

CONVERSÃO DE USO DA TERRA EM ÁREAS DESFLORESTADAS NA MATA ATLÂNTICA

Jefferson Fernandes Teixeira Júnior¹

¹ Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE
Caixa Postal 515 - 12227-010 - São José dos Campos - SP, Brasil
jefferson.teixeira@inpe.br

RESUMO

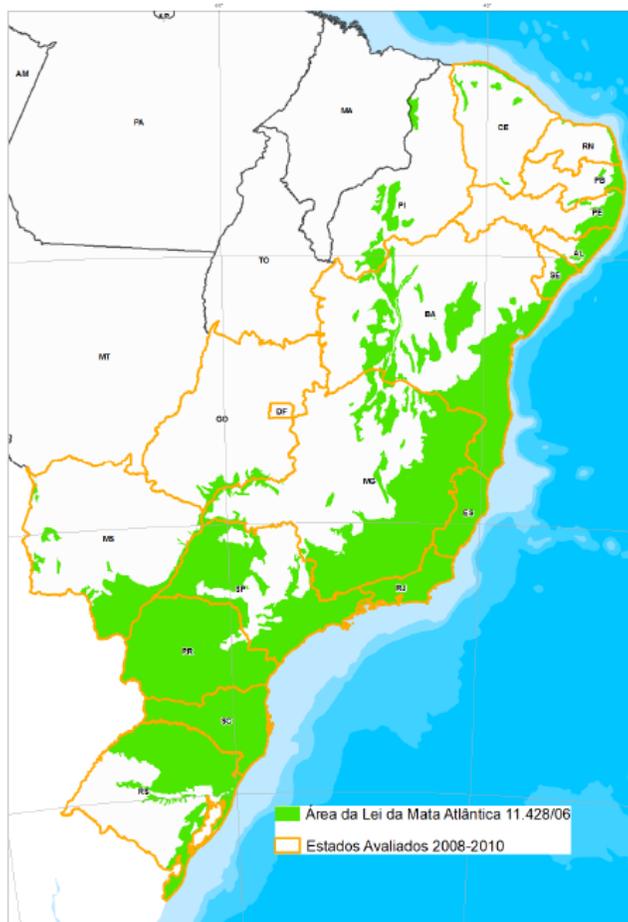
As florestas tropicais úmidas são consideradas os ambientes mais ricos em biodiversidade. A Mata Atlântica é uma das maiores áreas de floresta tropical e está incluída entre os principais *hotspots* do mundo, devido sua alta biodiversidade e às ameaças de destruição de seus habitats. As pressões antrópicas que causam o desflorestamento estão associadas aos diversos interesses socioeconômicos de cada região da Mata Atlântica e consistem de um sistema complexo de relações. O presente estudo tem como finalidade apresentar um método capaz de indicar conversões de uso de terra em áreas desflorestadas ao longo do tempo e que sirva de ferramenta para identificar os tipos de cobertura da terra.

Palavras-chave: Mata Atlântica, desflorestamento, uso da terra.

1 INTRODUÇÃO

A Mata Atlântica consistia em um conjunto de ecossistemas do continente americano cobrindo originalmente cerca de 150 milhões de hectares (Figura 1) sob uma vasta diversidade de condições ambientais (RIBEIRO *et al.*, 2009). A extensão do Bioma Mata Atlântica, conforme determinado pela Lei Federal 11428/2006 e pelo Decreto 6660/2008, compreende áreas de 17 Estados da Federação. Atualmente, está incluída entre os principais *hotspots*, ou seja, centros de altíssima biodiversidade cuja extensão original foi densamente reduzida, o que ameaça a sobrevivência de muitas espécies animais e plantas (FRANKE *et al.*, 2005).

Figura 1 - Área de Extensão do Bioma Mata Atlântica conforme Lei Federal 11428/2006, Decreto 6660/2008.



Fonte: Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica, 2011

Segundo dados documentados no Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica em sua edição do ano 2011, o cenário é de que existem atualmente 232.939 fragmentos de floresta nativa acima de três hectares, os quais totalizam 11,4% do bioma original, ou 147.018 km².

De acordo com o relatório anual do SOS Mata Atlântica, em sua edição do ano 2011, vivem nessa área cerca de 112 milhões de habitantes, que correspondem a 61% da população do país, distribuídos em mais de 3200 municípios. Os resultados do monitoramento da Mata Atlântica revelam que ainda há forte pressão antrópica sobre a

cobertura vegetal, que sofre processo contínuo de desmatamento descontraído, confirmando a fragilidade do bioma (HIROTA, 2005).

É importante ressaltar que as causas do desmatamento e os tipos de exploração predatória variam de uma região para outra. Além disso, o desflorestamento está intrinsecamente relacionado ao modo de produção estabelecido em áreas convertidas, sendo que a relação entre as variáveis socioeconômicas e a perda de áreas florestadas consiste em um problema de alta complexidade (YOUNG, 2005).

Nessa perspectiva, a realidade da Mata Atlântica se diferencia daquela presenciada, por exemplo, na Amazônia, onde a prática de desflorestamento está geralmente relacionada à produção de *commodities* como a soja e a atividades pecuaristas (SILVA, 2011). Por outro lado, a especulação imobiliária e o turismo predatório são alguns dos fatores que exercem maior pressão sobre as áreas de remanescentes da Mata Atlântica do que sobre os outros biomas (YOUNG, 2005).

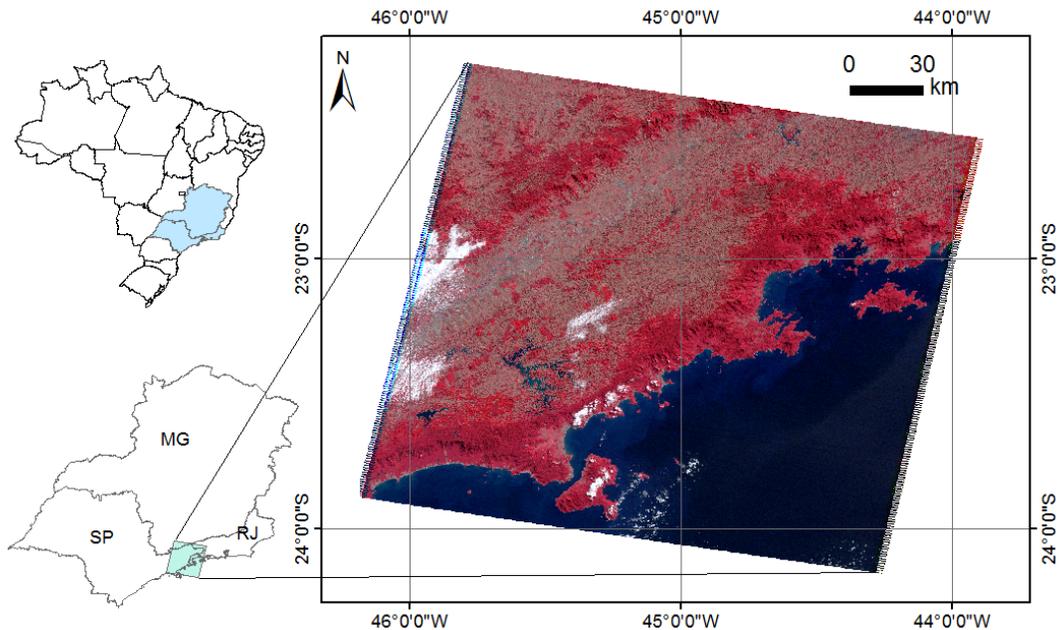
Diante disso, este trabalho propõe um método capaz de indicar tipos de conversão que ocorrem no interior de áreas desflorestadas ao longo do tempo, consistindo em uma ferramenta de diagnóstico para o monitoramento dessas áreas.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de Estudo

A área de estudo compreende parcialmente os Estados de São Paulo, Minas Gerais e Rio de Janeiro, em uma região delimitada pelas imagens do sensor TM/Landsat 5 referentes à órbita/ponto 218/76, cobrindo uma das regiões de mais alta biodiversidade da Mata Atlântica: o Corredor da Serra do Mar (MMA, 2006).

Figura 2 - Área de Estudo: órbita/ponto do sensor TM/Lansat 5



2.2 Polígonos de desflorestamento e série temporal de imagens

Para este estudo foram utilizados polígonos de desflorestamento selecionados nas datas de 14/08/2013 e 17/06/2011 e uma série temporal de imagens do TM/Landsat 5 obtidas nas datas 14/08/2013; 03/08/2005; 08/07/2007; e 17/06/2011. Os polígonos foram obtidos com base nos dados documentados no Atlas dos Remanescentes Florestais da Mata Atlântica. As imagens foram escolhidas em torno do mesmo mês, a fim de se avaliar a área de estudo sob condições ambientais e climáticas semelhantes. O período de exposição solar e o regime pluviométrico são alguns dos fatores que podem influenciar significativamente o comportamento de diferentes alvos, o que poderia gerar incertezas provenientes de fontes não avaliadas nesse estudo. A vegetação, por exemplo, devido às variações em sua estrutura e sua composição florística, apresenta respostas espectrais distintas dependendo das condições ambientais às quais ela está submetida.

Figura 3 - Exemplo de polígonos de desflorestamento (delineados em amarelo) selecionados para o estudo.



Após o georreferenciamento, as imagens foram convertidas para valores de reflectância aparente segundo descrito por Chander *et al* (2009), cujos valores foram discretizados no intervalo de 0 a 255. Em seguida foi aplicado o modelo 6S de correção atmosférica visando converter os valores de reflectância aparente em valores de reflectância de superfície para todas as imagens das 6 bandas do espectro óptico do sensor TM/Landsat 5.

Após essa conversão, foi realizado o cruzamento entre o plano de informação (PI) contendo os objetos (polígonos de desflorestamento) e os planos de informação contendo os valores de reflectância de superfície, para cada banda espectral de interesse e para cada data considerada. O cruzamento entre esses planos de informação consistia em realizar uma operação de média zonal. Para realizar essa operação, foi desenvolvido um código em LEGAL (Linguagem Espacial de Geoprocessamento Algébrico), aplicado no *software* SPRING v. 5.2.7, conforme apresentado no apêndice A. Deste modo, foram gerados como produto os valores médios de reflectância dos pixels localizados no interior dos polígonos para cada banda espectral. Esses resultados foram acrescentados em uma tabela de atributos conforme exemplificado na tabela 1.

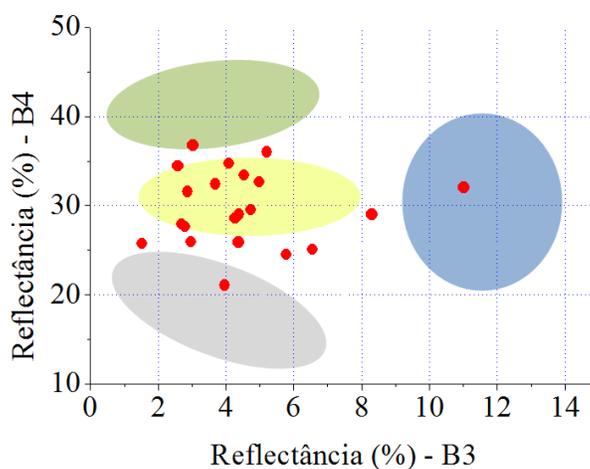
Tabela 1 - Valores de reflectância média para cada banda espectral atualizados na tabela de atributos dos polígonos para a data de 14/08/2003.

Polígono	Área (km ²)	B1 (%)	B2 (%)	B3 (%)	B4 (%)	B5 (%)	B7 (%)
1	82041	1.252	3.467	2.295	32.959	14.920	6.889
2	159394	3.128	5.990	6.583	22.837	21.369	14.985
3	35198	3.412	6.167	7.314	20.725	23.804	18.451
4	49080	2.567	5.155	5.433	20.071	19.294	13.191
5	36475	1.532	3.976	4.113	23.119	15.969	9.129

2.3 Gráfico de dispersão temporal

Como as bandas 3 e 4 são pouco correlacionadas, a comparação entre os dados referentes a essas bandas permite diferenciar espectralmente os tipos de alvos que compõem a área observada. Essa comparação foi realizada mediante a construção de um espaço bidimensional com os valores de reflectância médio dos polígonos distribuídos para cada data, o que permite a análise da dinâmica temporal das áreas desflorestadas. O deslocamento dos pontos nesse tipo de gráfico de dispersão indica a natureza da conversão ocorrida nessas áreas. Como forma de ilustração, é apresentado na Figura 4 um esboço desse espaço bidimensional, onde são destacadas algumas regiões do gráfico que são associadas a diferentes tipos de cobertura de terra, em virtude da relação entre os valores de reflectância.

Figura 4 - Exemplo do gráfico de dispersão dos valores de reflectância de superfície das bandas 3 e 4. A localização dos pontos em cada área colorida do gráfico representa um tipo de cobertura da terra



Nesse espaço, uma área de vegetação sadia, com alta biomassa e copa das árvores distribuídas de maneira uniforme, seria representada por algum ponto disposto na região de maiores valores de reflectância na banda 4 e menores na banda 3 (região do gráfico destacada em verde na Figura 4). Áreas de solo exposto e/ou cobertas por vegetação de gramíneas, com menor biomassa, seriam representadas por pontos localizados na região central do gráfico (destacada em amarelo). Vegetação com estruturas mais complexas e com muita sombra tendem a ter valores menores em ambas bandas espectrais e, assim, os pontos correspondentes tenderiam a se aproximar da origem (região destacada em cinza). Pontos localizados na região mais à direita do gráfico apresentam maiores valores de reflectância na banda 3 e menores na banda 4, o que não é característico de vegetação (região em azul).

Deste modo espera-se que, caso haja alterações no tipo de cobertura da terra no interior dos polígonos ao longo do tempo, os pontos correspondentes se desloquem para diferentes regiões do gráfico. Assim, ao observar a dinâmica dos pontos para uma série temporal, é possível identificar as conversões que ocorrem nas áreas desflorestadas.

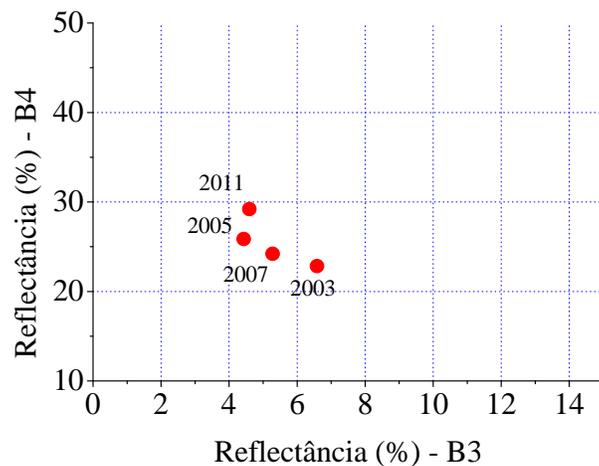
3 RESULTADOS

A partir do gráfico de dispersão temporal, foram observados alguns pontos que se destacaram dos demais por apresentarem dinâmica mais acentuada. Esses pontos foram analisados separadamente com o intuito de melhor visualizar a natureza da conversão ocorrida no polígono.

Foram também avaliadas as curvas de reflectância referentes a cada data, que permitiam extrair mais informações através dos dados das outras bandas espectrais.

O polígono 2 corresponde a uma área desflorestada selecionada no ano de 2003. Suas posições no gráfico de dispersão (Figura 5) para cada data em questão, se localizam em uma região que indica a presença de solo exposto e vegetação rasteira.

Figura 5 - Gráfico de dispersão temporal: polígono 2.



Os deslocamentos dos pontos indicam que a área passou por processos de regeneração e perda de vegetação intercalados ao longo das datas. Porém, a estabilidade em torno de uma região do gráfico indica que a paisagem não sofreu alterações significativas em seu tipo de cobertura de terra, como pode ser observado por imagens de maior resolução do do Google Earth (Figura 6)

Figura 6 - Polígono 2: imagens do Google Earth para as datas: a) 07/03/2004; e b) 07/04/2007. A paisagem se manteve praticamente estável.



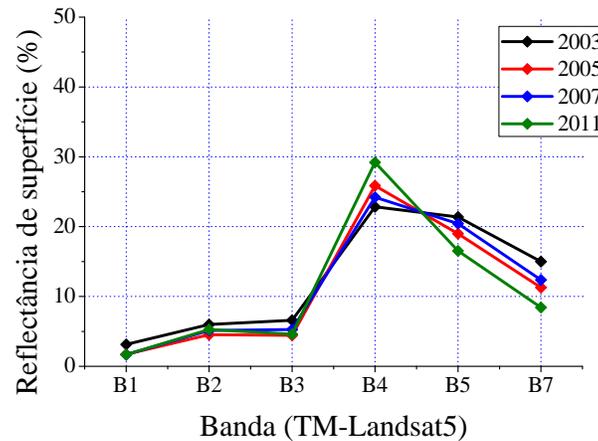
(a)



(b)

Através do gráfico de reflectância (Figura 7), é possível identificar que as curvas possuem feição característica à de vegetação rasteira, com mistura de alguns componentes. As variações nos valores de reflectância correspondentes à banda 5 e 7 indicam mudanças no teor hídrico, enquanto as variações na banda 4 indicam variações de biomassa.

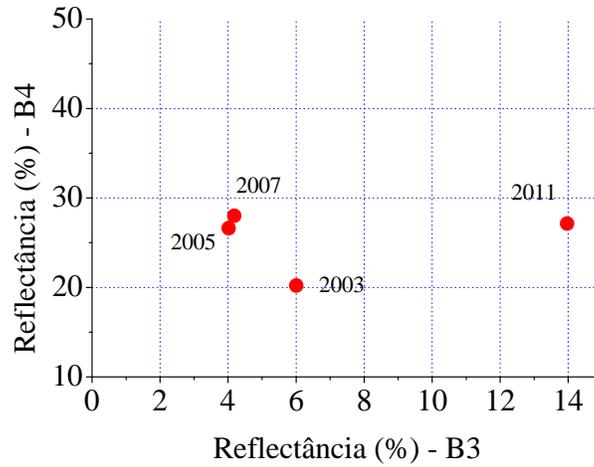
Figura 7 - Curvas de reflectância: polígono 2



Alguns polígonos tiveram suas posições alteradas de forma significativa no gráfico de dispersão, como pode ser observado no caso do polígono 9. Nesse caso, o polígono foi selecionado com base em imagens do ano 2011.

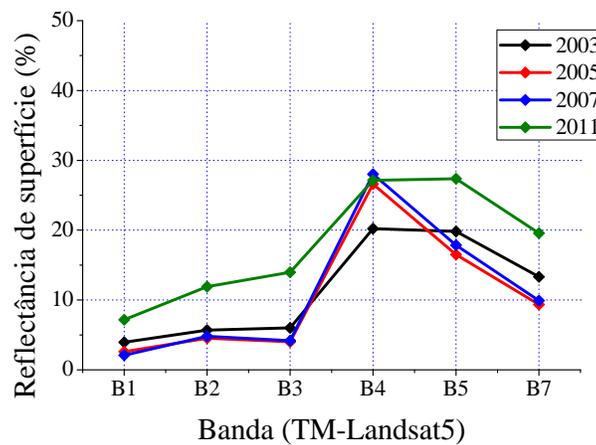
O gráfico de dispersão (Figura 8) indica que a área, possivelmente desflorestada no ano 2003, passou por um processo de regeneração da vegetação no período entre 2005 e 2007, sendo novamente desflorestada no ano 2011, quando houve maior degradação da vegetação.

Figura 8 - Gráfico de dispersão temporal: polígono 9



As curvas de reflectância correspondentes (Figura 9), ajudam a identificar o tipo de conversão que ocorreu no local.

Figura 9 - Curvas de reflectância do polígono 9



As feições das curvas de 2003 e 2011 indicam a presença de solo arenoso (SOUZA Jr., 2008). Ao se observar imagens obtidas do Google Earth (Figura 10), verifica-se o tipo de transformação que ocorreu na área e a atividade antrópica relacionada ao desflorestamento nesse polígono.

Figura 10 - Polígono 9: imagens do Google Earth para as datas: a) 27/06/2010; e b) 04/010/2011.



(a)

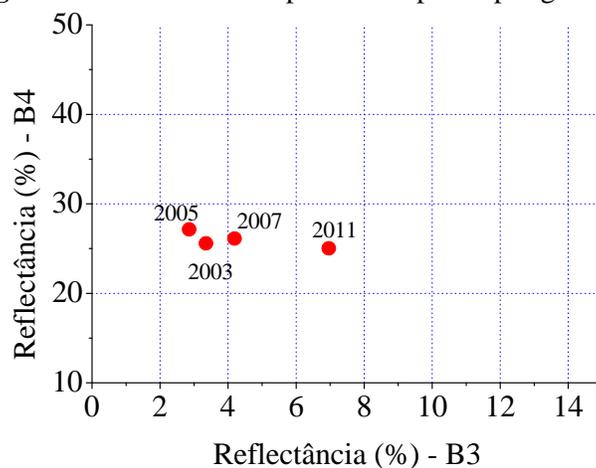


(b)

Nesse caso específico, a área se localiza em uma região onde tem se desenvolvido a prática de mineração de areia a ser utilizada para a construção civil, às margens do Rio Paraíba do Sul, no Estado de São Paulo.

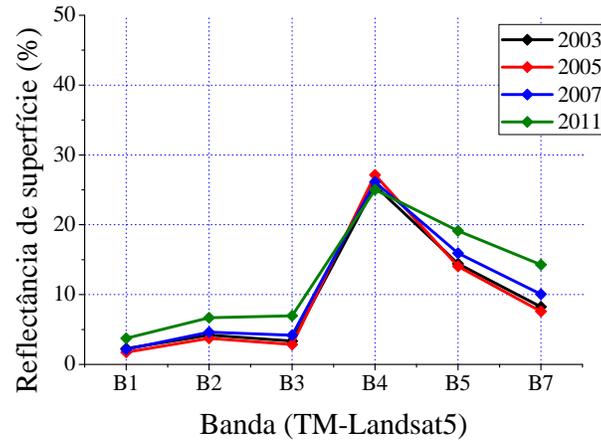
O polígono 13 exemplifica uma área que sofreu supressão antrópica motivada pela especulação imobiliária. A dinâmica no gráfico de dispersão (Figura mostra tendência de deslocamento do ponto para valores maiores de reflectância na banda 3 a partir de 2007, o que indica possível redução na quantidade de biomassa e, portanto, perda de vegetação.

Figura 11 - Gráfico de dispersão temporal: polígono 13



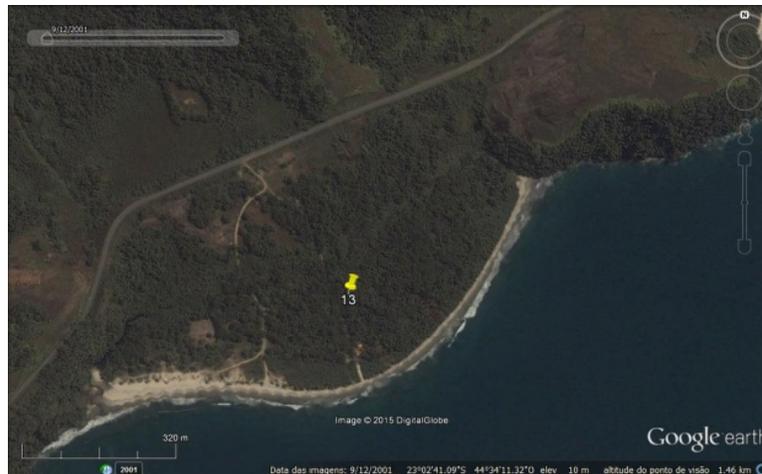
As curvas de reflectância (Figura 12) apresentam variações na região do visível, a qual é consideravelmente sensível em relação à perda de vegetação, quando os valores reflectância tendem a aumentar nessa região. Além disso, nas bandas 5 e 7, percebe-se uma diminuição do teor hídrico devido ao aumento dos valores de reflectância. Pelas feições das curvas, pode-se deduzir a presença de vegetação com mistura de outros tipos de cobertura.

Figura 12 - Curvas de reflectância: polígono 13



Nesse caso, a região foi desflorestada transformando-se posteriormente em uma área urbana, com construções distribuídas entre a vegetação original. Tal fato é verificado através das imagens de maior resolução do Google Earth (Figura 13).

Figura 13 - Polígono 13: imagens do Google Earth para as datas: a) 12/09/2001; e b) 16/06/2010.



(a)



(b)

CONSIDERAÇÕES FINAIS

Apesar de sua simplicidade, o método proposto para a identificação de tipos de conversão de uso da terra em áreas desflorestadas na Mata Atlântica se mostrou eficiente, pois apresentou resultados concordantes com as observações mais detalhadas das áreas em análise.

Outra vantagem a ser considerada está relacionada ao fato de ser um método operacional, pois permite rápida identificação de mudanças nas áreas desflorestadas por meio da simples observação da dinâmica de pontos distribuídos em um gráfico.

Por outro lado, a precisão dos resultados pode ser afetada pelas incertezas oriundas do pré-processamento das imagens. Além disso, polígonos de áreas grandes podem conter muitos tipos de componentes diversos, o que refletiria em uma mistura de contribuições por parte de cada componente no valor médio dos valores de reflectância, provocando confusão na extração de informações.

É importante também destacar que, por ser um método existe outra limitação devido a uma característica inerente à qualquer prática de sensoriamento remoto: a ambiguidade de interpretação dos dados. Tal fato se deve, em resumo, à possibilidade de que alvos de naturezas distintas apresentem comportamentos semelhantes em determinadas faixas

espectrais, o que pode levar a conclusões não adequadas sobre os objetos que compõe a área.

REFERÊNCIAS

Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica, período de 2008 a 2010. **SOS Mata Atlântica, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**, 2011. <<http://www.sosmatatlantica.org.br>>. Acesso em 13 jun. 2015

BRASIL. DECRETO Nº 6.660, DE 21 DE NOVEMBRO DE 2008. **Regulamenta dispositivos da Lei no 11.428, de 22 de dezembro de 2006, que dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica**. Disponível em <http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2007-2010/2008/decreto/d6660.htm >. Acesso em: 17 jun. 2015.

BRASIL. LEI Nº 11.428, DE 22 DE DEZEMBRO DE 2006. **Dispõe sobre a utilização e proteção da vegetação nativa do Bioma Mata Atlântica, e dá outras providências**. Disponível em: < http://www.planalto.gov.br/ccivil_03/_ato2004-2006/2006/lei/111428.htm>. Acesso em: 17 jun. 2015.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. O corredor central da Mata Atlântica: uma nova escala de conservação da biodiversidade. Brasília: MMA, 2006. 46 p.

FRANKE, C. R.; DA ROCHA, P. L. B.; KLEIN, W.; GOMES, S. L. **Mata Atlântica e biodiversidade**. Salvador: EduFBA, 2005. 461 p.

HIROTA, M. M. Monitoramento da cobertura da Mata Atlântica Brasileira. In: Galindo-Leal, C.; Câmara, I.G. (Eds). **Mata Atlântica: Biodiversidade, Ameaças e Perspectivas**. Belo Horizonte: Conservação Internacional, 2005. cap. 6, p.60-65.

RIBEIRO, M. C.; METZGER, J. P.; MARTENSEN, A. C.; PONZONI, F. J.; HIROTA, M. M. The Brazilian Atlantic Forest: How much is left, and how is the remaining forest distributed? Implications for conservation. **Biological Conservation**, v. 142, n. 6, p. 1141–1153, jun. 2009.

SOUSA Jr., J. G. A.; DEMATTE, J. A. M. e GENU, A. M. Comportamento espectral dos solos na paisagem a partir de dados coletados por sensores terrestre e orbital. **Revista Brasileira de Ciências do Solo**. 2008, vol. 32, n. 2, p. 727-738. ISSN 1806-9657.

YOUNG, C. E. F. Causas socioeconômicas do desmatamento da Mata Atlântica brasileira. In: Galindo-Leal, C.; Câmara, I.G. (Eds). **Mata Atlântica: Biodiversidade, Ameaças e Perspectivas**. Belo Horizonte: Conservação Internacional, 2005. cap. 10, p.103-118.

APÊNDICE A - Código em LEGAL

```
{
Image Im1, Im2, Im3, Im4, Im5, Im7 ("Reflectancia_2003");
Objeto Obj ("Desflo3_pol_0");
Cadastral Mapa ("Desflo");

Im1=Recupere (Nome="Rs1_03");
Im2=Recupere (Nome="Rs2_03");
Im3=Recupere (Nome="Rs3_03");
Im4=Recupere (Nome="Rs4_03");
Im5=Recupere (Nome="Rs5_03");
Im7=Recupere (Nome="Rs7_03");
Mapa = Recupere (Nome="Desflo_2000_edit_02");

Obj ."Medi a1"= Medi aZonal (Im1, Obj OnMap Mapa);
Obj ."Medi a2"= Medi aZonal (Im2, Obj OnMap Mapa);
Obj ."Medi a3"= Medi aZonal (Im3, Obj OnMap Mapa);
Obj ."Medi a4"= Medi aZonal (Im4, Obj OnMap Mapa);
Obj ."Medi a5"= Medi aZonal (Im5, Obj OnMap Mapa);
Obj ."Medi a7"= Medi aZonal (Im7, Obj OnMap Mapa);
}
```

APÊNDICE B - OMT-G

