

Uso de técnicas de processamento de imagens Landsat-TM para o mapeamento de florestas exóticas e nativas em regiões montanhosas

Thiago Batista dos Santos
Antonio Roberto Formaggio
Yosio Edemir Shimabukuro

Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
{batista, formag,yosio}@dsr.inpe.br

Abstract. Most of the remaining forests in the southeast region of the country are located in mountainous areas. To manage and monitor these forest resources is necessary periodic mapping. His mapping can be done through satellite images of medium spatial resolution, because your area has big extensions. However, automatic methods of classification may have their performance reduced because of topographic effects. This article demonstrates the application of image processing techniques to mitigate these effects in images TM. After these processes, we investigated the performance of the unsupervised classification algorithm ISOSEG in TM with and without such processing. The results show the processing applied reduced the lighting effect and highlighted the subtle differences between targets with spectral similarity, such as native and exotic forest. These characteristics allowed the segmentation of images and improved the accuracy of the mapping.

Palavras-chave: remote sensing, image processing, Atlantic Forest, Mantiqueira Mountains, sensoriamento remoto, processamento de imagens, Mata Atlântica, Serra da Mantiqueira.

1. Introdução

Na Região Sudeste do Brasil a maior parte dos remanescentes florestais está localizada em áreas montanhosas. São exemplos dessa condição a Serra do Mar e da Mantiqueira no Vale do Paraíba. Nas cristas e encostas dessas Serras são encontrados expressivos fragmentos de floresta nativa preservados. Uma das singularidades da Mantiqueira são as diversas formações vegetais. As feições do relevo junto ao gradiente térmico e hidrológico resultante da altitude propiciam tal diversidade. Em curtas distâncias, passam dos ecossistemas florestais aos ecossistemas rupestres, às vezes, gradativamente; outras, abruptamente (OLMOS; ALVARENGA, 2002).

Para gerenciar e monitorar a cobertura florestal dessa região é necessário o mapeamento periódico. Devido a seu histórico de ocupação (roças de subsistência, ciclo cafeeiro, ciclo da pecuária) (DEAN, 1996), a região tem cobertura da terra bastante heterogênea. Seu mapeamento pode ser feito através de imagens orbitais de média resolução espacial, em função de suas grandes extensões. Porém, métodos automáticos de classificação podem ter desempenho prejudicado por causa dos efeitos de iluminação presentes nas imagens, causadas pela topografia do terreno ser muito acidentada.

A influência desses efeitos tem-se apresentado como um dos principais problemas na identificação e no mapeamento de florestas por técnicas de Sensoriamento Remoto, pois as variações da superfície dificultam a discriminação de espécies florestais, principalmente nas áreas sombreadas pelo relevo (CONESE et al., 1988)

Em algumas cenas de imagens multiespectrais é possível notar o aspecto acidentado e escarpado do relevo, sendo uma das manifestações do efeito topográfico. Esse efeito também está presente em imagens LANDSAT e é causado pela diferença de radiação espectral proveniente de vertentes diretamente voltadas para o sol, e as opostas a ele, e pelo seu grau de inclinação (HOLBEN; JUSTICE, 1981).

Com o intuito de contornar esse problema, o objetivo presente trabalho foi elaborar metodologia de classificação não supervisionada eficiente no mapeamento da cobertura

florestal em relevo montanhoso, tendo como estudo de caso uma região da Serra da Mantiqueira.

2. MATERIAL

Neste trabalho foram utilizadas as seguintes imagens e software:

- imagem HRC, órbita 153_D, ponto 125_4, gerada em 3 de setembro de 2008;
- imagem TM/LANDSAT 5 - Bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7, órbita WRS 218, ponto 76, geradas no dia 12 de setembro de 2008;
- software SPRING 5.1.8 (CAMARA et al., 1996)

3. Métodos

3.1 Área de Estudo

Foi escolhida para este trabalho, uma área que abrange parte do Médio Vale do Paraíba, da Serra da Mantiqueira e do Sul de Minas Gerais. Estão inseridos nessa área os municípios de Piquete-SP, Marmelópolis-MG, Delfim Moreira-MG, e parte de Itajubá-MG, Virgínia-MG, Lorena-SP, Cruzeiro-SP, Cachoeira Paulista-SP e Guaratinguetá-SP.

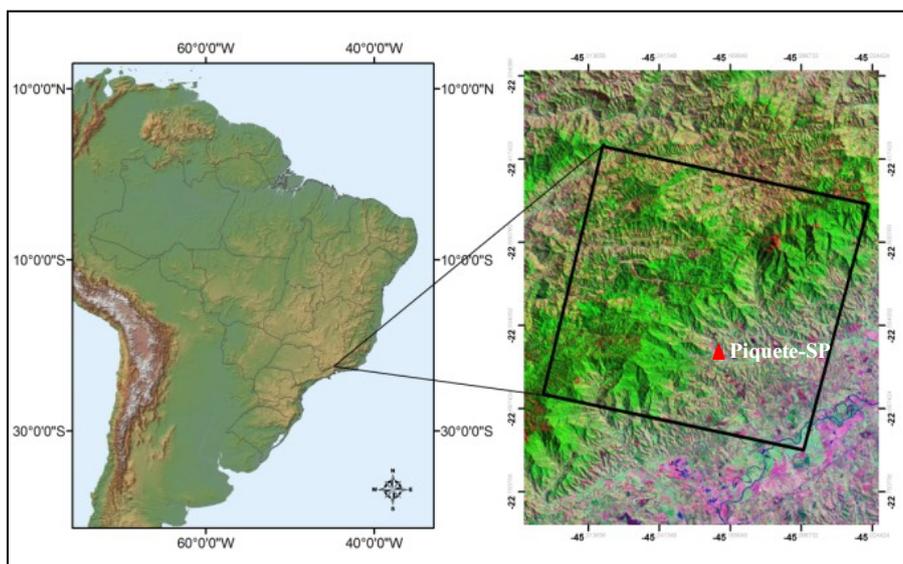


Figura 1: Localização da área de estudo, em parte da Serra da Mantiqueira, região do município de Piquete-SP

Esse território possui áreas com relevo suave, moderado e muito acidentado. Grande parcela dessa área representa uma das poucas regiões do país cujo relevo acidentado, de colinoso a montanhoso, tem elevações superiores a 2.000 metros de altitude. Nela é possível encontrar altitudes de 500 a 2422 metros acima do nível do mar. Nessas condições de relevo e a angulação de visada e iluminação, um mesmo tipo de alvo, em locais distintos na mesma cena, poderá ter respostas espectrais diferentes (HOLBEN; JUSTICE, 1981).

3.2 Correção geométrica de imagens Landsat

Todo o processo de correção geométrica foi feito no software SPRING 5.1.8. As imagens Landsat, bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 foram georreferenciadas usando pontos de controle coletados na imagem HRC previamente ortorretificada. Foram necessários 12 pontos para registrar a cena Landsat. No processo de registro optou-se pela transformação polinomial de 2º grau.

3.3 Fusão de Imagens TM - HRC

Para este trabalho optou-se por fazer fusão das imagens LANDSAT com imagem CBERS, tendo-se selecionado as bandas 3, 4 e 5 do sensor TM e a banda pancromática HRC,

respectivamente. Primeiramente, as imagens TM, que têm resolução espacial de 30 metros, foram restauradas para a resolução espacial de 10 metros pelo método desenvolvido por Fonseca (1988). Após a restauração, essas imagens foram reamostradas para matrizes com resolução espacial de 2.5 metros. O interpolador bilinear foi utilizado para garantir uma transição suave de cores entre pixels. Salienta-se que as imagens reamostradas possuíam a mesma área que a imagem HRC.

Posteriormente, as cores vermelho, verde e azul foram associadas às bandas TM-5,4,3, respectivamente. Essa composição foi convertida para o sistema de cor IHS (Intensidade, Matiz, Saturação). Após esse procedimento, executou-se o processo inverso, porém substituindo-se a componente intensidade (I) pela imagem pancromática (HRC).

3.4 Atenuação de Efeitos Atmosféricos

A maior parte dos efeitos atmosféricos em imagens de satélite é causada pelo espalhamento (SLATER et al., 1983). O problema do espalhamento atmosférico é que ele torna-se um componente aditivo nas informações orbitais da mesma cena. Entretanto, tal efeito é mais perceptível nas imagens geradas na faixa do visível e do infravermelho próximo do espectro eletromagnético.

O espalhamento atmosférico interfere na análise dos resultados da aplicação de técnicas de processamento de imagens multiespectrais, tais como as de atenuação de efeitos topográficos. Como a área de estudo apresenta relevo muito acidentado, foi necessário fazer uso dessas técnicas e, conseqüentemente, aplicar as de atenuação de efeitos atmosféricos. Para tanto, foi utilizada a metodologia de subtração de objeto escuro das imagens para a atenuação do efeito de espalhamento atmosférico (CHAVEZ JR, 1988).

3.5 Atenuação de Efeitos de Iluminação

As imagens LANDSAT foram submetidas a técnicas de atenuação do efeito topográfico. Os métodos utilizados foram a razão entre bandas e a transformação por componentes principais.

Foi calculada a razão entre as bandas TM-4 e 3 (4/3) e entre as bandas TM-5 e 4 (5/4). Também foi calculado o NDVI utilizando-se as bandas TM-3 e 4. Tais razões foram feitas por meio das ferramentas de operações aritméticas de imagens do SPRING 5.1.8. Seguem, na tabela 1, os valores de ganho e offset aplicados no processo de razões entre bandas.

Tabela 1: Valores de Ganho e Offset aplicados nas razões entre bandas.

Razões	Ganho	Offset
TM4/TM3	80	20
TM5/TM4	80	20
NDVI	200	20

Por fim, calcularam-se as três principais componentes a partir das bandas 3, 4, 5 do sensor TM/LANDSAT-5.

3.6 Confeção de Mapa de Cobertura da Terra

3.6.1 Classificação de Imagens Digitais

O conjunto de imagens TM5/TM4 (razão), NDVI e 3^a componente principal foi segmentado por crescimento de regiões. Utilizou-se o limiar 10 tanto para o grau de similaridade, quanto para a área mínima em pixel, a fim de separar os alvos de interesse. Este valor foi encontrado heurísticamente.

Com o intuito de detectar métodos eficazes para mapeamento da cobertura da terra duas classificações foram feitas. Em ambas as classificações a segmentação oriunda das imagens TM5/TM4, NDVI e 3^a componente principal foi utilizada.

A fim de sistematizar e simplificar a explicação dos métodos adotados, a partir de agora as classificações serão representadas pelos nomes: SEG_TM e SEG_RAZÕES

As duas classificações foram feitas com base no algoritmo ISOSEG, adotando-se o limiar de aceitação de 99,9% e 50 interações. Porém uma classificação foi baseada nas imagens TM originais e outra nas imagens processadas.

3.6.2 Classes Temáticas

O mapeamento identificou sete alvos de interesse. As classes que os representam estão descritos abaixo:

✓ Floresta nativa

Florestas nativas em condições originais que não foram submetidas a perturbações naturais ou antrópicas; florestas nativas que sofreram perturbações naturais ou antrópicas, porém, atualmente, encontram-se em estágio inicial, médio ou avançado de regeneração.

- Exóticas

Áreas com reflorestamento comercial de espécies exóticas, tais como eucaliptos e pinus.

- Água

Áreas com corpos d'água

- Campos de altitude

Áreas inseridas em locais de Floresta Alto Montana, com predomínio de rochas expostas e vegetação rasteira formada, principalmente, por gramíneas e líquens.

- Pastagens

Áreas com vegetação gramínea (braquiária, capim gordura, entre outros), utilizadas predominantemente pela agropecuária leiteira.

- Área urbana

Manchas urbanas presentes na área de estudo;

- Rochas

Afloramentos do material cristalino da Serra da Mantiqueira

3.7 Validação do Mapa de Cobertura da Terra

As validações dos mapas de cobertura da terra foram feitos a partir de pontos amostrais extraídos da imagem fusão TM - HRC. No total, 2086 pontos amostrais foram coletados. A coleta foi feita com o uso do plugin gerador de pontos amostrais do Terra View 4.2. Esse plugin garante o princípio da aleatoriedade e a boa distribuição espacial dos pontos.

Com os pontos de referência foi possível gerar uma matriz de confusão para cada classificação, a partir da qual foram calculadas as medidas de exatidão global, exatidão do produtor, exatidão do usuário e índice Kappa. Esse índice demonstra o quão coerente é o mapa temático em relação aos pontos de referência (CONGALTON; GREEN, 2009).

4. Resultados

4.1 Fusão de Imagens TM - HRC

Na figura 2 estão expostos um recorte da LANDSAT TM 543 e um da fusão HRC-TM. Ambos os recortes estão na mesma escala e representam a mesma área. Observando-se essa figura é possível notar que a imagens fusão (à direita) possui melhor resolução espacial. Visualmente é notória a riqueza de detalhes e melhor definição de bordas e limites entre os alvos.

Outra característica singular desse produto, é que, além das informações espectrais preservadas, componentes de textura foram herdados da imagem HRC. Essas características potencializaram a interpretação visual. A identificação das fisionomias vegetais nativas (inclusive fragmentos em regeneração) e exóticas, feições urbanas, rochas, pequenos lagos e rios torna-se significativamente facilitada.

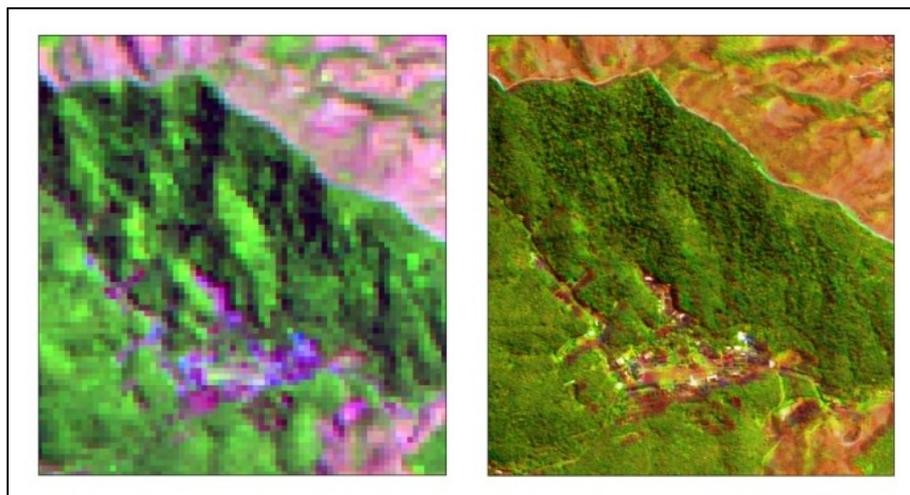


Figura 2: Imagem Landsat 543 (à esquerda) e Imagem Fusão HRC-TM (à direita)

4.2 Atenuação de Efeitos de Iluminação

Na figura 3 são mostradas as imagens TM 4 e 5 com o efeito de iluminação. A área representada é o cume do Pico dos Marins, região de relevo muito acidentado, com cerca de 2400 metros de altitude máxima. Ao observar a TM 4 e TM 5 obtêm-se a impressão visual de relevo, devido à variação na radiância de superfícies inclinadas. Tal variação é gerada pela orientação da vertente em relação à posição da fonte de iluminação solar e do sistema sensor (HOLBEN; JUSTICE, 1981).

Na razão TM 5/TM 4 e no NDVI, o efeito topográfico foi atenuado. As imagens TM 5, 4 e 3 foram adquiridas com a mesma geometria de visada e de iluminação. Por meio das razões (5/4 e NDVI) o efeito multiplicativo dessa geometria foi minimizado. Porém, observou-se que após a aplicação da razão entre bandas, o efeito topográfico não foi completamente atenuado. Esse problema ocorreu em áreas completamente sombreadas pelo relevo (pixels escuros).

Um das características das razões de bandas é a eliminação de redundância entre elas e destaque de suas diferenças. Dessa maneira, a razão NDVI apresentou alto contraste entre as áreas florestais (tonalidades mais brancas) e não florestais (tonalidades mais acinzentadas). Já a razão 5/4, além do alto contraste entre as áreas de florestas e não florestas, também realçou as áreas de florestas exóticas (tons de cinza mais escuros). Tal realce possibilitou diferenciar as áreas de florestas nativas e exóticas nas encostas e no alto da Serra da Mantiqueira.

Outra técnica utilizada para atenuar o efeito de iluminação foi o cálculo das principais componentes. O produto do cálculo das componentes principais são imagens descorrelacionadas entre si. Na primeira componente (PC1) está a informação comum entre as bandas, ou seja, associada à variação de brilho da imagem. Isso ocorre devido à diferença de iluminação que é dominada pelo relevo da área de estudo. Já a PC 2 possui as feições mais relevantes do conjunto restante. Como a região tem relevo muito acidentado ainda foi possível ver os efeitos de iluminação na PC 2. No entanto, na PC 3 o efeito de iluminação foi atenuado e concentra as informações relacionadas aos diferentes tipos de alvos.

Com a atenuação do efeito de iluminação evitou-se a segmentação exagerada das imagens. Os polígonos gerados envolveram exatamente os alvos de interesse. Sem ela, não seria possível utilizar a classificação não supervisionada na geração dos mapas de cobertura da terra, pois, na segmentação com uso das imagens originais, o mesmo alvo com iluminações distintas seria segregado.

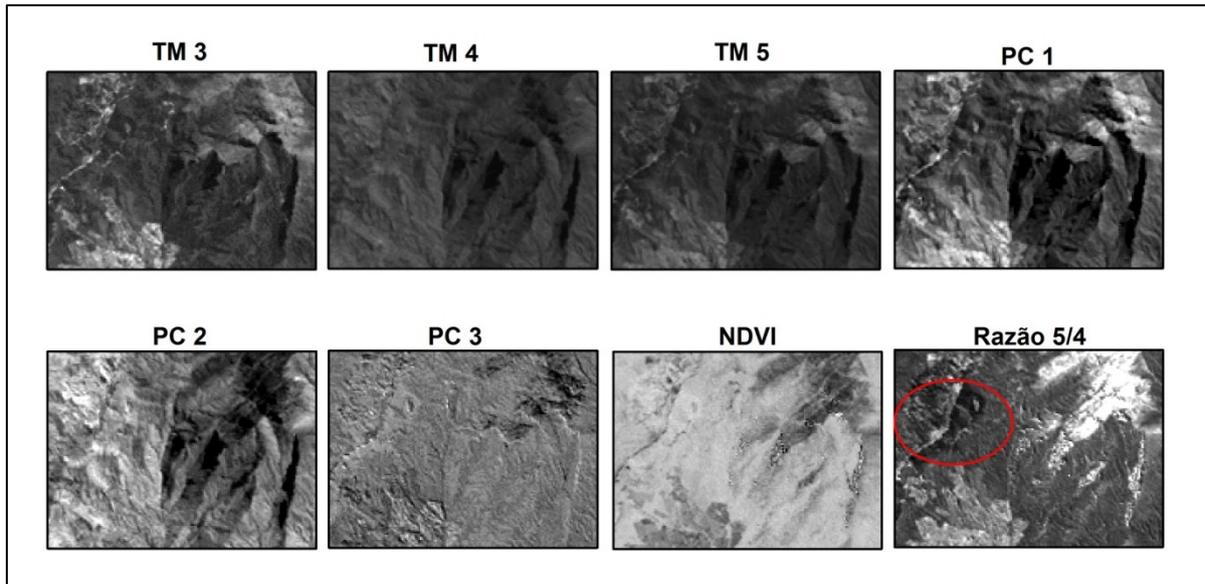


Figura 3: Bandas TM 3, 4 e 5; as principais componentes; razões NDVI, TM 5/4 (Notar no interior da linha vermelha, na figura Razão 5/4, as plantações exóticas que foram realçadas no processamento).

4.3 Confeção de mapa de cobertura da terra

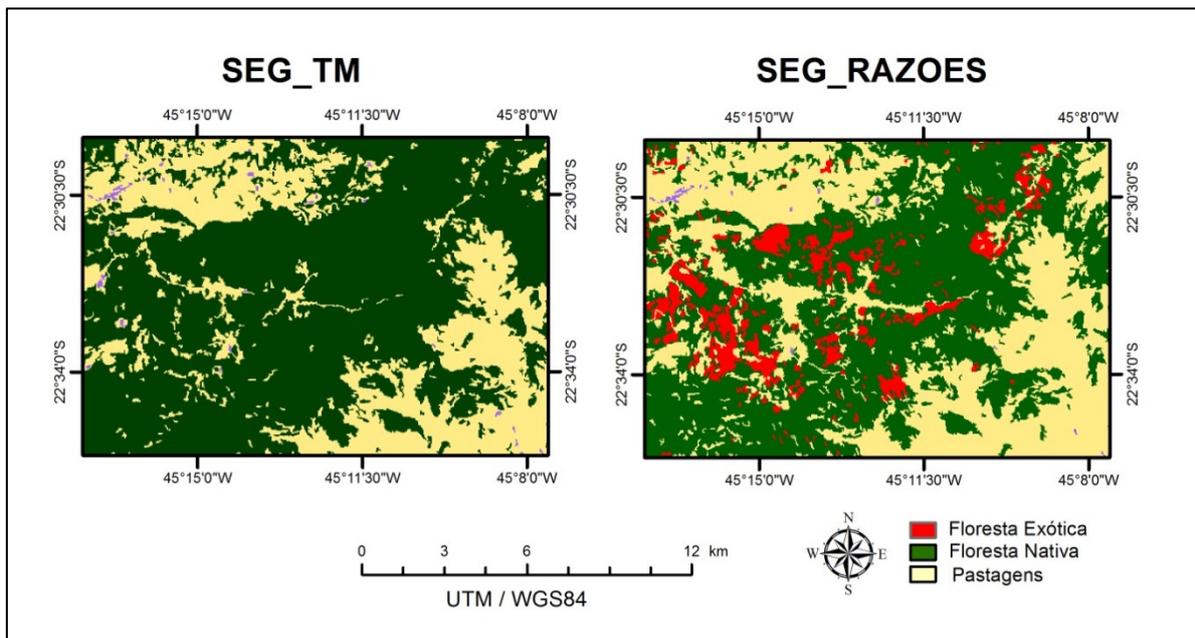


Figura 4: À esquerda mapa temático gerado com as imagens Landsat originais e à direita com as imagens processadas.

4.3.1 Classificação SEG_TM

Os insumos utilizados nessa classificação foram as imagens TM originais. O produto gerado obteve o coeficiente de concordância Kappa 0,69 e concordância global de 82,98%. No escopo geral foi um resultado satisfatório, porém algumas deficiências foram encontradas ao analisar a exatidão individual das classes.

Tabela 2: Análise de exatidão dos tipos de cobertura da terra identificados:

Classes	Área (ha)	E* Produtor	E* Usuário	E* Global	I* Kappa
Água	0,00	0,00	0,00	82,98	0,69

C. Altitude	0,00	0,00	0,00	Legenda auxiliar: C. Altitude = Campos de altitude F.Exótica = Floresta Exótica F.Nativa = Floresta Nativa A.Urbana = Áreas urbanas N_Class = Não classificado
F. Exótica	0,00	0,00	0,00	
F. Nativa	52.686,54	91,17	79,39	
Pastagens	60.418,35	92,50	88,00	
A. Urbana	1.529,55	50,00	15,38	
Rochas	0,00	0,00	0,00	
N_Class	83,16	-----	-----	
TOTAL	114.717,60	-----	-----	

Os piores desempenhos foram das classes Água, Campos de Altitude, Rochas e Floresta Exótica. Tanto a exatidão do usuário, quanto do produtor foram nulas. Isso ocorreu, pois, essas classes não foram mapeadas.

As áreas da classe Água foram incluídas na classe temática Não Classificado. Observou-se que as áreas de sombras (pixels escuros) também foram agregadas a classe Não Classificado.

Já áreas de campos de altitude e rochas foram atribuídas à classe Pastagens. Isso ocorreu devido às respostas espectrais similares. Nos campos de altitude o solo é bastante raso e pedregoso, pouco desenvolvido e com presença de fragmentos de rochas expostas. Neles há a presença de cobertura gramínea nativa. Assim, não foi possível separar as pastagens dos campos de altitude. Outra questão é que o algoritmo ISOSEG trabalha com interações e, a cada interação o mapa temático é reorganizado. Dessa maneira, as áreas com rochas expostas também foram incorporadas à Classe Pastagens, pois sua resposta espectral não possuía diferença significativa em relação aos campos de altitude, que também foram incorporadas à classe Pastagens. Tal confusão provavelmente ocorreu devido à presença de fragmentos rochas nos campos de altitude. O mesmo ocorreu nas áreas de Floresta Exótica e Nativa, toda a vegetação exógena foi mapeada como vegetação nativa.

4.3.2 Classificação SEG_RAZÕES

Os insumos utilizados nessa classificação foram as imagens com os efeitos de iluminação atenuados. O mapa temático gerado obteve o coeficiente de concordância Kappa 0,70 e concordância global de 83,22%. Indicadores muito próximos aos da classificação anterior (SEG_TM). Porém, ao analisar as exatidões individuais das classes, melhorias foram observadas. O maior ganho foi na detecção de áreas de vegetação exótica. Foram mapeados 3.391,11 hectares de florestas exógenas, com a exatidão do produtor de 84,62% e 81,62% a do usuário. Porém, ao analisar visualmente o mapa temático e a imagem de referência (fusão) verificou-se considerável subestimativa da área plantada. Mesmo com essa subestimativa, o mapeamento de vegetação exótica contribuiu com aumento da exatidão do usuário da classe Floresta Nativa. A melhora foi de 7,08% em relação à SEG_TM. Por outro lado, a exatidão do usuário recuou 9,55%. Essa redução ocorreu devido às distintas resoluções espaciais das imagens sem efeito de iluminação e a das Fusões (referência). Essas classes são limítrofes em toda a extensão das encostas e alto da Serra da Mantiqueira.

Por outro lado, houve subestimação da área de florestas nativas. Pequenos fragmentos (ilhas no meio das pastagens) detectados na classificação SEG_TM foram omitidos no mapeamento SEG_RAZÕES. Esses fragmentos foram incluídos na classe Pastagens. Tal situação refletiu na exatidão do usuário da classe Pastagens. Houve uma queda de 7,3% em relação à classificação SEG_TM.

Quanto à classe Urbana houve melhora de 13,19% na exatidão do usuário. Isso se deu em virtude da redução de área de solo exposto (locais planos pós-colheita de eucaliptos) que havia sido classificado erroneamente como urbano.

Já as classes Água, Campos de Altitude e rochas tiveram desempenho idêntico ao da SEG_TM.

Tabela 3: Análise de exatidão dos tipos de cobertura da terra identificados (SEG_RAZÕES):

Classes	Área (ha)	E* Produtor	E* Usuário	E* Global	I* Kappa
Água	0,00	0,00	0,00	83,22	0,70
C. Altitude	0,00	0,00	0,00		
F. Exótica	3.391,11	39,76	84,62		E*Exatidão (%)
F. Nativa	42.323,76	81,62	86,47		
Pastagens	67.989,96	95,87	80,77		
Urbana	929,61	50,00	28,57		I* Índice
Rochas	0,00	0,00	0,00		
N Class	83,16	-----	-----		
TOTAL	114.717,60	-----	-----		

5. Conclusão

A geração de mapas de cobertura florestal para regiões montanhosas, por meio de classificações não supervisionadas e utilizando imagens com efeitos topográficos atenuados, foi eficaz. Somente com o uso das imagens processadas foi possível o mapeamento da cobertura florestal nativa e exótica. Isso foi possível, pois as técnicas aplicadas reduziram o efeito de iluminação e realçaram as diferenças sutis entre estes alvos. Porém, limitações inerentes às resoluções espacial e espectral das imagens causaram incertezas no mapeamento. Quanto aos outros alvos omitidos no mapeamento, destaca-se que o problema poderá ser contornado por meio de classificações por análises orientadas a objetos. Neste tipo de classificação, além dos dados espectrais, parâmetros de forma e vizinhança podem ser explorados. As metodologias utilizadas neste proporcionam economia de tempo e exatidão na elaboração de mapas para regiões montanhosas. Por fim, destaca-se que não foi possível obter a mesma eficiência somente com as imagens TM originais.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- CAMARA, G.; CARTAXO, R.; SOUZA, M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO, J. SPRING : INTEGRATING REMOTE SENSING AND GIS BY DATA MODELLING. **Computers & Graphics**, v. 20, n. 3, p. 395-403. Elsevier. doi: 10.1016/0097-8493(96)00008-8, 1996.
- CHAVEZ JR, P. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data. **Remote Sensing of Environment**, v. 24, n. 3, p. 459-479. doi: 10.1016/0034-4257(88)90019-3, 1988.
- CONESE, C.; MARACCHI, G.; MIGLIETTA, F. Forest classification by principal component analyses of TM data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 9, n. 10 & 11, p. 1597 - 1612. doi: 10.1080/01431168808954963, 1988.
- CONGALTON, R. G.; GREEN, K. **Assessing the accuracy of remotely sensed data: principles and practices** (J. G. Lyon, Ed.) **The Photogrammetric Record**. v. 25, p.204-205. CRC. doi: 10.1111/j.1477-9730.2010.00574_2.x, 2009.
- DEAN, W. **A ferro e fogo: a história e a devastação da Mata Atlântica brasileira**. v. 3, p.484. Companhia das Letras, 1996.
- FONSECA, L. M. G. **Restauração e interpolação de imagens do satélite Landsat por meio de técnicas de projeto de filtros FIR**. São José dos Campos - SP: Dissertação de Mestrado, 1988.
- HOLBEN, B.; JUSTICE, C. An examination of spectral band ratioing to reduce the topographic effect of remotely sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 2, p. 115-133, 1981.
- OLMOS, F.; ALVARENGA, H. **Mata da Indústria de Material Bélico do Brasil – IMBEL – Piquete-SP: Avaliação de seu Potencial para Conservação da Biodiversidade** (Fundação Christiano Rosa, Ed.). Piquete - SP, 2002.
- SLATER, P. N.; DOYLE, F. J.; NORMAN, L. F.; WELCH, R. Photographic systems for remote sensing. In: R. N. Colwell (Ed.); **Manual of remote sensing**. p.231-291. American Society of Photogrammetry, 1983.