de resposta espectral do solo e vegetação (Figura 4-b). A classe vegetação secundária, por sua vez, correspondeu à vegetação mais densa, com presença de estrato arbóreo, sobre a qual há predomínio da resposta espectral da vegetação em detrimento da resposta espectral do solo (Figura 4-c).



Figura 4 – Fotografias representativas das classes de uso e cobertura da terra na classificação da área interna – trabalho de campo realizado em 20 de janeiro de 2008.

Na Figura 5 (a e b) são apresentados os mapas temáticos confeccionados em relação às duas abordagens pesquisadas. Sobre as áreas ampliadas à direita dos mapas estão representados os pontos das verdades de campo, obtidos na segunda quinzena de setembro de 2009 com os respectivos usos da terra encontrados.

No mapa da área externa ao corte raso do PRODES (Figura 5-a) verifica-se o predomínio da cobertura de floresta, entretanto, constata-se na verdade de campo que a metodologia empregada não possibilitou a discriminação das áreas florestais sob baixos índices de degradação. No mapa da área interna (Figura 5-b) é possível constatar a distribuição espacial das classes. Nas áreas próximas ao rio Tapajós há predomínio da vegetação secundária. Na região nordeste do polígono e nas áreas próximas às vias de rodagem há predomínio da classe corte raso, o que se deve à intensa ocupação agropastoril existente, com crescente produção de soja.

De acordo com Castro (2004) a soja tende a atingir uma área bastante significativa na Amazônia, principalmente no entorno da malha de transportes. Os novos projetos de infraestrutura tendem a estimular demasiadamente a produção de soja, inclusive viabilizando maior e mais acelerado desmatamento de floresta amazônica em algumas regiões. Isto é especialmente verdade nos entornos dos portos de Itacoatiara (AM) e Santarém (PA) e na região de Sinop e de Alta Floresta (norte do MT).

Na Figura 5 (b) identifica-se um padrão de espacialização das classes, distribuídas da seguinte forma: as áreas de corte raso situam-se nas regiões centrais, especialmente na proximidade das estradas; as áreas de vegetação secundária estão em contato com áreas florestais mais preservadas e as áreas de capoeira encontram-se entre áreas de corte raso (no caso em uso agropecuário) e vegetação secundária. Isto significa que a acessibilidade e a proximidade em relação às áreas de floresta preservada influenciam a permanência de uma área de corte raso ou o abandono de sua exploração, principalmente nos casos onde não há um manejo adequado do solo, levando ao seu esgotamento.

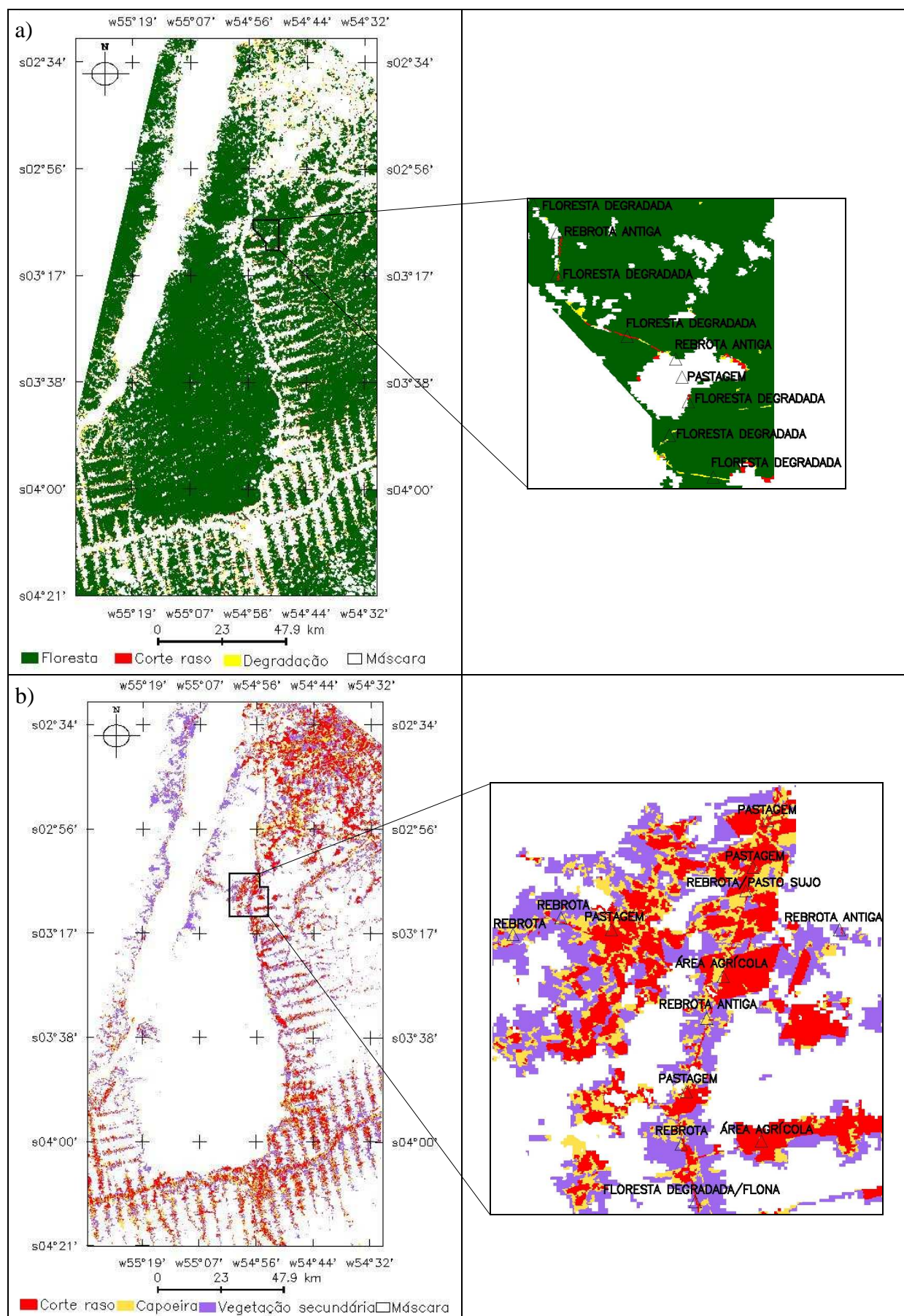


Figura 5 – Mapas de uso e cobertura da terra: a) área externa; b) área interna.

A presença expressiva (em torno de 39%) de vegetação secundária na área mapeada pelo PRODES, indica a baixa consolidação no sistema de produção baseado na pecuária e na produção de grãos. Almeida et al. (2010) apontam a relação inversa entre intensificação de desmatamento e uso da terra e a presença de vegetação secundária. Ainda existe na região a presença de pequenos agricultores que praticam agricultura de subsistência e itinerante, praticando o abandono e permitindo a rebrota da vegetação. Informações de campo, assim como artigo de Cohenca (2007), permitem afirmar que a consolidação na produção de grãos está em ascensão na região desde a construção, em 2001, do porto graneleiro em Santarém, sinalizando menores áreas de vegetação secundária em futuro próximo.

A consistência da classificação pôde ser comprovada por meio da comparação com as informações obtidas em trabalho de campo realizado poucos dias após a obtenção da imagem. Nas áreas classificadas como corte raso, os mais recorrentes tipos de cobertura verificados foram: área agrícola, pastagem, pasto sujo e rebrota/pasto sujo.

4. Conclusões

Com a realização deste trabalho foi possível comprovar o potencial de uso das imagens LISS III para mapeamentos na Amazônia, já utilizadas como alternativa às imagens Landsat/TM. Este potencial identificado justifica a necessidade da continuidade de disponibilização das imagens LISS de forma gratuita, além da realização de novos estudos onde outras áreas sejam enfocadas e as características radiométricas, espaciais e espectrais do sensor sejam mais bem exploradas.

Em relação à área da Floresta Nacional do Tapajós e seu entorno constatou-se que esta apresenta uma dinâmica espaço-temporal de uso e ocupação da terra relativamente intensa. Foram observadas áreas de vegetação secundária na área de desmatamento mapeada pelo PRODES, assim como a presença de áreas de agricultura e pastagem. As imagens LISS III também permitiram o mapeamento de novas áreas de desmatamento e degradação na área externa ao corte raso do PRODES.

Agradecimentos

Ao projeto FAPESP 2008/05268-3 (Mapeamento e monitoramento da Floresta Nacional do Tapajós-PA usando dados de multisensores). A primeira autora agradece ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela concessão de bolsa de Desenvolvimento Tecnológico e Industrial (DTI).

Referências Bibliográficas

Aguiar, A. P. et al. **Estimativa das Emissões de CO₂ por Desmatamento na Amazônia Brasileira**. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2009. Disponível em: <http://www.inpe.br/noticias/arquivos/pdf/Emissoes_CO2_2009.pdf>. Acesso em: 25 out. 2010.

Almeida, C. A., et al. Estimativa da área de vegetação secundária na Amazônia Legal Brasileira. **Acta Amazônica**, 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.

Aragão, L. E. O. C. Modelagem dos padrões temporal e espacial da produtividade primária bruta na região do Tapajós: uma análise multi-escala. 2004. 286 p. (INPE-11423-TDI/951). Tese (Doutorado em Sensoriamento Remoto). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.

Câmara, G.; Valeriano, D. M.; Soares, J. V. **Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal**. São José dos Campos: INPE, 2006. 24 p. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/PRODES>>. Acesso em: 25 out. 2010.

Castro, C. P. Plantio de grãos em áreas de fronteira, ação antrópica e desmatamento: estudo do processo de incorporação ao mercado nacional de novas terras na Amazônia. In: Encontro da Associação Nacional de Pós-Graduação e Pesquisa em Ambiente e Sociedade, 2., 2004, Indaiatuba. **Anais...** Indaiatuba: ANPPAS, 2004, p. 1-20. Disponível em: <http://www.anppas.org.br/encontro_anual/encontro2/GT/GT05/carlos_potiara.pdf>. Acesso em: 25 out. 2010.

Chander, G; Coan, M. J; Scaramuzza, P. L. Evaluation and Comparison of the IRS-P6 and the Landsat Sensors. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 46. n. 1. p. 209-221, 2008.

Cohenca, D. Evolução anual de desmatamentos na Floresta Nacional do Tapajós de 1997 a 2005. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 13., 2007. Florianópolis. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2007. Artigos, p. 6653-6660. Disponível em: <<http://marte.dpi.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2006/11.12.00.34/doc/6653-6660.pdf>>. Acesso em: 25 out. 2010.

Duarte, V., Shimabukuro, Y. E., Aulicino, L. C. M. Metodologia para Padronizar e Atualizar o Banco de Dados do Projeto “PRODES Digital”. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. Artigos, p. 2705-2712. Disponível em: <http://marte.dpi.inpe.br/col/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.17.15.45/doc/19_314.pdf>. Acesso em: 25 out. 2010.

Furby, S.; Wu, X. Evaluation of IRS P6 LISS-III and AWiFS Image Data for Forest Cover Mapping. **CSIRO Mathematical and Information Sciences**, 2007. Disponível em: <http://www.ga.gov.au/image_cache/GA12131.pdf>. Acesso em 25 out. 2010.

IPCC (Intergovernmental Panel on climate Change). **Climate Change 2007: Synthesis Report**. Geneva, Switzerland: IPCC, 2007.

Le Quéré, C. et al.. Trends in the sources and sinks of carbon dioxide. **Nature Geoscience** 2, p. 831-836, 2009.

Malhi, Y.; Baldocchi, D. D.; Jarvis, P. G. The carbon balance of tropical, temperate and boreal forests. **Plant, Cell and Environmental**, vol 22. p. 715-740. 1999.

PRODES (Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto na Amazônia). Disponível em: <http://www.obt.inpe.br/PRODES/PRODES_1988_2009.htm>. Acesso em: 25 out. 2010.

Shimabukuro, Y.E., Smith, J.A. The Least-Squares Mixing Models to Generate Fraction Images Derived From Remote Sensing Multispectral Data, **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 29, p. 16-20, 1991.

Shimabukuro, Y. E., et al. **Apresentação da Metodologia de Criação do PRODES Digital**. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2000. 36 p. (INPE-7520-PUD/41).