

UTILIZAÇÃO DE DADOS REFLECTÂNCIA MODIS (COMPOSIÇÕES DE 8 DIAS) PARA DETECÇÃO DE DESMATAMENTOS NA AMAZÔNIA

Antonio Henrique Correia¹
Antonio Roberto Formaggio¹
Yosio Edemir Shimabukuro¹
Valdete Duarte¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12201-970 - São José dos Campos - SP, Brasil
correia@dpi.inpe.br

Abstract. Vegetation indices (NDVI and EVI) obtained from eight days MODIS data (250 m and 500m, surface reflectance) were evaluated for detecting and monitoring deforestation areas in Amazon. The radiometric quality of the multi-date MODIS data was evaluated to verify the possibility of using vegetation index threshold to generate deforestation maps. The internal accuracy of multi-date composite was evaluated and the geodesic error was less than 1 pixel (< 250 m). This allows suppressing the georeferencing step before introducing MODIS data into a Geographic Information System for deforestation studies. The potentiality of multi-date MODIS data of surface reflectance was evaluated for two dates in Terra do Meio region of Pará State. Global accuracies higher than 87 % were obtained, demonstrating a good potentiality for using these products in detection of deforestation in near real time.

Palavras-chave: deforestation, Terra do Meio (Brazil), vegetation indices, MODIS, surface reflectance data, desmatamento, Terra do Meio (Brasil), índices de vegetação, MODIS, dados de reflectância de superfície.

1. INTRODUÇÃO

As transformações globais na cobertura da terra estão ocorrendo de forma acelerada, principalmente na região dos trópicos. Nas últimas duas décadas, porções significativas de florestas tropicais foram desmatadas como resultado da expansão das fronteiras agrícolas.

Até recentemente, os dados de satélites proporcionavam apenas duas opções para análises em escalas da ordem de milhares de km²: (1) porções de imagens de resolução espacial grosseira, globalmente adquiridas por satélites/sensores como o NOAA/AVHRR e o SPOT/Vegetation; e (2) mosaicos de imagens de média resolução espacial obtidas com o Landsat/TM ou o SPOT/HRV. Com o lançamento dos satélites TERRA (dezembro/1999) e AQUA (abril/2002), ambos portando o sensor MODIS (*Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer*), foi aberta uma nova perspectiva, com resolução espacial de 250 m e de 500 m e resolução temporal quase diária.

Assim, os dados MODIS necessitam ser avaliados quanto à aplicabilidade para análises em escalas regionais, principalmente as composições multitemporais que possuem um grande potencial de aplicação sobre regiões com constante cobertura de nuvens, como é o caso da região Amazônica. Dentre estas composições, destacam-se as disponíveis na resolução de 250 m que, segundo análises de Strahler *et al.* (1999), mostraram que grande parte das mudanças antrópicas no uso e cobertura da terra ocorrem em escala próxima de 250 m e que as bandas mais apropriadas para sua detecção estão nas regiões do visível e do infravermelho próximo.

Assim, o objetivo do presente trabalho foi o de avaliar a aplicabilidade de índices de vegetação obtidos na forma de composições de 8 dias de dados MODIS (250 e 500 m), quanto à possibilidade de emprego desses dados no monitoramento e na detecção de desmatamentos na região Amazônica em tempo quase-real. A qualidade radiométrica e geométrica dessas composições também foi analisada.

2. ÁREA DE ESTUDO E DADOS UTILIZADOS

A área de estudo está na região denominada Terra do Meio, abrangendo um território de 330 x 221 km² (aproximadamente nas latitudes 06°00'S e 08°00'S e longitudes 51°00'W e 54°00'W) e a correspondente imagem MODIS pertence ao *tile* h12v09. Destaca-se que esta é uma das últimas áreas de floresta Amazônica relativamente intacta, no Estado do Pará, estendendo-se por cerca de oito milhões de hectares entre os rios Xingu e Tapajós.

2.1. Composições MODIS

Em uma primeira análise, o produto MOD13, que se refere à composição de várias datas para obtenção de índices de vegetação, seria adequado para um monitoramento, porém, é disponível apenas em composições de 16 ou de 30 dias. Desta forma, poderá dificultar o alerta de novos desmatamentos ocorridos durante o período correspondente à composição multitemporal, uma vez que, a composição é obtida pela seleção dos *pixels* com o máximo valor de NDVI (Anderson, 2004), aumentando para 32 dias o período de observação.

Desta forma, optou-se em utilizar os produtos MOD09, que representam a reflectância da superfície com correção atmosférica: o MOD09A1 (bandas de 1 a 7 com 500 m) e o MOD09Q1 (bandas 1 e 2 com 250 m), que são processados como composições de 8 dias dos produtos diários MOD09GHK (500 m) e MOD09GQK (250 m), respectivamente.

Duas composições de 08 dias foram selecionadas (produtos MOD09A1 e MOD09Q1), a primeira correspondendo ao período de 09 a 16/junho/2004 (denominada de “composição 1”), e a segunda, correspondendo ao período de 25/junho a 02/julho/2004 (“composição 2”). Esses dois períodos foram selecionados, devido à disponibilidade de mapas de desmatamentos produzidos pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), com imagens MODIS, em 08/junho/2004 e 22/junho/2004, que foram usados como referência.

As composições MODIS foram convertidas da projeção Sinusoidal para as seguintes projeções: (1) UTM (*datum* SAD69), visando a comparação geométrica com as cartas topográficas; e (2) Policônica (*datum* SAD69), com a finalidade de confrontar os mapas de desmatamento produzidos pelo INPE e os obtidos com as composições MODIS.

2.2. Base Cartográfica

Para a análise da qualidade geométrica das composições MODIS, foram utilizadas as cartas topográficas na escala de 1:250.000, produzidas pelo IBGE (1983), com os seguintes índices de nomenclatura: SB22-Y-A (MIR 196), SB22-Y-B (MIR 197), SB22-Y-C (MIR 223) e SB22-Y-D (MIR 224), que foram digitalizadas (via *scanner* de grandes formatos), para posterior georreferenciamento.

Para garantir a confiabilidade geométrica das cartas digitais, todas as coordenadas planas (quadriculado UTM) e geográficas (cruzetas e cantos), disponíveis nas cartas topográficas, foram verificadas, após o georreferenciamento, uma vez que, são facilmente identificadas e as coordenadas teóricas são conhecidas. Foram avaliados 802 pontos referentes às quatro cartas topográficas utilizadas, através de um aplicativo semi-automático desenvolvido na linguagem de programação *IDL* (*Interactive Data Language*). O valor máximo para o erro médio quadrático foi igual a 44,40 m. Do total de pontos verificados, apenas três apresentaram erro local acima de 125,0 m (máximo valor igual a 141,98 m), acarretando com isso que, mais de 90% dos pontos apresentaram erros locais menores que 0,5 mm na escala de 1:250.000. Desta forma, os erros obtidos são menores que o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) planimétrico de cartas classe A, que estabelece um erro máximo aceitável de 0,5 mm na escala da carta, em 90% dos pontos de controle utilizados (COCAR, 1986). Portanto, concluiu-se que as cartas digitais 1:250.000 são uma base confiável para obtenção de pontos de controle necessários para a avaliação geométrica das composições MODIS.

2.3. Dados de Desmatamento da Amazônia

A atividade anual de monitorar o desmatamento da Amazônia vem sendo realizada, sistematicamente, através do Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia-PRODES (INPE, 2000) pelo uso de dados orbitais.

Os dados históricos do PRODES digital foram complementados e registrados com composições MODIS de 12 a 27/agosto/2003, visando à obtenção de mapas temáticos atualizados com resolução espacial de 250 m. Sobre esses mapas, foram agregados dados de alerta de desmatamentos (DETER), para duas datas de referência (composição MODIS de 24/maio a 08/junho/2004 e imagem MODIS de 22/junho/2004), por meio da mesma metodologia do PRODES digital, a fim de produzir dados atualizados de desmatamentos.

A metodologia de avaliação dos mapas de desmatamento obtidos via composições MODIS foi baseada nos mapas produzidos pelo INPE, dada a sua confiabilidade. Portanto, um retrato atualizado do desmatamento existente na área de estudo até 08/junho/2004 e 22/junho/2004, estava disponível para avaliação dos resultados obtidos.

3. MÉTODOS

3.1. Avaliação da Qualidade Geométrica das Composições MODIS

No momento do lançamento, o sensor MODIS apresentava uma precisão de geolocalização de 1.700 metros, e com o ajuste inicial dos algoritmos, em maio de 2000, a precisão já era de 150 metros. Em dezembro de 2000, a precisão atingiu 50 metros, conforme havia sido projetado (Anderson, 2004). Essa precisão deve ser verificada, principalmente, para composições multitemporais, que poderão ser utilizadas como fonte primária de dados de um Sistema de Informações Geográficas (SIG) de desmatamento, cuja finalidade é a integração de diferentes bases de dados.

Para realizar a quantificação do erro interno e global (geodésico) das composições MODIS de 8 dias, foram selecionados pontos de controle nas cartas topográficas digitais, (*Seção 2.2*) que possuíam homólogos nas composições MODIS, com os seguintes requisitos: (1) mínima variância temporal; (2) qualidade (boa identificação nas cartas e nas imagens); (3) distribuição espacial a mais uniforme possível sobre toda a área de estudo; e (4) quantidade adequada de pontos para a obtenção de resultados representativos.

A avaliação da geometria interna das imagens foi realizada através da transformação de similaridade (Vergara *et al.*, 2001). O erro global de posicionamento foi obtido por meio do erro médio quadrático total das coordenadas planas E e N, que correspondem aos pontos de controle (diferença entre a imagem e a carta).

3.2. Qualidade Radiométrica das Composições MODIS

Considerando-se que as imagens MOD09 passam por um processo de correção atmosférica, é esperado que os dados obtidos para diferentes datas, sejam altamente correlacionados, o que garante a homogeneização das respostas espectrais. Desta forma, é possível realizar análises quantitativas multitemporais, sem a necessidade de retificação radiométricas entre as imagens.

Essa suposição de homogeneização radiométrica deve ser avaliada, quando composições de imagens multitemporais são produzidas e, assim, foi realizada a avaliação radiométrica dessas composições, tendo sido empregada a transformação linear *Tasseled Cap* (Crist e Cicone, 1984).

3.3. Classificação das Composições MODIS

Segundo Cihlar (2000), estudos preliminares mostraram que a variação na geometria de visada de composições multitemporais, como é o caso dos produtos MODIS, causam diferenças radiométricas em *pixels* adjacentes que correspondem ao mesmo tipo de cobertura, o que pode conduzir a erros de classificação. Para contornar esse problema, foram utilizados

índices de vegetação, que visam eliminar diferenças sazonais do ângulo solar e os efeitos da atenuação atmosférica, observados para dados multitemporais. Dentre esses índices, usou-se o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), já amplamente conhecido, para a banda MODIS 2 (841-876 nm) e MODIS 1 (620-670 nm).

Outro índice utilizado foi o EVI (*Enhanced Vegetation Index*), que melhora a sensibilidade em regiões com maiores densidades de biomassa, produzindo uma saturação mais lenta quando comparado com o NDVI (Anderson, 2004). O EVI foi calculado através da seguinte equação (Justice *et al.*, 1998):

$$\text{EVI} = G * (\text{NIR} - \text{R}) / (\text{L} + \text{NIR} + \text{C1} * \text{R} - \text{C2} * \text{B}), \text{ onde} \quad (1)$$

B é a banda do azul (banda 3: 459-479 nm); **G=2,5** é o fator de ganho; **L=1** é o fator de ajuste para o solo; e **C1=6** e **C2=7,5** são coeficientes de ajuste para efeito de aerossóis da atmosfera.

Estes índices fornecem comparações consistentes de dados temporais e espaciais das condições da vegetação global, de modo a monitorar a atividade fotossintética da vegetação em suporte à detecção de mudança e interpretações biofísicas e da fenologia. Considerando que a reflectância do solo é, normalmente, maior que a da vegetação na faixa do vermelho e do verde, foi utilizada a razão normalizada entre a banda do vermelho-Red e do verde-Green (banda MODIS 4: 545-565 nm), que forneceu um melhor realce entre as áreas desmatadas e com cobertura vegetal, através da expressão:

$$\text{NDRG} = (\text{R} - \text{G}) / (\text{R} + \text{G}) \quad (2)$$

É importante destacar que, as bandas do azul e do verde, originalmente com resolução de 500 m, foram reamostradas para 250 m, pelo método bilinear.

Para detecção das áreas desmatadas, foi utilizado o classificador supervisionado de mínima distância euclidiana, utilizando como dados de entrada as três imagens obtidas pelos índices NDVI, EVI e NDRG, além das amostras de treinamento referentes às classes: *floresta*, *não-floresta*, *água e desmatamento*, que foram baseadas nos dados do PRODES digital.

3.4. Avaliação da Acurácia das Classificações MODIS

Para quantificar os resultados obtidos entre a verdade considerada [mapa temático do PRODES digital (Duarte *et al.*, 1999 e 2002)] e os resultados obtidos para as classificações MODIS, as estimativas de erro e acurácia, extraídas das matrizes de confusão, foram baseadas na metodologia descrita em Zhan *et al.* (2002).

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Qualidade Geométrica das Composições MODIS

Para esta análise, foram selecionados 30 pontos de controle bem distribuídos sobre a composição 2, para obtenção dos parâmetros que descrevem a transformação de similaridade, por meio de ajustamento pelo método dos mínimos quadrados. Em seguida, esse modelo de transformação foi aplicado sobre 19 pontos de teste diferentes dos pontos de controle, visando a quantificação do erro médio quadrático (EMQ), referente à geometria interna das composições MODIS. Todos os 49 pontos foram utilizados para quantificar o erro global (geodésico) de posicionamento das imagens MODIS.

Na **Tabela 1** são apresentados os resultados obtidos para o erro interno e global das composições avaliadas, podendo-se afirmar que a composição MODIS de 8 dias apresentou uma boa geometria interna, fato esse comprovado pelo erro médio quadrático total (erro interno) não ter ultrapassado 1 *pixel* (da ordem de ½ *pixel*). Além da boa geometria interna, o erro global de posicionamento é compatível com a exatidão geodésica esperada para esse produto (menor que 1 *pixel*), apesar da variabilidade da geometria de visada existente nessa composição, conforme apresentado na imagem da **Figura 1(a)**. A imagem apresentada na

Figura 1(a) compõe o produto MOD09A1 (500 m), representando a variação do ângulo de visada zenital para cada *pixel* da composição 2 (25/junho a 02/julho/2004).

Tabela 1 – Avaliação do Erro Interno e Global das Composições MODIS

| ERRO | Nº DE PONTOS | EMQ Mínimo | | EMQ Máximo | | EMQ Total | |
|---------|--------------|------------|------------------|------------|------------------|-----------|------------------|
| | | (metros) | (<i>pixel</i>) | (metros) | (<i>pixel</i>) | (metros) | (<i>pixel</i>) |
| INTERNO | 19 | 19,43 | 0,07 | 170,61 | 0,68 | 122,23 | 0,49 |
| GLOBAL | 49 | 0,34 | 0,001 | 325,23 | 1,30 | 157,84 | 0,63 |

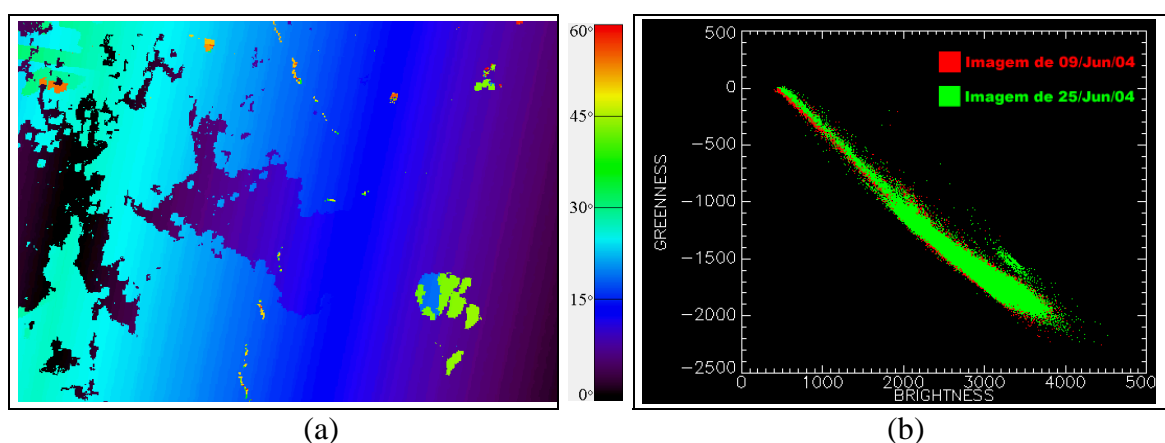


Figura 1 – (a) Variação zenital da composição 2 e (b) Diagrama *Brightness x Greenness*.

4.2. Qualidade Radiométrica das Composições MODIS

Para a análise da qualidade radiométrica das composições MODIS, os produtos MOD09A1 (bandas de 1 a 7 com 500 m) foram convertidas para o formato *TIFF*, e então foram importados para o programa *ENVI*, onde foi realizada a transformação de *Tasseled Cap*, para as duas composições MODIS.

Na **Figura 1(b)**, é apresentado o diagrama de dispersão das imagens *Brightness* e *Greenness* para as duas composições MODIS, onde se pode observar que ambas as composições apresentam gráficos de espalhamento bem ajustados, o que indica uma boa homogeneização das respostas espectrais. Com isso, pode-se dizer que os dados estão radiometricamente retificados, possibilitando a comparação das respostas espectrais das duas composições MODIS. Esse resultado comprova a boa qualidade do processo de correção atmosférica introduzida para essas duas composições MODIS.

4.3. Classificação das Composições MODIS

A partir das amostras de treinamento selecionadas sobre a composição 1, foram obtidos o vetor de médias amostrais de cada classe e a respectiva classificação por mínima distância euclidiana. Esses vetores foram utilizados para obter a classificação da composição 2. Após a classificação, foi utilizado o filtro da moda (janela 3x3) para eliminar *pixels* isolados, e em seguida, foram eliminadas áreas menores que 250.000m² (4 *pixels* de 250 m), seguindo a metodologia do PRODES digital. Nas **Figuras 2(b) e 2(c)**, são apresentados os resultados finais de classificação obtidos para as duas composições MODIS. Com base nas duas composições MODIS classificadas e nos mapas temáticos da verdade terrestre, para as datas de 08/junho/2004 (**Figura 2(a)**) e 22/junho/2004, foram obtidas as matrizes de confusão

apresentadas na **Tabela 2**. O mapa temático de referência do dia 22/junho/2004 não foi apresentado, devido à similaridade com o mapa do dia 08/junho/2004.

Para a composição 1, a acurácia de detecção para a classe *desmatamento* ($AD=75,82\%$) não foi maior, devido ao fato que algumas áreas de desmatamento que apresentavam algum tipo de cobertura vegetal não foram melhor discriminadas pelo classificador, ocorrendo uma maior confusão com a classe *floresta* (21,85%). As áreas desmatadas com pouca ou nenhuma cobertura vegetal, independente da dimensão espacial, foram bem classificadas, conforme pode ser visto na grande mancha amarela, no canto superior direito da área de estudo (**Figura 2(b)**). Essa baixa discriminação se deve ao fato que, nos mapas do PRODES, essas subclasses de desmatamentos são consideradas como uma única classe, além da segmentação utilizada e edição dos mapas, que produz áreas homogêneas, diferentemente da classificação obtida. A classe *não-floresta* ($AD=28,22\%$) não foi bem classificada, em função de variações espectrais similares às respostas espectrais da classe *desmatamento* (25,26%) e *floresta* (46,38%). Uma das causas desse problema é a existência de uma região na imagem, que pertence à classe *não-floresta* (ver **Figura 2(a)**) e apresenta uma resposta espectral semelhante ao solo exposto. Apesar da acurácia de detecção para a classe *desmatamento* não ter sido alta, os erros de comissão (24,18%) e omissão (20,78%) foram baixos.

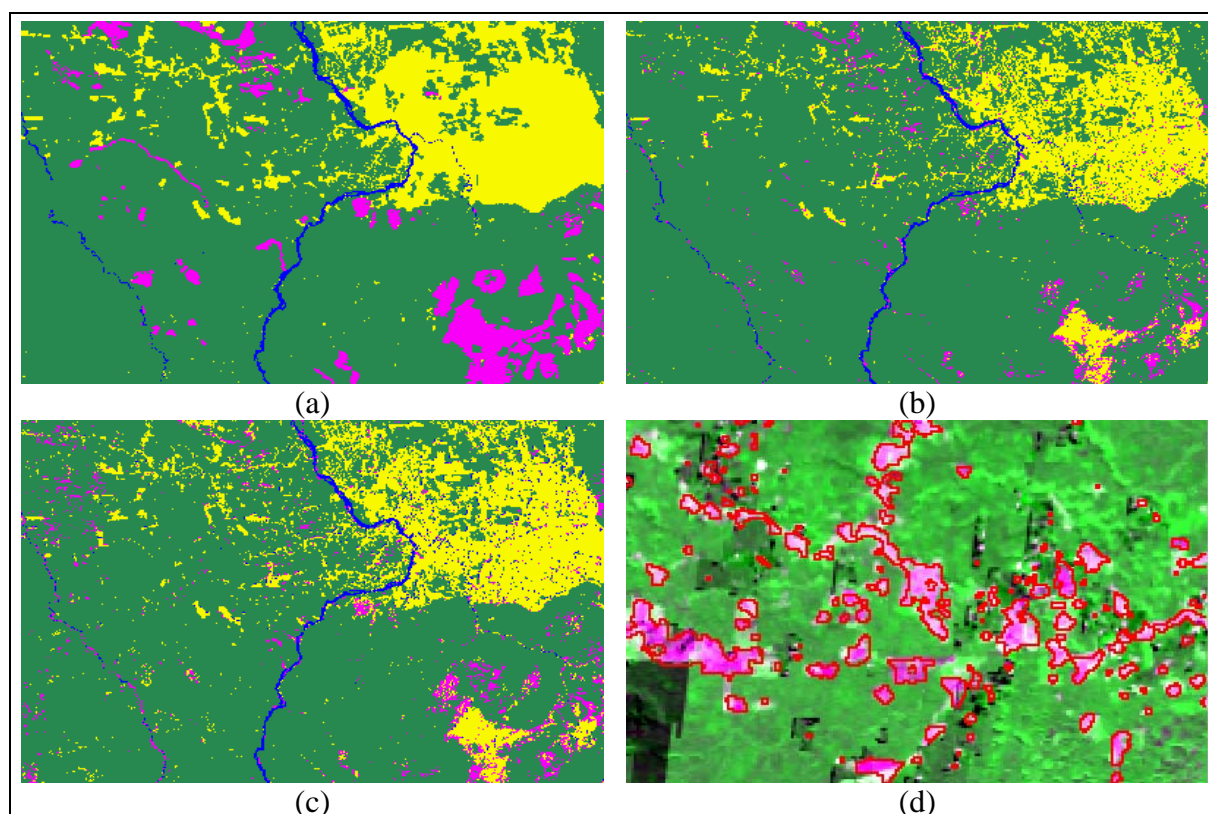


Figura 2 – (a) Verdade terrestre (08/junho/2004), (b) classificação da composição 1, (c) classificação da composição 2 e (d) polígonos de desmatamento (composição 2).

Analisando os resultados obtidos para a composição 2, observa-se que a acurácia de detecção, para a classe *desmatamento*, foi maior ($AD=84,94\%$) que o valor obtido para a composição 1, em função da melhor discriminação das áreas desmatadas que possuíam cobertura vegetal. Em contrapartida, houve uma maior confusão dessa subclasse de desmatamento com a classe *floresta*, conforme pode ser visto no aumento da confusão ocorrida entre essas classes (de 2,30% para 4,92%). Da mesma forma que ocorreu com a

composição 1, a classe *não-floresta* não foi bem classificada, em função, novamente, de alguma confusão com a classe *floresta* (28,02%) e *desmatamento* (40,91%). Para a composição 2, os erros de omissão (15,06%) e comissão (29,41%) ficaram bem próximos aos obtidos para a composição 1.

Tabela 2 – Matrizes de confusão para a composição de (a) 09/junho/2004 e (b) 25/junho/2004.

| | | Verdade Terrestre (%) | | | | | |
|---------------|---------------------------------|-----------------------|-------|-------|-------|-------|-------|
| | | Des | Flr | Água | NFlr | EC | AD |
| Classificação | Des | 75,82 | 2,30 | 8,67 | 25,26 | 20,78 | 75,82 |
| | Flr | 21,85 | 96,24 | 9,34 | 46,38 | 7,20 | 96,24 |
| | Água | 0,68 | 0,41 | 76,42 | 0,14 | 41,97 | 76,42 |
| | NFlr | 1,65 | 1,05 | 5,52 | 28,22 | 44,27 | 28,22 |
| | EO | 24,18 | 3,76 | 23,58 | 71,78 | 100,0 | 100,0 |
| | Acurácia Global = 89,44% | | | | | | |
| | | Verdade Terrestre (%) | | | | | |
| | | Des | Flr | Água | NFlr | EC | AD |
| Classificação | Des | 84,94 | 4,92 | 4,65 | 40,91 | 29,41 | 84,94 |
| | Flr | 9,94 | 91,38 | 3,65 | 28,02 | 3,81 | 91,38 |
| | Água | 3,74 | 0,91 | 86,80 | 1,02 | 73,99 | 86,80 |
| | NFlr | 1,38 | 2,79 | 4,90 | 30,06 | 65,00 | 30,06 |
| | EO | 15,06 | 8,62 | 13,20 | 69,94 | 100,0 | 100,0 |
| | Acurácia Global = 87,62% | | | | | | |
| (a) | | | | | | | (b) |

Os valores da acurácia global obtidos para as duas composições foram bem próximos (89,44% e 87,62%), demonstrando a boa adequação do vetor de médias amostrais para as composições analisadas. É importante destacar que, de modo análogo ao ocorrido com a composição 1, as áreas de desmatamento com pouca ou nenhuma cobertura vegetal foram bem classificadas na composição 2, mesmo utilizando-se as médias amostrais da composição 1. Esse resultado pode ser visto na **Figura 2(d)**, onde os polígonos de desmatamento estão destacados em vermelho.

5. CONCLUSÕES

O resultado de 122,23 m obtido para o erro interno, através da transformação de similaridade, mostrou que a geometria interna das composições MODIS avaliadas é compatível com a planimetria de cartas topográficas em escalas iguais ou menores que 1:250.000. A diferença entre a geometria de obtenção das composições (perspectiva cônica) e das cartas (perspectiva ortogonal) reforça a qualidade geométrica desse produto MODIS. Apesar do erro global (157,84 m) não ter atingido o erro teórico de posicionamento (50 m), o que é difícil de ser obtido com uma imagem de 250 m, o resultado apresentado confirma a qualidade geodésica das composições MODIS (< 1 *pixel*), possibilitando a incorporação desses dados em um SIG, suprimindo a fase de georreferenciamento.

A análise radiométrica mostrou que as composições MODIS possuem uma correção atmosférica adequada, garantindo a homogeneização das respostas espectrais de diferentes datas, porém, é importante que essa análise seja extrapolada para diferentes estações climáticas. Apesar das diferenças radiométricas existentes para um mesmo alvo, o que inviabiliza a utilização das bandas originais sem algum tipo de razão entre elas, foi possível obter bons resultados de classificação, utilizando-se índices de vegetação. A utilização desses índices, especialmente o NDVI, minimizou o efeito da variação radiométrica das composições multitemporais, mais expressivos sobre as áreas de floresta. Esse resultado pode ser explicado pela saturação do NDVI, proporcionando uma atenuação dessa variação radiométrica. A

combinação das imagens de 250m com as de 500 m permitiu uma melhor discriminação das classes de interesse.

Considerando que o objetivo do trabalho era detectar novos desmatamentos, a metodologia mostrou-se adequada para a área de estudo analisada. As amostras de treinamento devem ser avaliadas para outras imagens (diferentes regiões e maior sazonalidade), porém, devido à semelhança entre os resultados obtidos para duas datas distintas, as perspectivas são boas. A partir desses resultados, pode-se concluir que novos desmatamentos serão bem discriminados, independente da dimensão espacial dessas áreas, o que é de vital importância para um sistema de alerta de desmatamentos. Além disso, os erros de comissão e omissão foram baixos, o que reforça as perspectivas de bons resultados para outras composições MODIS.

Os resultados obtidos pelo classificador (mínima distância euclidiana) foram satisfatórios. Recomenda-se o teste de outros classificadores, como, por exemplo, árvore de decisão, para melhorar os resultados, através da definição de métricas que possibilitem uma melhor discriminação entre as classes de interesse.

REFERÊNCIAS

Anderson, L. O. **Classificação e monitoramento da cobertura vegetal do Estado do Mato Grosso utilizando dados multitemporais do sensor MODIS**. 2004. 231 p. Dissertação (Mestrado em Sensoriamento Remoto) - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos. 2004.

Cihlar, J. Land cover mapping from satellites: Status and research priorities. **International Journal of Remote Sensing**, v. 21, p. 1093–1114, 2000.

Comissão de Cartografia (COCAR). **Cartografia e Aerolevantamento: Legislação**. Brasília, Ministério da Ciência e Tecnologia, 1986.

Crist, E. P.; Cicone, R. C. A Physically-Based Transformation of Thematic Mapper Data--The TM Tasseled Cap. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 22, n. 3, p. 256-263, 1984.

Duarte, V.; Shimabukuro, Y.E.; Aulicino, L. C. M. **Metodologia para corrigir as distorções observadas entre os mapeamentos temporais do projeto PRODES Digital**. São José dos Campos, INPE, 2002. 21p.

Duarte, V.; Shimabukuro, Y.E.; Santos, J.R.; Mello, E.M.K.; Moreira, J.C.; Moreira, M.A.; Souza, R.C.M.; Shimabukuro, R.M.K.; Freitas, U.M. **Metodologia para criação do PRODES Digital e do banco de dados digitais da Amazônia – Projeto BADDAM**. São José dos Campos: INPE, 1999. 33p.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE) **Monitoramento da Floresta Amazônica Brasileira por Satélite 1999 - 2000**, São José dos Campos, 2000. Separata.

Justice, C.O.; Vermote, E.; Townshend, J. R.G.; DeFries, R.; Roy, P.D.; Hall, D.K.; Salomonson, V.; Privette, J.L.; Riggs, G.; Strahler, A.; Lucht, W.; Myneni, B.; Knyazikhin, Y.; Running, W.S.; Nemani, R.R.; Wan, Z.; Huete, A.R.; Leeuwen, W.V.; Wolfe, R.E.; Giglio, L.; Muller, J.P.; Lewis, P.; Barnsley, M. The Moderate Resolution Imaging Spectroradiometer (MODIS): land remote sensing for global change research. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v. 36, n. 4, p.1228-1247, 1998.

Strahler, A.; Muchoney, D.; Borak, J.; Friedl, M.; Gopal, S.; Lambin, E.; Moody, A. **MODIS land cover and land-cover change products algorithm theoretical basis document (ATBD). Version 5.0**, Center for Remote Sensing, Department of Geography, Boston: University, 1999. 72p.

Vergara, O. R.; Cintra, J. P.; D'Alge, J. C. L. Avaliação da exatidão cartográfica de documentos atualizados com imagens orbitais e sistemas de informação geográfica. Congresso Brasileiro de Cartografia, 20, 2001, Porto Alegre. **Anais**. Porto Alegre, SBC, 2001.

Zhan, X.; Sohlberg, R.A.; Townshend, J.R.G.; DiMiceli, C.; Carroll, M.L.; Eastman, J.C.; Hansen, M.C.; DeFries, R.S. Detection of land cover changes using MODIS 250 m data. **Remote Sensing of Environment**, v. 83, n. 1-2, p. 336-350, November 2002.