

Sensibilidade de índices de vegetação para classificação do estado de conservação da cobertura florestal

^{1,2}Christina Kelly Albuquerque
²Carla Bernadete Madureira Cruz
²Rafael Silva de Barros

¹ICMBio – APA da Bacia do Rio São João
christina.albuquerque@icmbio.gov.br

²Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ
Departamento de Geografia, Rio de Janeiro, RJ
cmad@ufrj.br
rafael.barros@ufrj.br

Abstract - This study aimed to map the conservation state conditions of forest fragments through remote sensing data. For this purpose, NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*); EVI 2 (*Enhanced Vegetation Index 2*) and MVI (*Moisture Vegetation Index*) were tested in this study. Initially, we developed a method to infer, at the site, the state of forest disturbance through ocular reconnaissance. 66 (sixty six) fragments were classified according to a representative type of their disturbance state conditions. These fragments were used as samples to extract the parameters related to the vegetation indices tested. The vegetation indices were sensitive to differences among vegetation types, but it was not possible to obtain a parameter that could accurately separate the samples as per the field classification. The best result was obtained using the median NDVI parameter which enabled the mapping of disturbance intensity for the forest remnants in the study area, with two classes: disturbed secondary forests, and lowly disturbed secondary forests. Results indicate that remote sensing is one of the possible ways to pass from a local scale to the landscape scale.

Palavras-chave: remote sensing, vegetation index, forest disturbance, sensoriamento remoto, perturbação florestal.

1. Introdução

O presente trabalho teve por objetivo testar a aplicabilidade e a acuidade de dados espectrais na elaboração de indicadores do estado de conservação da floresta realizando estudo de caso com remanescentes florestais situados na APA São João/RJ.

O conhecimento do estado de conservação de remanescentes de vegetação nativa é uma informação importante na gestão ambiental, notadamente, para fornecer suporte técnico para o planejamento de ações visando aumentar a conectividade da paisagem através de corredores, porque fragmentos menos perturbados, a princípio, abrigam maior biodiversidade e podem ser considerados fontes de propágulos que através da ação dos agentes de dispersão contribuem para a aceleração do processo de regeneração natural em áreas adjacentes.

Estudos baseados em levantamentos locais fornecem informações precisas, mas ainda há muitos problemas envolvendo a generalização desta informação visando atender à escala da paisagem. Neste contexto, está inserido o sensoriamento remoto, que tem sido apontado como um dos caminhos para esta mudança de escala.

A complexidade da estrutura da vegetação, a abundância de espécies, e a transição suave entre os diferentes tipos de vegetação tornam a classificação da vegetação difícil quando são usadas abordagens tradicionais de classificação. Na maioria das vezes, tais classificações distinguem apenas áreas de floresta e não floresta (Lu *et al.*, 2003). Deste modo, a comunidade científica tem buscado metodologias que possam explorar com maior eficiência as potencialidades de discriminação da vegetação que as imagens digitais possuem e com isso obter mapeamentos mais refinados sob o aspecto qualitativo. Desde a década de 1960, os cientistas vêm extraindo e modelando vários parâmetros biofísicos da vegetação com o uso de dados do sensoriamento remoto. Grande parte desse esforço tem envolvido o uso de índices

de vegetação (Jensen, 2009). Tais índices minimizam os efeitos de iluminação da cena, a declividade da superfície e a geometria de aquisição que influenciam os valores de reflectância da vegetação. Estes índices estão fundamentados no comportamento antagônico da vegetação nas regiões espectrais do visível e do infravermelho próximo (Ponzoni e Shimabukuro, 2007).

A escolha dos índices de vegetação testados neste trabalho se deu em função das bandas do sensor HRG a bordo do satélite Spot-5 e pelo tipo de alvo visado. Como o presente trabalho foi voltado para a classificação de fragmentos florestais, que são fisionomias fechadas, e cuja contribuição do solo na resposta espectral deste tipo de alvo é de reduzida importância, não foram testados índices especialmente construídos para minimizar os efeitos deste componente. Como este sensor não possui bandas na região do azul ou na região do infravermelho médio acima de 1,75 μm não puderam ser testados índices que utilizam estas faixas espectrais em sua construção. Os índices de vegetação testados foram o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index*), índice de vegetação utilizado amplamente em estudos sobre a vegetação; o EVI 2 (*Enhanced Vegetation Index 2*), desenvolvido por Jiang *et al.*, (2008) a partir do EVI, mas com o diferencial de não utilizar a banda do azul e o MVI (*Moisture Vegetation Index*), proposto por Gao (1996) para a detecção da umidade da vegetação. A seguir, as equações 1 a 3 apresentam a formulação destes índices de vegetação.

$$NDVI = \frac{(\rho_{IV\text{ pr\u00f3x}} - \rho_{Vermelho})}{(\rho_{IV\text{ pr\u00f3x}} + \rho_{Vermelho})} \quad (1)$$

$$EVI2 = 2,5 \left(\frac{\rho_{IV\text{ pr\u00f3x}} - \rho_{Vermelho}}{\rho_{IV\text{ pr\u00f3x}} + 2,4\rho_{Vermelho} + 1} \right) \quad (2)$$

$$MVI = \frac{(\rho_{IV\text{ pr\u00f3x}} - \rho_{IV\text{ M\u00e9dio}})}{(\rho_{IV\text{ pr\u00f3x}} + \rho_{IV\text{ M\u00e9dio}})} \quad (3)$$

Uma etapa importante deste trabalho envolveu a correção atmosférica da imagem do satélite Spot-5 que abrange a área de estudo, objetivando obter reflectâncias de superfície mais fiéis à verdade de campo. A radiância medida pelos sensores a bordo de satélites incluem radiâncias de trajetória devidas ao espalhamento e a radiância solar refletida pela superfície. Isto ocorre porque os efeitos da atmosfera sobre a radiação eletromagnética possuem três componentes: atenuação da radiação proveniente do Sol, efeitos na radiação enviada para o sensor e criação da Radiância de trajetória, além disso, a atmosfera atua de forma diferenciada nas diferentes bandas envolvidas na geração dos índices de vegetação (Kaufman, 1988). O exposto evidencia a importância da correção atmosférica para aumentar a acuidade dos índices de vegetação para a inferência do estado de conservação da floresta.

2. Metodologia de Trabalho

2.1 - Classificação de fragmentos florestais segundo seu estado de conservação

Em linhas gerais, a vegetação nativa localizada na APA São João se apresenta como um mosaico de áreas em início de regeneração, sem desenvolvimento de porte arbóreo e áreas de florestas secundárias em diferentes estágios de regeneração natural, cujas feições refletem o estado atual de recuperação após terem cessado os distúrbios a que foram submetidas. O reconhecimento extensivo realizado em campo identificou que as manchas de vegetação podem assumir 5 padrões principais. Foi elaborada uma chave de identificação permitindo a classificação dos fragmentos segundo estes padrões, que doravante passarão a ser denominados “tipos”. A descrição dos tipos de fragmentos envolveu a combinação de elementos de fácil percepção em campo, como por exemplo: porte, uniformidade da altura do dossel, abertura do dossel, presença de gramíneas (elemento associado à abertura do dossel),

presença e extensão de falhas no dossel, presença de árvores mortas, percepção da proporção de espécies pioneiras em relação ao conjunto, percepção da variedade de espécies compondo o dossel, e tamanho das copas. O tipo 4 foi associado aos fragmentos cujo aspecto externo indicou adiantado estágio de regeneração natural. Os fragmentos em estágio intermediário possivelmente alcançaram esta posição devido ao curso normal da sucessão natural, ou pelo caminho inverso, ou seja, o caminho da degradação de um fragmento que se encontrava em estágio mais adiantado. Por este motivo, o tipo 3.1 foi associado aos fragmentos que aparentemente sofreram perturbação recente e o tipo 3.2 foi associado aos fragmentos que aparentemente seguiram sem maiores transtornos o curso normal da regeneração. O tipo 2 correspondeu a um estágio anterior, onde a floresta ainda estava em uma fase inicial de estruturação e o tipo 1 foi associado a áreas jovens que iniciaram o processo de regeneração recentemente e não apresentavam porte arbóreo. Estas áreas foram amostradas para permitir determinar a partir de quais valores os índices de vegetação começavam a indicar formações arbóreas.

Sessenta e seis fragmentos foram classificados de acordo com a tipologia proposta e foram utilizados como amostras para extrair os parâmetros estatísticos que avaliaram a sensibilidade dos índices de vegetação para inferir o estado de conservação da floresta.

2.2 - Processamento digital da imagem do Spot 5 e geração dos índices de vegetação

Os índices de vegetação testados foram gerados a partir de uma cena ortorretificada do satélite Spot-5 que abrange a área de estudo e convertida para valores de reflectância de superfície através do aplicativo Atcor 2 disponível no software PCI Geomatics. Este aplicativo converteu diretamente os números digitais das imagens para valores de reflectância de superfície corrigindo a influência associada aos parâmetros geométricos de aquisição da cena e os efeitos causados pela interação da energia refletida pelos alvos na superfície terrestre com a atmosfera. As imagens índice de vegetação correspondentes ao NDVI e ao MVI foram geradas no software Idrisi através do aplicativo Vegindex, com o diferencial que para a produção do MVI a banda do vermelho foi substituída pela banda infravermelho médio. O EVI 2 foi obtido através de operações de álgebra de imagens. As variáveis estatísticas associadas aos índices de vegetação foram obtidas através da função para extração de parâmetros estatísticos de uma imagem a partir da definição de polígonos, disponível no software Spring.

2.2 – Estabelecimento de limiares para a classificação do estado de conservação de fragmentos florestais através do uso de índices de vegetação

Os critérios para o estabelecimento de limiares de separação entre os tipos de amostras foram determinados com o objetivo de produzir o mapeamento do estado de conservação dos fragmentos florestais remanescentes na área de estudo. Esta tarefa foi dificultada pelo comportamento típico dos objetos naturais, os quais possuem transição espacialmente difusa, sendo difícil estabelecer de modo determinístico (booleano) os seus limites. Até mesmo em campo houve dificuldades de se associar com precisão algumas áreas a um único tipo. Assim, diante da impossibilidade de estabelecer limiares claros que pudessem ser usados para separar as classes associadas aos tipos de amostras, foi considerado satisfatório um critério que separasse as amostras em grupos que reunissem o maior percentual de amostras de determinado tipo, com o menor percentual de representantes de amostras de outros tipos.

Para tanto, os dados foram trabalhados da seguinte maneira:

- a- Foram elaboradas tabelas separadas, por índice de vegetação (EVI 2, MVI, NDVI) e por parâmetro estatístico analisado (média e mediana).
- b- Os dados de cada tabela foram organizados por ordem de tipo de amostra. Em seguida, os dados foram reorganizados em ordem crescente. Por exemplo, a

sequência de dados da tabela de média do EVI 2 foi: tipo 1 (com amostras ordenadas em ordem crescente de média), seguida pelo tipo 2 (com amostras ordenadas em ordem crescente de média) e assim por diante.

- c- Foram elaborados gráficos para cada uma das tabelas geradas que evidenciaram o comportamento do conjunto amostral naquele parâmetro específico.
- d- A análise de tais gráficos permitiu a identificação do critério para estabelecimento dos limiares.

No decorrer das análises foi evidenciada a dificuldade de separar as amostras do tipo 3.1 das amostras do tipo 2 e as amostras do tipo 3.2 das amostras do tipo 4. Isto prejudicou a manutenção do detalhamento da classificação de campo. Devemos salientar que as áreas associadas aos tipos 3.1 ainda guardavam muitas semelhanças com as áreas do tipo 2, seus dosséis ainda estavam pouco desenvolvidos em termos de altura e apresentavam uma mistura de áreas fechadas e outras mais abertas; as espécies pioneiras ainda eram predominantes em determinados trechos dos fragmentos; e a variedade de espécies compondo os dosséis tiveram apenas um ligeiro aumento em comparação ao tipo 2. Por outro lado, as amostras do tipo 3.2 eram assemelhadas às amostras do tipo 4, que possuíam como principais diferenças o porte mais desenvolvido e a presença de um maior número de espécies formando os dosséis. Por estes motivos, foi feita uma nova classificação do universo amostral. As amostras do tipo 3.1 foram reunidas com as amostras do tipo 2 e as amostras dos tipos 3.2 e tipo 4 foram reunidas e denominadas tipo 3. A figura 1 esquematiza a operação e junção das classes e apresenta um breve resumo das suas características.

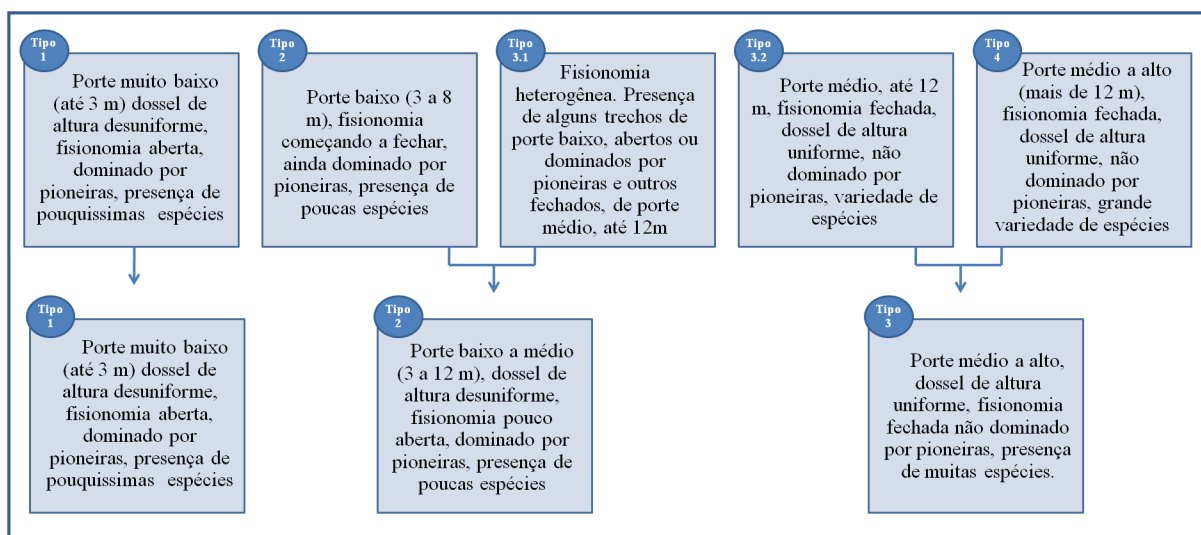


Figura 1- Esquema de união das classes que representaram os tipos de vegetação identificados na área de estudo.

A análise dos gráficos elaborados indicou que o melhor limiar de separação entre o tipo 2 e o tipo 3 foi a média obtida pelos parâmetros analisados no tipo 3. Esta decisão foi tomada a partir da análise da tendência de comportamento de todos os parâmetros em função do tipo de amostra, que evidenciou que o tipo 3 apresentou os maiores valores médios. Isto permitiu levantar a hipótese de que seriam aumentadas as probabilidades de formar um agrupamento no qual houvesse o maior número de amostras do tipo 3 em relação às amostras do tipo 2 quanto maior fosse o valor do limiar de separação entre ambas. Em outras palavras, partindo do pressuposto que as amostras do tipo 3 representam os fragmentos menos perturbados, e que um indicador desta condição poderia ser a média dos parâmetros analisados, as amostras que estivessem acima da média teriam maiores possibilidades de representar esta condição,

enquanto as amostras que estivessem abaixo da média ainda teriam grandes probabilidades de estar em uma fase de recuperação intermediária. O limiar entre o tipo 1 e o tipo 2 determinado foi o maior valor obtido pelos parâmetros analisados no tipo 1. Isto assegurou que as amostras do tipo 1 não fossem agrupadas com amostras do tipo 2, porque o tipo 1 não representava uma fisionomia de porte arbóreo. Estes critérios possuíam a vantagem de poderem ser replicados em todos os parâmetros estudados e, deste modo, aumentar as possibilidades de selecionar um parâmetro que realmente pudesse produzir um mapeamento que refletisse a intensidade de perturbação dos fragmentos florestais presentes na área de estudo. A seguir, a figura 2 apresenta esquematicamente o resultado da classificação das amostras através dos limiares definidos por esta metodologia.

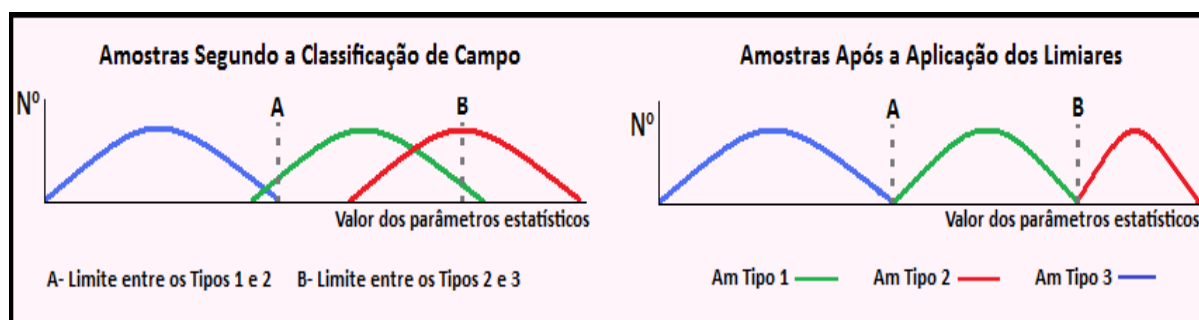


Figura 2- Representação esquemática da classificação das amostras pelos limiares.

O método utilizado teve por objetivo classificar as amostras de modo assemelhado à classificação de campo através dos parâmetros dos índices de vegetação. Deste modo, as divergências entre as duas classificações foram consideradas como erros. Como foi determinado que o limite de separação entre o tipo 1 e o tipo 2 seria o valor máximo atribuído ao tipo 1 pelos parâmetros, o método adotado não produziu erros de classificação para o tipo 1. Assim, os erros cometidos foram: amostras do tipo 3 agrupadas com as amostras do tipo 2 (valores abaixo da média do tipo 3); amostras do tipo 2 agrupadas com amostras do tipo 1 (valores abaixo do valor máximo do tipo 1) e amostras do tipo 2 agrupadas com amostras do tipo 3 (valores maiores ou iguais à média do tipo 3). De forma análoga foi considerado “acerto” quando o valor obtido pelas amostras em determinado parâmetro estivesse posicionado acima do limite inferior proposto para o seu tipo. A habilidade dos parâmetros analisados para discriminar os tipos de amostras foi julgada através da comparação entre o número de “erros” e “acertos”.

3. Resultados e Discussão

Conforme descrito anteriormente os limiares foram determinados a partir da interpretação do comportamento das amostras que a seguir serão apresentados nas figuras 3 a 8. Nestas figuras, as linhas horizontais na cor verde e vermelha representam respectivamente os limiares entre os tipos 1 e 2, e entre os tipos 2 e 3. Os pontos na cor vermelha indicam as amostras classificadas erroneamente pela metodologia seguida. O quadro 1 apresenta o desempenho dos parâmetros média e mediana na classificação dos tipos de amostras de vegetação segundo os limiares estabelecidos.

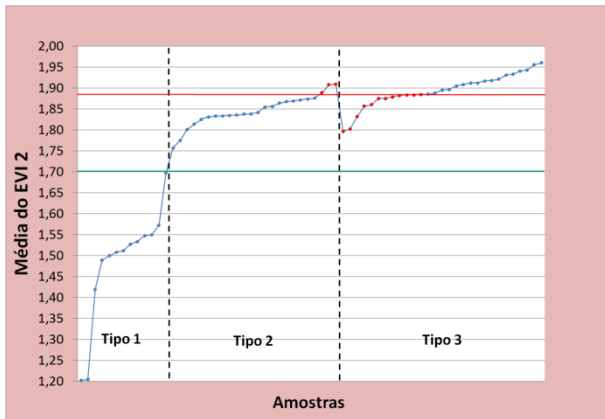


Figura 3- Comportamento das amostras de acordo com a média do EVI 2. Limiar entre os tipos 1 e 2 = 1,70 e limiar entre os tipos 2 e 3 = 1,89

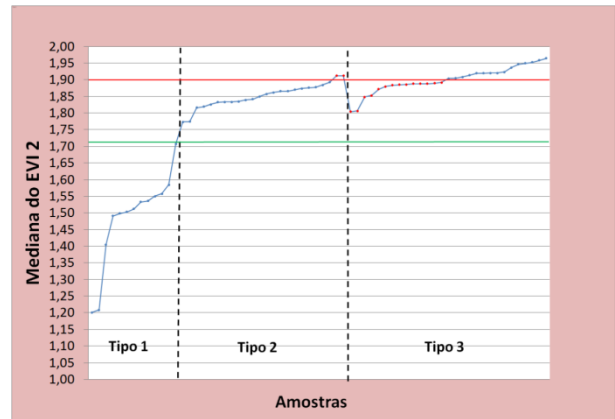


Figura 4- comportamento das amostras de acordo com a mediana do EVI 2. Limiar entre os tipos 1 e 2 = 1,71 e limiar entre os tipos 2 e 3 = 1,90

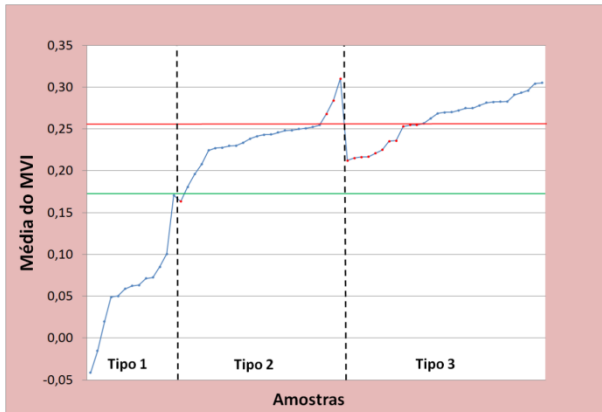


Figura 5- Comportamento das amostras de acordo com a média do MVI. Limiar entre os tipos 1 e 2 = 0,17 e limiar entre os tipos 2 e 3 = 0,26

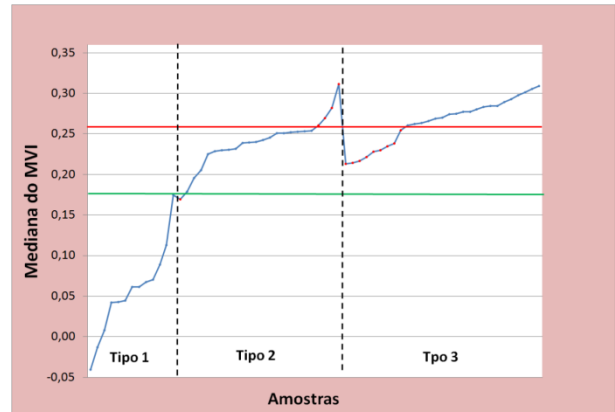


Figura 6- comportamento das amostras de acordo com a Mediana do MVI. Limiar entre os tipos 1 e 2 = 0,17 e limiar entre os tipos 2 e 3 = 0,26

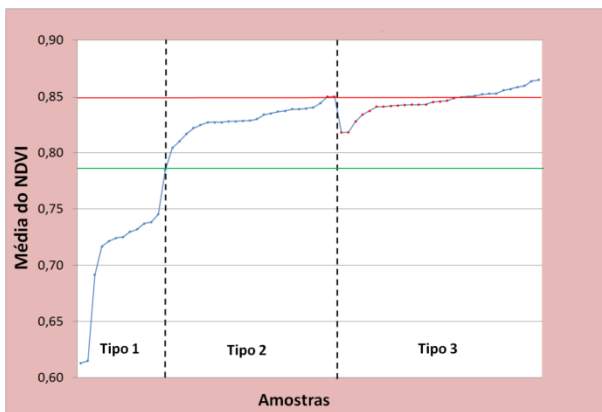


Figura 7 - Comportamento das amostras de acordo com a média do NDVI. Limiar entre os tipos 1 e 2 = 0,78 e limiar entre os tipos 2 e 3 = 0,85

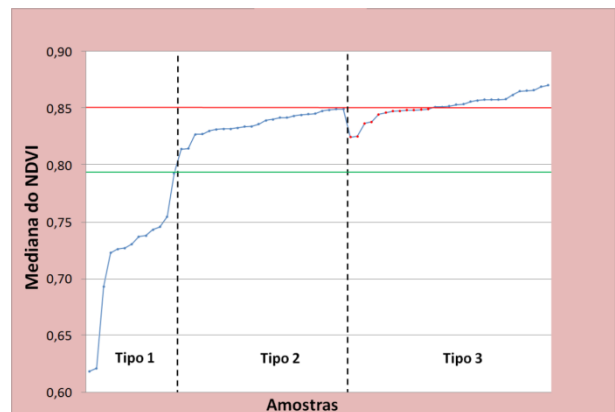


Figura 8 - Comportamento das amostras de acordo com a mediana do NDVI. Limiar entre os tipos 1 e 2 = 0,79 e limiar entre os tipos 2 e 3 = 0,85

Quadro 1- Desempenho dos parâmetros média e mediana na classificação dos tipos de amostras de vegetação

Tipo	Percentual de erros parâmetro média						Percentual de acertos parâmetro média					
	EVI2		MVI		NDVI		EVI2		MVI		NDVI	
	Nº de am	%	Nº de am	%	Nº de am	%	Nº de am	%	Nº de am	%	Nº de am	%
1	0	0	0	0	0	0	13	100	13	100	13	100
2	3	12,5	4	16,7	2	8,3	21	87,5	20	83,3	22	91,7
3	12	41,4	11	37,9	13	44,8	17	58,6	18	62,1	16	55,2
Tipo	Percentual de erros parâmetro mediana						Percentual de acertos parâmetro mediana					
	EVI2		MVI		NDVI		EVI2		MVI		NDVI	
	Nº de am	%	Nº de am	%	Nº de am	%	Nº de am	%	Nº de am	%	Nº de am	%
1	0	0	0	0	0	0	13	100	13	100	13	100
2	2	8,3	5	20,8	0	0	22	91,7	19	79,2	24	100
3	14	48,3	9	31	12	41,38	15	51,7	20	69	17	58,6

O melhor resultado foi obtido através do parâmetro mediana do NDVI, que não classificou as amostras do tipo 2 junto com amostras do tipo 3 e reuniu 58,6% das amostras do tipo 3 em um único grupo.

Como a premissa inicial foi que os fragmentos do tipo 3 representam as florestas em melhor estado de conservação, estes resultados foram considerados apropriados para mapear duas classes de intensidade de perturbação dos remanescentes florestais da área de estudo: florestas secundárias perturbadas, representadas por áreas semelhantes às amostras dos tipos 2 e por áreas do tipo 3 cujos valores da mediana do NDVI estivessem abaixo da média deste tipo; e florestas secundárias pouco perturbadas, ou seja, semelhantes às amostras do tipo 3 cujos valores da mediana do NDVI estivessem acima da média das amostras do tipo 3, e portanto com altas probabilidades de serem florestas em adiantado estado de recuperação das perturbações sofridas no passado.

A seguir, a figura 9 apresenta o detalhe de uma área mostrando o resultado da classificação do estado de conservação dos remanescentes florestais utilizando os valores da mediana do NDVI comparada à imagem Spot-5 original e a uma imagem de alta resolução (Ikonos).

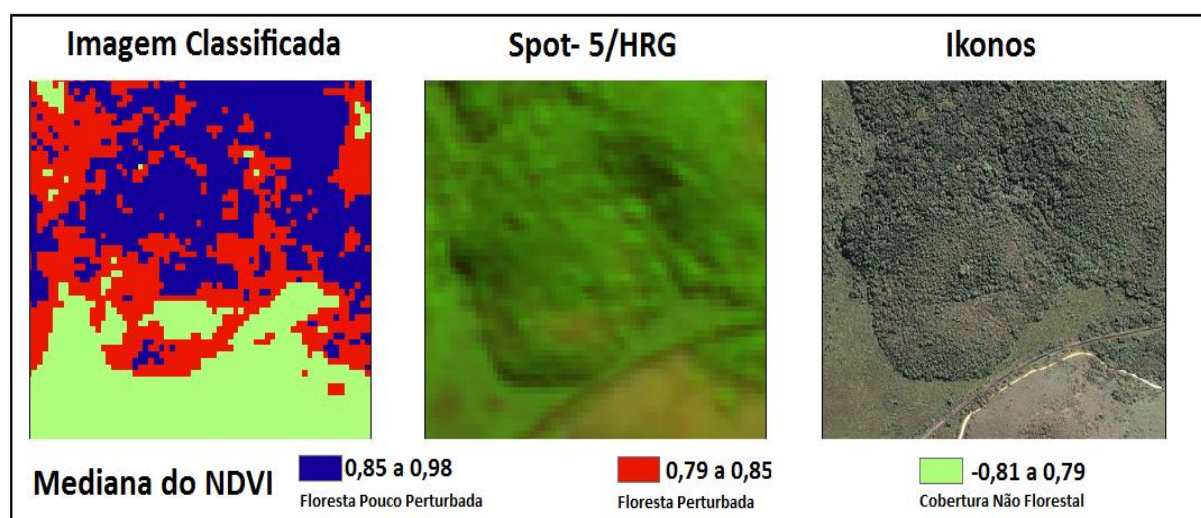


Figura 9- Comparação de uma área classificada pelos os valores da mediana do NDVI, a imagem Spot-5 utilizada neste estudo e uma imagem de alta resolução (Ikonos)

4. Conclusões

Os índices de vegetação foram sensíveis às diferenças entre os tipos de vegetação. Foi possível separar as amostras que representaram a cobertura arbustiva das amostras que representaram a cobertura arbórea, mas não foi possível identificar um limiar exato de separação entre as amostras que representaram a cobertura arbórea mantendo o detalhamento da classificação de campo. O parâmetro mediana do NDVI proporcionou o melhor resultado e foi utilizado para mapear duas classes de intensidade de perturbação dos remanescentes florestais: Florestas secundárias perturbadas e florestas secundárias pouco perturbadas.

A metodologia proposta para inferir o estado de conservação de remanescentes florestais pode se constituir em uma alternativa viável para o reconhecimento expedito do estado da vegetação em levantamentos em escala regional. Para tanto, seu emprego deverá ser precedido de uma definição criteriosa dos parâmetros de avaliação em campo e os conceitos associados a esses critérios precisam ser amplamente discutidos e compartilhados pela equipe.

No emprego da metodologia aqui proposta, deverá ser lembrado que a transição das características da vegetação é contínua e difusa e sempre haverá incertezas quando se tem por meta a discretização de variáveis contínuas. Isto se constitui em mais um fator que dificulta a atribuição de uma única classe a um dado fragmento florestal. Em se tratando da classificação da floresta usando dados orbitais, deve ser lembrado que o que é representado nestas imagens é na verdade a integração de uma série de variáveis difíceis de serem isoladas e cuja compreensão ainda é reduzida, mas apesar das limitações ainda existentes, o sensoriamento remoto foi um caminho viável para mudar da escala local para a escala da paisagem e o produto gerado nesta pesquisa proporcionará aos gestores da APA São João indicadores que poderão ser considerados por ocasião do planejamento de corredores florestais no interior dessa Unidade de Conservação.

Referências Bibliográficas

GAO, B.-C. (1996). NDWI A Normalized Difference Water Index for Remote Sensing of Vegetation Liquid Water From Space. **Remote Sensing of Environment**, 58(2009), 257-266.

JENSEN, J. R. (2009). **Sensoriamento Remoto do Ambiente: Uma perspectiva em Recursos Terrestres**. Tradução da segunda edição de Remote Sensing of Environment: an Earth Perspective. São José dos Campos, SP: Editora Parêntese.

JIANG, Z., HUETE, A. R., DIDAN, K., & MIURA, T. (2008). Development of a two-band enhanced vegetation index without a blue band. **Remote Sensing of Environment** 112 (2008) 3833–3845.

KAUFMAN, Y. J. (1988). Atmospheric effect on spectral signature-measurements and corrections., **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, 26(4), 441-450.

LU, D., MAUSEL, P., BRONDIZIO, E., & MORAN, E. (2003). Classification of successional forest stages in the Brazilian Amazon basin. **Forest Ecology and Management**, 181(2003)301–312.

PONZONI, F. J., & SHIMABUKURO, Y. E. (2007). **Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação**. São José dos Campos: Ed Parêntese, 2007. 126 p.