

Mapeamento da cobertura da terra no Parque Estadual da Serra da Concórdia (PESC) - RJ através de classificação digital híbrida

Raphael Corrêa de Souza Coelho¹
Marcus Vinícius Alves de Carvalho^{1,2}
Rafael Silva de Barros¹

¹Universidade Federal do Rio de Janeiro - UFRJ
CCMN/IGEO/DepGeo/Laboratório ESPAÇO: Sensoriamento Remoto e Estudos Ambientais
Av. Athos da Silveira Ramos, 274 - Ilha do Fundão - Rio de Janeiro, RJ - Brasil
CEP: 21.949-900
{raphaelcoelho3,marcus.br,barros.rafael}@gmail.com

²Universidade Federal Fluminense - UFF
IGEO/Departamento de Geografia/LAGEF: Laboratório de Geografia Física
Av. General Milton Tavares de Souza, s/nº - Campus da Praia Vermelha - Gragoatá - Niterói,
RJ - Brasil - CEP: 24.210-346

Abstract. The objective of this study is to evaluate different spectral indices (EVI, NDVI, Modified NDVI, NDWI), transformed images (PCA and IHS), and the Linear Spectral Mixing Model (fraction-image: Soil) in an application of GEOBIA: Geographic Object-Based Image Analysis (knowledge modeling: heuristic approach integrated to the discovery of patterns: geographic data mining) in images from the REIS-2 (Earth Imaging System-2) sensor of the RapidEye satellite. The study area is the Parque Estadual da Serra da Concórdia (PESC), a Nature Conservation Unit (UC) inserted in the Atlantic Forest Biome in the Rio de Janeiro state, Brazil. The first step consisted of the atmospheric correction of the images using 6S algorithm. This process presented a satisfactory result, due to being in agreement with the Scientific Literature. It was observed that the PCA (Principal Component Analysis) and HIS (Intensity, Hue and Saturation) images, besides helping to elaborate the class descriptors, also contributed to reduce the internal heterogeneity of the classes in the segmentation process. The Modified NDVI, generated from the change of the Red band (630-685nm) by the Red-Edge band (690 to 730 nm) was to highlight well objects of vegetation. The thematic mapping generated reached global accuracy of 87.76% and Kappa Index of 84.54%.

Palavras-chave: land cover, atmospheric correction, digital hybrid classification, RapidEye image, cobertura da terra, correção atmosférica, classificação digital híbrida, imagem RapidEye.

1. Introdução

A identificação dos elementos que compõem a superfície terrestre através da elaboração de mapas temáticos, como os de cobertura da terra, por meio de imagens provenientes de sensoriamento remoto orbital, representa um significativo subsídio ao monitoramento, fiscalização e planejamento ambiental das Unidades de Conservação da Natureza (UC) no Brasil.

Em função da resolução espectral das imagens orbitais é possível gerar variados índices espectrais através da razão entre as bandas, tais como o EVI (Índice da Vegetação Realçado), NDVI (Índice da Vegetação por Diferença Normalizada), NDVI Alterado (as imagens RapidEye possibilitam a substituição da banda do Vermelho pela Borda do Vermelho) e o NDWI (Índice da Água por Diferença Normalizada). Estes índices têm a competência de ampliar a sensibilidade a parâmetros biofísicos dos alvos terrestres, além de eliminarem a dependência às condições físicas externas, tais como ângulo de visada e de iluminação, representando um ganho de informação para a geração de mapas temáticos.

Assim como os índices, também é possível sintetizar as diferentes bandas espectrais em novas imagens, ditas transformadas, tais como as Componentes Principais (PCA) e Intensidade/Matiz/Saturação (IHS). Com uma metodologia um pouco mais elaborada que a técnica de realce por ampliação linear do contraste, que distribuem os dados originais

concentrados em um pequeno intervalo de valores para um intervalo mais amplo variando do intervalo mínimo ao máximo possível de valores da imagem, a técnica de transformação de imagem se mostra mais vantajosa porque evita a perda de informação, além de destacar informações das imagens que antes não poderiam ser ressaltadas com as técnicas tradicionais (SATO, 2011).

Vale destacar que, em GEOBIA (Análise de Imagem Baseada em Objetos Geográficos), basicamente existem duas abordagens para a classificação dos objetos que compõem as imagens: a modelagem do conhecimento (abordagem heurística) e a descoberta de conhecimento (mineração de dados geográficos). Nesta perspectiva, a dita classificação híbrida consiste justamente em integrar ambas as abordagens a fim de obter um considerável ganho de informação e gerar mapeamentos mais precisos.

Exposto isto, o presente trabalho teve por objetivo avaliar o desempenho e contribuição dos índices espectrais EVI, NDVI, NDVI Alterado, NDWI, das Imagens Transformadas PCA e IHS e da imagem-fração Solo do Modelo Linear de Mistura Espectral na elaboração do mapeamento de cobertura da terra do PESC, uma vez que parte-se da premissa que a combinação entre os índices espectrais, imagens transformadas e o Modelo Linear de Mistura Espectral no processo de classificação digital de imagem pode representar uma contribuição significativa na modelagem dos objetos geográficos que compõem as imagens através da classificação digital híbrida.

2. Área de Estudo

Criado através do decreto 32.577 de 30 de dezembro de 2002, o Parque Estadual da Serra da Concórdia (PESC) é composto por 804,41 hectares de área de proteção integral e possui como principal objetivo assegurar a proteção dos recursos hídricos da região e preservar os remanescentes de vegetação ali encontrados.

Inserido integralmente no Bioma da Mata Atlântica, o parque localiza-se no Médio Vale do Paraíba do Sul, entre as Serras da Mantiqueira e a Serra do Mar e abrange terras do município de Valença, porção oeste do Estado do Rio de Janeiro (Figura 1).

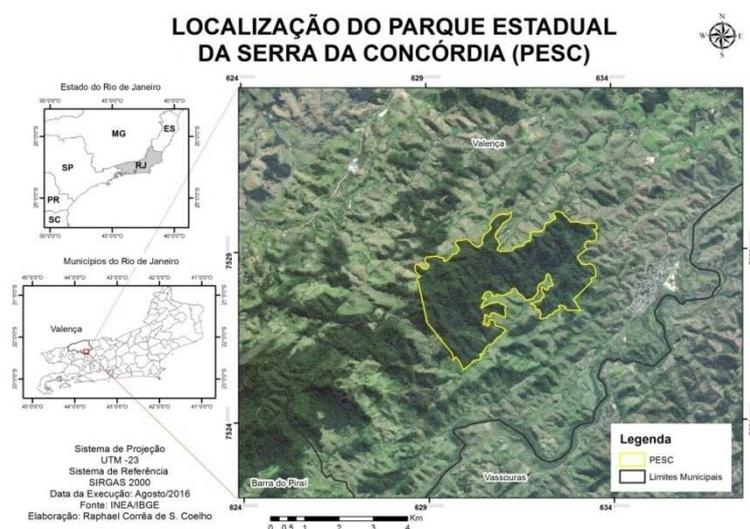


Figura 1. Localização do Parque Estadual da Serra da Concórdia (PESC) e de sua respectiva área de expansão territorial.

Com a instituição do artigo 225, §4º da Constituição da República Federativa do Brasil que intitulou a Mata Atlântica como patrimônio nacional, o PESC passou a ser considerado área de reserva da Biosfera e foi declarado pela UNESCO como área prioritária para a conservação.

Caldas (2009) afirma que a décadas a Mata Atlântica é foco de interesse conservacionista, devido, em outrora, às grandes pressões que esta sofreu. Estas pressões culminaram em uma excessiva fragmentação, restando poucas áreas conservadas relativamente extensas, composta por fragmentos menores, geralmente isolados em diversos estágios de sucessão ecológica e degradação.

3. Metodologia

Para este trabalho foram selecionadas duas cenas do sensor *Earth Imaging System-2* (REIS 2) do satélite RapidEye, adquiridas no dia 07/11/2014. Destaca-se que tais imagens, além de gratuitas (baixadas no site do Ministério do Meio Ambiente), são disponibilizadas com pixel reamostrado para 5 m, e atendem, com relação à exatidão planimétrica, à escala de mapeamento de 1:25.000 - classe B pelo PEC: Padrão de Exatidão Cartográfico (Telles *et al.*, 2013). De acordo com Souza (2015), o satélite RapidEye traz como inovação a banda Borda do Vermelho (B4), que corresponde à faixa espectral de 690 a 730 nanômetros, além das já tradicionais bandas do (B1) Azul (440-510nm), (B2) Verde (520-590nm), (B3) Vermelho (630-685nm) e (B5) Infra-vermelho próximo (760-850nm).

No processo de captação da energia eletromagnética registrada a nível orbital por um sistema sensor para a geração da imagem, Ponzoni e Shimabukuro (2010) afirmam que há determinadas influências provocadas pelos componentes atmosféricos, tais como, a concentração de vapores d'água, ozônio e materiais particulados, que afetam na geração dessas imagens. Para Antunes *et al.* (2014), na correção atmosférica, a situação desejada é a remoção dos efeitos que estes componentes acarretam nos atributos espectrais e radiométricos dos alvos terrestres. Assim, as imagens foram corrigidas atmosféricamente no algoritmo 6S, uma vez que, Rubim *et al.* (2015) destacam que o ele apresenta resultados satisfatórios na correção atmosférica de imagens RapidEye.

A correção atmosférica foi realizada testando-se seis modelos de ajustes de correção para cada cena. Foram consideradas três estimativas de visibilidade, 15, 25 e 35 km e simulados dois modelos atmosféricos: o de Média Latitude no Verão e o de Média Latitude no Inverno. Apesar de a tabela de modelo de temperatura da superfície pela variação sazonal-latitude, do manual FLAASH (ITT Visual Information Solutions, 2009), assinalar o modelo atmosférico Média Latitude no Verão para a correção das imagens, é importante salientar que a imagem foi adquirida em meados da estação Primavera no hemisfério sul. Mediante a isto, optou-se por testar os dois modelos atmosféricos para verificação de sua adequação.

Em seguida, após a escolha do modelo mais apropriado para a correção, as duas imagens foram mosaicadas no PCI Geomatica, e então gerados, no ENVI 5.0, os índices espectrais EVI, NDVI, NDVI Alterado e o NDWI, as imagens transformadas PCA e IHS, e também o Modelo Linear de Mistura Espectral (avaliou-se somente a imagem-fração Solo) que foram utilizadas como atributos para a construção dos modelos de classificação dos objetos no software eCognition Developer 9, através da Classificação Digital Híbrida.

Por fim, utilizando-se do método de estatística descritiva derivados da matriz de confusão, tais como o índice Kappa, e o índice Exatidão Global, avaliou-se a qualidade do mapa temático de cobertura da terra do PESC. Segundo Congalton (1991) estes índices representam informações diferentes da matriz de confusão, por exemplo, enquanto que o valores de exatidão global utilizam apenas os elementos da diagonal principal, o Kappa considera todos os elementos da matriz em seu cálculo. Por este motivo, o autor recomenda o uso de ambos para validação de mapeamentos.

4. Resultados e Discussão

4.1 Correção Atmosférica

Observando a Tabela 1 e o gráfico do comportamento espectral da vegetação na Figura 2, nota-se que após a correção, nos intervalos espectrais correspondentes a banda do visível, houve uma diminuição da reflectância, iniciando-se alto na banda do Azul (B1) e decrescendo até a do Vermelho (B3) – em média 7,1% na banda do Azul (B1), 3,4% no Verde (B2) e 2,1% no Vermelho (B3) – esta redução de reflectância aponta que houve adição de energia proveniente dos componentes atmosféricos no momento do imageamento.

Modelo Atmosférico	Visibilidade (Km)	Média de Reflectância de Superfície (%) da banda				
		1	2	3	4	5
	Bruta	8,78	8,60	5,47	10,44	29,36
Média	15	1,01	4,68	3,00	10,62	33,87
Latitude	25	1,89	5,21	3,46	10,77	33,38
Verão	35	2,24	5,42	3,65	10,83	33,18
Média	15	1,06	4,84	3,04	9,92	32,61
Latitude	25	1,94	5,35	3,50	10,10	32,14
Inverno	35	1,97	5,68	3,48	9,96	31,77

Tabela 1. Distribuição em tabela dos valores médios de reflectâncias de superfície (%) para o alvo Vegetação.

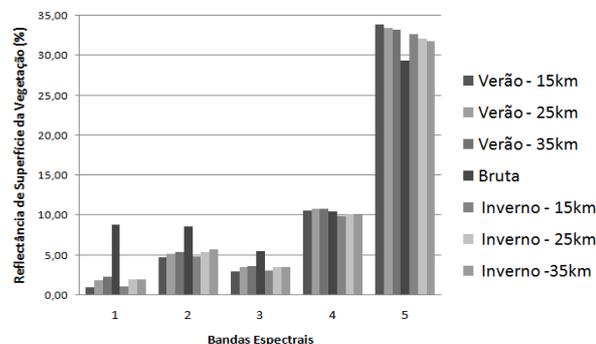


Figura 2. Distribuição dos valores médios de reflectâncias de superfície (%) para o alvo Vegetação.

Sabe-se que dentre estas bandas, existem duas relevantes regiões para se observar as características gerais da vegetação, que por sua vez, auxilia na análise da correção atmosférica empregada. Como aponta Jensen (2009) a primeira delas é a banda do Azul (B1) que é caracterizada por uma absorção causada pelos carotenóides junto à clorofila (pigmentos fotossintetizantes das plantas que convertem energia em calor e a armazenam em forma de componentes orgânicos através da fotossíntese), a outra, a do Vermelho (B3), é caracterizada por forte absorção da clorofila. Isto explica a maior absorção da energia nos intervalos espectrais representados pela banda do Azul (B1) e do Vermelho (B3).

Para os comprimentos de onda na banda Borda do Vermelho (B4) (690-730 nm) e Infravermelho próximo (B5) observou-se uma menor variação entre as reflectâncias obtidas na imagem não corrigida e nas imagens corrigidas. A banda Borda do Vermelho (B4), dentre todas as bandas, foi a que menos careceu de ajustes (ajuste médio de 0,36%). Isto aponta que possivelmente esta foi a banda espectral mais resistente aos efeitos ópticos da atmosfera, o que representa uma potencialidade para a análise do alvo vegetação.

Na quinta banda deste sensor, Infravermelho Próximo (B5), a correção atmosférica gerou um acréscimo na estimativa de energia em torno de 3,3%. Isto ocorre, pois, como apontam Ponzoni e Shimabukuro (2010), quase nada nesta região é absorvido pela folha, pois os pigmentos fotossintetizantes não são capazes de absorver neste comprimento de onda. Sendo assim, a energia é transmitida e refletida para o sensor, o que gera o aumento da reflectância neste intervalo espectral.

Para o comportamento espectral do solo, na banda do Azul (B1), houve uma redução média de 5,45%. Na banda do Verde (B2), para as visibilidades de 15 e 25 km nos modelos Verão e Inverno, a correção reduziu os valores de reflectância. Já para a visibilidade 35 km, o mesmo só aconteceu para o modelo no Verão. No inverno houve um aumento nos valores de reflectância.

No geral, observando-se a Tabela 2 e o gráfico na Figura 3, é possível deduzir que o modelo ajustado para o Inverno pode ter levado em consideração um possível aumento no conteúdo de umidade no solo, o que teria provocado a redução da reflectância neste intervalo espectral da região do visível. Porém, ao observarmos os valores registrados na banda do Infravermelho Próximo (B5), vemos que houve um ganho de reflectância, o que não se esperaria caso a primeira afirmativa fosse verdadeira.

Modelo Atmosférico	Visibilidade	Média de Reflectância de Superfície (%) da				
		1	2	3	4	5
Bruta		17,71	21,47	31,27	28,78	36,41
Média	15	11,73	19,51	31,74	32,86	40,64
Latitude	25	12,07	19,43	31,31	32,41	40,01
Verão	35	12,20	19,40	31,13	32,22	39,75
Média	15	11,80	19,82	31,85	30,94	39,14
Latitude	25	12,13	19,73	31,42	30,53	38,54
Inverno	35	13,62	21,68	32,92	31,13	39,61

Tabela 2. Distribuição em tabela dos valores médios de reflectâncias de superfície (%) para o alvo Solo Exposto.

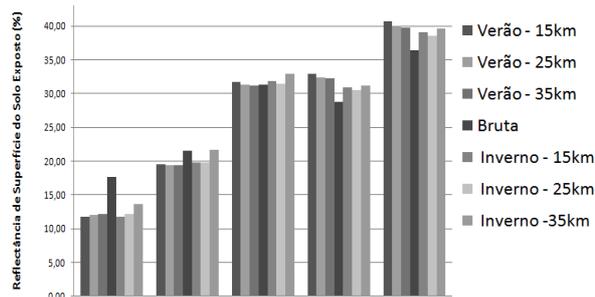


Figura 3. Distribuição em gráfico de coluna dos valores médios de reflectâncias de superfície (%) para o alvo Solo Exposto.

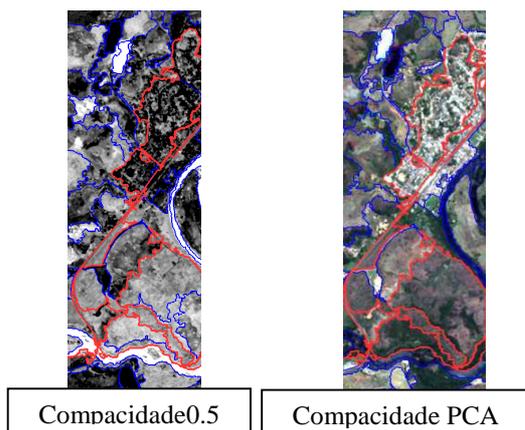
Em relação às bandas espectrais que sofreram maiores alterações na correção atmosférica quando observado o alvo solo exposto, as bandas Borda do Vermelho (B4) e Infravermelho Próximo (B5) apresentam valores de alteração maiores que aqueles apresentados nas bandas do Verde (B2) e Vermelho (B3) da faixa espectral referente ao visível. Isto quer dizer que apesar dos menores comprimentos de onda sofrerem as maiores influências provocadas pelas interações atmosféricas, assim como aponta Fragal e Montanher (2011), neste caso foram os maiores comprimentos de onda que mais necessitaram do ajuste na correção. No geral, 2,9% e 3,21%, respectivamente.

Segundo Antunes *et al.* (2012), a resposta espectral do solo tende a ser crescente do Azul (B1) ao Infravermelho Próximo (B5), sendo este comportamento atendido apenas nos modelos de Média Latitude no Verão. Assim, descartou-se o modelo Média Latitude no Inverno como modelo ideal de ajuste. Quanto ao parâmetro visibilidade, não foi possível constatar mudanças significativas nos ajustes. Por conta disto, optou-se por utilizar o modelo de Média Latitude no Verão, com a visibilidade de 25 km, tal como apontou o manual FLAASH.

4.2 Classificação Digital Híbrida: Modelagem e Descoberta de Conhecimento

A primeira etapa de classificação, consistiu na segmentação das imagens, uma vez que, em GEOBIA, não mais são observados pixels particularmente, mas sim agrupamentos de pixels espacialmente próximos e com características similares (objetos geográficos). Esta etapa foi tida como fundamental para o reconhecimento de padrões para modelagem e classificação dos objetos da cena.

Neste trabalho, ao realizar-se a segmentação, optou-se por adotar os atributos da média das imagens transformadas da primeira PCA e a Saturação da IHS como critérios de Compacidade. Na escala de 80 obteve-se 24554 objetos e na escala de 150, foram 1506 objetos (Figura 4). De forma visual constatou-se que os objetos não se encontravam demasiadamente subdivididos (heterogeneidade interna dos objetos), o que por sua vez, possivelmente dificultaria a aderência às regras de modelagem na etapa de classificação. Concluiu-se assim, que este procedimento permitiu observar que os objetos de interesse na aplicação foram, de forma mais expressiva, melhor segmentados do que aqueles criados a partir das técnicas convencionais de segmentação, tais como a adoção de parâmetros numéricos.



Segmentação				
Classes	Atributo Utilizado na Modelagem	Parâmetro de Escala	Critério de Homogeneidade na Compacidade	Camadas Consideradas (Peso =1)
Nuvem	BRILHO	150	SATURACÃO (IHS)	b1, b2, b3, b4 e b5
Água	NDWI e b5	80	B4	b1, b2, b3, b4 e b5
Floresta	NDVI alterado e b5/b4	80	B4	b1, b2, b3, b4 e b5
Área Urbana	HOMOGENIDADE e EVI	180	PCA	b1, b2, b3, b4 e b5
Solo Exposto	MODELO DE MISTURA: Solo	80	B4	b1, b2, b3, b4 e b5
Vias	NDWI E b3	80	B4	b1, b2, b3, b4 e b5
Pasto	NDVI	80	B4	b1, b2, b3, b4 e b5

Figura 4. Exemplo da adoção da Imagem Transformada PCA como critério de segmentação para redução da heterogeneidade interna dos objetos e quadro resumido dos atributos e critérios utilizados no trabalho.

Por método heurístico, isto é, pela modelagem do conhecimento uma vez que tínhamos em mente quais atributos possivelmente utilizaríamos para separar cada objeto, testou-se os índices espectrais para modelagem das classes temáticas encontradas na área do PESC: floresta, pasto, solo exposto, área urbana e água. Observou-se que o uso do índice NDVI Alterado, também chamado de Índice da Vegetação por Diferença Normalizada na Borda do Vermelho, demonstrou ter uma maior sensibilidade aos parâmetros biofísicos da vegetação do que o NDVI consagrado (Figura 5), ou seja, o índice aparenta ser mais sensível aos diferentes níveis de clorofila presente nas folhas, como aponta Souza (2015).

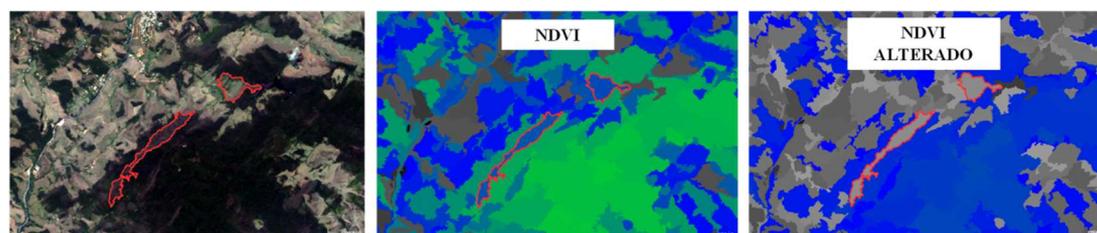


Figura 5. Comparação entre os índices espectrais NDVI e NDVI Alterado.

Para a modelagem do alvo Água, notou-se que a combinação entre o índice NDWI e os valores médio da banda 5 (NIR), reduziram a confusão desta classe com os objetos de sombra e de corpos escuros, como o asfalto. O uso da imagem-fração Solo para a modelagem do alvo solo exposto também apresentou resultados satisfatórios.

Devido à dificuldade em se eleger atributos concisos para a modelagem da classe Área Urbana, adotou-se o método de descoberta de conhecimento por mineração de dados (algoritmo CART). A aplicação da técnica como solução para extrair conhecimento do conjunto de dados foi necessária, pois, a realização de testes na etapa de modelagem do conhecimento não foi satisfatória para a classe. Sendo assim, o algoritmo de mineração de dados elegeu como os melhores atributos para a separação desta classe de cobertura solo, a homogeneidade (atributos de textura) e a moda mínima do índice EVI (atributo espectral).

4.3 Validação do Mapeamento

Para a validação de informações produzidas a partir de dados obtidos por sensoriamento remoto orbital, tais como o mapa de cobertura da terra do PESC gerado neste trabalho (Figura 6), é fundamental a aplicação de métodos estatísticos que quantifiquem a exatidão e qualidade, ou seja, o quanto ele está próximo da realidade. Estes métodos são transcritos por índices e traduzem, em uma linguagem matemática, se o mapa alcançou ou não o padrão desejado para uso. É importante citar que não houve processo de edição manual neste trabalho.

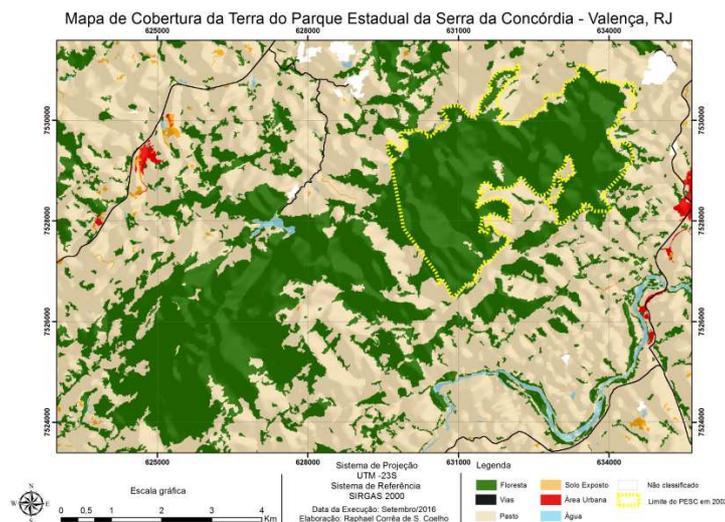


Figura 6. Mapa de cobertura da terra do Parque Estadual da Serra da Concórdia.

Utilizando-se uma cena do sensor Worldview-2 (com resolução espacial de 2 m) como verdade terrestre, o método de amostragem estratificada gerou 237 amostras aleatórias, que foram coletadas e conferidas com o mapeamento. Esta comparação pode ser vista através da matriz de confusão, que consiste em um arranjo que expressa a correlação entre a(s) classe(s) de amostra(s) em ambos os documentos (Tabela 3).

Classificação	Dados de referência					TOTAL	Exatidão global
	Água	Floresta	Pasto	Solo Exposto	Área Urbana		
Água	55	0	1	1	1	58	0,8776 kappa 0,8454
Floresta	0	29	7	1	0	37	
Pasto	0	3	26	1	0	30	
Solo Exposto	0	0	4	47	2	53	
Área Urbana	1	1	2	4	51	59	
TOTAL	56	33	40	54	54	237	

Tabela 3. Matriz de confusão e os índices para validação do mapeamento de cobertura da terra. Destaque para os elementos da diagonal principal (em negrito) que correspondem às amostras classificadas corretamente.

Como pode-se observar, os elementos da diagonal principal representam o número de elementos classificados corretamente. A exatidão global é obtida através da razão entre o somatório destas concordâncias (208) pelo número total de amostras da validação (237), que corresponde a aproximadamente 0,8776. Como o índice de exatidão global é expresso em uma escala que varia entre 0 e 1, expressando os valores em porcentagens, podemos dizer que a exatidão global deste trabalho atingiu 87,76% de concordância entre a classificação e o documento de referência.

O índice Kappa obtido neste trabalho foi de 84,54%. Assim, como o índice de Exatidão Global, a interpretação do Kappa é feita dentro do intervalo de 0 a 1 (porém, varia entre -1 e 1) e pode ser atribuído a uma escala a qual descreve o nível de desempenho de classificação. Neste trabalho, o índice Kappa obtido foi classificado como excelente seguindo a tabela nominal descrita por Landis e Kock (1977).

5. Conclusões

Conclui-se que a adoção da metodologia de classificação digital híbrida possibilitou o alcance da boa exatidão no mapeamento. O uso das imagens transformadas IHS e PCA atenderam ao proposto, além de representarem um ganho de informação; também contribuíram significativamente na etapa de segmentação da imagem RapidEye (reduzindo a heterogeneidade interna dos objetos).

Para o estudo da vegetação, a banda 4 (Borda do Vermelho) foi a que mais se mostrou resistente aos efeitos advindos das interferências atmosféricas e o NDVI Alterado auxiliou a classificar melhor os objetos da vegetação do que o NDVI consagrado. Já, a correção atmosférica no 6S demonstrou atender satisfatoriamente as necessidades de correção nas imagens RapidEye.

Vale destacar também que, a metodologia mostrou-se promissora, uma vez que, o mapa de cobertura da terra do Parque Estadual da Serra da Concórdia gerado a partir das técnicas de Classificação Digital Híbrida, apresentou alta exatidão, possibilitando assim que o mesmo torne-se um instrumento útil no auxílio à conservação e manutenção da biodiversidade nesta UC. No dia 28 de setembro de 2016, foi realizada a publicação do Decreto nº 45.766, que alterou o Decreto nº 32.577 de 30 de dezembro de 2002, ampliando os limites territoriais do PESC (cerca de 740%). Isto demonstra a tamanha relevância do mesmo para a preservação do meio ambiente.

Agradecimentos

Os autores agradecem o apoio do Laboratório ESPAÇO do IGEO/UFRJ, e à CAPES/MEC pela concessão de bolsa de estudos (Doutorado) ao segundo autor.

Referências Bibliográficas

- ANTUNES, M. A. H; DEBIASI, P; SIQUEIRA, J. C. S. **Avaliação espectral e geométrica das imagens rapideye e seu potencial para o mapeamento e monitoramento agrícola e ambiental.** Revista Brasileira Cartográfica. nº 66/1, p. 105-113, 2014.
- ANTUNES, M.A.H., DEBIASI, P., COSTA, A.R. da.; GLERIANI, J.M. **Correção atmosférica de imagens ALOS/AVNIR-2 utilizando o modelo 6S.** Revista Brasileira de Cartografia – RBC, nº 64/Edição especial Sensoriamento Remoto: p. 531-539, 2012.
- CALDAS, A. J. F da S; FRANCELINO, M. R. **Fragmentação florestal na Serra da Concórdia, Vale do Paraíba: caracterização como subsídio à preservação da Mata Atlântica.** Floresta e Ambiente. RJ. v.16, n. 2, p. 08-19, 2009.
- CONGALTON, R.G. **A Review of Assessing the Accuracy Classifications of Remotely Sensed Data.** Remote Sensing Environment, v. 37, p.35-46, 1991.
- Decreto nº 32.577 de 30 de dezembro de 2002. **Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro.** Disponível em: <<http://gov-rj.jusbrasil.com.br/legislacao/140826/decreto-32577-02>>. Acesso em 07.dezemb.2015.
- Decreto nº 45.766 DE 28 de setembro de 2016. **Diário Oficial do Estado do Rio de Janeiro.** Disponível em: <https://www.ioerj.com.br/porta1/modules/conteudoonline/mostra_swf.php?ie=MjU5NDk=>>. Acesso em 30.novemb.2016.
- ITT Visual Information Solutions. **Fast Line-of-sight Atmospheric Analysis of Spectral Hypercubes.** <http://www.harrisgeospatial.com/portals/0/pdfs/envi/flaash_module.pdf> Acesso em: 21.junho.2016.
- FRAGAL, E. H.; MONTANHER, O. C. **Correções atmosféricas 6s e DOS na caracterização espectral de alvos naturais de Ilha Grande utilizando dados do sensor TM 5.** Anais XV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, Curitiba, PR, Brasil, INPE, 2011, p.7456.
- JENSEN, J. R. **Sensoriamento Remoto do Ambiente – Uma Perspectiva em Recursos Terrestres.** 2da. Edição traduzida pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE. São Paulo, Parêntese, 2009.
- LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. The measurement of observer agreement for categorical data. Biometrics, 1977.
- PONZONI, F. J; SHIMABUKURO, Y. E. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação.** São José dos Campos, SP. Parênteses. 2010. 127p.
- RUBIM, I. B; COELHO, R. C. S; BARROS, R. S; CRUZ,C. B. M. **Correção atmosférica de recorte de imagem do RapidEye com diferentes modelos atmosféricos e estimativas de visibilidades no 6S e ATCOR - XVIII SBSR - João Pessoa/ PB. 2015.**
- SATO, L. Y; SHIMABUKURO, Y. E; KUPLICH, T. M. **Uso de Análise por Componentes Principais na Avaliação da Mudança da Cobertura Florestal da Floresta do Tapajós.** Anais XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto – SBSR, Curitiba, PR, Brasil, INPE, 2011.
- SOUZA, C. H. W. de; LAMPARELLI, R. A. C; JUSTINA, D. D. D; ROCHA, J. V. **Estudo da Banda Red Edge do satélite Rapideye na discriminação da cobertura vegetal.** - Anais XVIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - João Pessoa / PB. 2015.
- TELLES, R.C.de M; ANTUNES, R.M; TEIXEIRA, A. de A; CRUZ, C. B. M; BARROS, R. S. de. **Análise da exatidão geométrica e do potencial de interpretação de imagens orbitais: estudo do caso da vegetação na escala 1:100.000, Silva Jardim, RJ- XVI SBSR – Foz do Iguaçu/ PR. 2013.**