## Correção atmosférica de recorte de imagem do RapidEye com diferentes modelos atmosféricos e estimativas de visibilidades no 6S e Atcor

Igor Brum Rubim<sup>1</sup> Raphael Corrêa de Souza Coelho <sup>2</sup> Rafael Silva de Barros <sup>2</sup> Carla Bernadete Madureira Cruz <sup>2</sup>

## <sup>1</sup> Instituto Nacional de Colonização e Reforma Agrária - INCRA SR-07/T3 Rua da Conceição, nº 69, 24º andar, centro – CEP – Rio de Janeiro – RJ, Brasil igor.brum@rjo.incra.gov.br

## <sup>2</sup> Universidade Federal do Rio de Janeiro – **U.F.RJ**./C.C.M.N./IGeo Av. Athos da Silveira Ramos, 274 – 21941-916 – Rio de Janeiro – RJ, Brasil {carlamad,barros.rafael}@gmail.com raphaelcoelhorj@hotmail.com

**Abstract.** Orbital images pre processing is essential for the thematic mapping. The atmospheric correction is a primordial step for file preparing before images processing. There are two ways to do atmospheric correction: Dark Object Subtration (DOS) and Radiative Transfer. In the second way, two methods are more frequently used: Moderate Spectral Resolution Atmospheric Transmitance Algorithm (Modtran) and the Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (5S). These mentioned models are employed in the relatings softwares: Atcor and 6S (Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum). This paper present different atmospheric corrections of an image cut of RapidEye. Two patterns – Atmospheric Model and Visibility – were modified to evaluate the best adjust of atmospheric correction executed in 6S. An atmospheric correction has been done to confront with those made with 6S. The spectral behavior of targets "vegetation, "water" and "soil" were analysed to find the correction's quality, comparing with the information finded in the literature. The patterns collected were squares of 15m. These patterns present a mean of 9 pixels with the Surface Reflectance. The targets have 27 pixels – 3 patterns per target – to evaluate the atmospheric correction for each adjust. The Visibilities chosen were 20, 25, 30, 35 and 40km. The Atmospheric Models chosen were Midlatitudes Winter and Midlatitudes Summer. The atmospheric correction done at Atcor employed 30km for Visibility and Midlatitude Summer for Atmospheric Correction.

**Palavras-chave:** remote sensing, image processing, radiative transfer model, spectral signature; sensoriamento remote, processamento de imagem, modelo de transferência radiativa, assinatura espectral.

## 1. Introdução

O Processamento Digital de Imagens avançou significativamente concomitantemente com os produtos de Sensoriamento Remoto nas últimas décadas. Para o mapeamento temático é importante considerar os principais tipos de processos. É possível apontar as correções geométricas e radiométricas, o reconhecimento de padrões utilizando estatísticas inferenciais e árvores de decisão como alguns dos principais tipos de Processamento Digital de Imagens (JENSEN, 2009).

Entretanto, os especialistas em mapeamento utilizam conjuntos diferentes de programas para realizar seu trabalho. Esse fato em si não é problemático. Mas, a programação de cada fabricante/desenvolvedor de *software* e o ajuste dado em cada etapa da geração de mapas podem gerar diferenças significativas em mapeamentos que deveriam ser semelhantes. No final do processo de produção de mapas a publicação é interessante para divulgação da informação (ARVOR et al., 2013).

As imagens de Sensores Remotos Orbitais captam a energia da Radiação Eletromagnética. O ideal, para se registrar a imagem, é que essa energia seja igual tanto no nível da superfície terrestre, quando é refletida/emitida pelos alvos/objetos, quanto aquela que chega no sensor orbital. Entretanto, as interações entre matéria na atmosfera e o fluxo eletromagnético, emitido/refletido pelos objetos situados sobre a superfície terrestre, impedem que isso aconteça. A matéria na atmosfera – vapor d'água, poeira/fumaça e gases – podem absorver o fluxo de energia (absorção); refletirem para o sensor fluxos de energia que não provém do alvo (reflexão); alterar a trajetória do fluxo de energia (refração) emitido pelo alvo. Essas interferências adicionam e subtraem energia ao que deveria ser registrado pelo sensor orbital. É fundamental que essa interferência seja removida, ou minimizada, pelo menos (JENSEN, 2009).

Sabendo das interferências que a atmosfera promove no fluxo de energia eletromagnética refletido pelos alvos/objetos sobre a superfície terrestre, existem duas abordagens que buscam eliminar/minimizar esses efeitos. O primeiro é conhecido por Correção Atmosférica pelo Pixel Escuro - Dark Object Subtraction (DOS). Esse método parte do princípio que alguns *pixels* registrados pelo sensor devem ter valor zero (0) em qualquer banda espectral. Outra forma de minimizar/eliminar as interferências atmosféricas atua sobre a radiância aparente (aquela que o sensor orbital registra) ou Fator de Reflectância Bidirecional (FRB) aparente. O FRB é uma relação entre a Radiância e a Irradiância do alvo. Dois modelos de transferência radiativa são utilizados para resgatar valores originais ou próximos de Reflectância de Superfície dos alvos: o Moderate Spectral Resolution Atmospheric Transmitance Algorithm (Modtran) e o Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum (5S). Os modelos mencionados estão implementados nos respectivos programas: Atcor e 6S (Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum) (VERMOTE et al., 1997). Essa forma de correção atmosférica considera Modelos Atmosféricos relativos às concentrações de vapor d'água, O<sub>3</sub>, profundidade óptica, tipo e concentração de aerossóis. Nesses métodos a Absorção e Reflexão, geradas pela atmosfera como interferência na quantidade de energia que chega ao sensor orbital, são consideradas para realizar a correção atmosférica (PONZONI et al., 2012).

A duas formas de correção atmosférica – DOS e Transferência Radiativa – devem expressar a **Reflectância Superfície** (PONZONI et al. 2012) ou **Espectral** (JENSEN, 2009), em porcentagem. A Reflectância de Superfície provém da Reflectância Hemisférica ou FRB aparente (PONZONI et al. 2012). Esta por sua vez, é calculada a partir da Radiância aparente, aquela registrada nos sensores orbitais como Números Digitais (ND). Os métodos de correção atmosférica transformam os ND em valores de radiância e calculam a reflectância de superfície a partir das informações fornecidas conforme o modelo. Com a Reflectância Aparente os alvos podem ser caracterizados conforme seu comportamento espectral. O comportamento ou assinatura espectral do alvo é a quantidade de energia que o mesmo reflete em cada banda espectral. Com isso, pode-se construir gráficos que caracterizam cada tipo de alvo observado sobre a superfície terrestre (PONZONI et al., 2012).

Antunes et al. (2012) afirmam que a correção atmosférica para o sensor AVNIR-2 do satélite ALOS, feita no programa 6S, apresentou diferença significativa entre a imagem corrigida e original. Estatisticamente, a diferença foi significativa apenas para a banda do azul (420 - 500nm). Assim, justifica-se a correção atmosférica, pois para cada imagem um resultado diferente poderá ocorrer devido às diferenças nas condições atmosféricas e na geometria de iluminação e visada. A correção atmosférica permitirá a obtenção da resposta espectral dos alvos sem a interferência atmosférica (ANTUNES et al., 2012).

O Decreto Presidencial 7.830/12 instituiu o Programa de Regularização Ambiental. Esta ação do governo federal almeja a ocupação sustentável das áreas rurais no país. O programa, através do Cadastro Ambiental Rural (CAR), produzirá dados e informações geoespaciais para apoiar a gestão ambiental nacional. O governo federal considera que informações atuais de cobertura vegetal natural são essenciais para o sucesso do Programa. A geração dessa informação necessita de imagens de satélite, fundamentalmente. Além da cobertura vegetal, o uso do solo nos imóveis rurais e sua localização também são informações que podem ser extraídas de imagens de satélite. Considerando a importância das imagens orbitais, o Ministério do Meio Ambiente utilizará e disponibilizará imagens da constelação RapidEye para apoiar a geração das informações geoespaciais temáticas necessárias ao Programa de Regularização Ambiental.

Os produtos da constelação RapidEye são fornecidos ao consumidor pela empresa Blackbridge. Suas especificações estão descritas na tabela 1.

<b>Característica</b>	Informação			
N° de Satélites	5			
Altitude da órbita	630km em sincronia com o Sol			
Tipo do sensor	Imageador multi-espectral "push-broom"			
Bandas espectrais	Banda	Comp. de Onda (nm)		
	Azul	440 - 510		
	Verde	520 - 590		
	Vermellho	630 - 685		
	Vermelho borda	690 - 730		
	Infra-vermelho	760 - 850		
Resolução espacial	6,5m			
Tam. do pixel (orto)	5m			
Resolução temporal	5,5dias			
Resolução radiométrica	12bits			

Tabela 1: Especificações da Constelação RapidEye.

Conforme o fabricante, RapidEye é um sistema com cinco satélites independentes com sensores idênticos, localizados na mesma órbita. Imagens ortorretificadas são fornecidas com tamanho 25x25km, no *Datum* WGS84, em coordenadas projetadas UTM. Embora as informações sejam coletadas originalmente com resolução radiométrica de 12bits, o produto é fornecido em arquivos de 16bits. Os valores dos *pixels* representam valores de radiância ajustados por fator de escala igual a 0,01. Os valores observados nos pixels estão em unidades de radiância – W m<sup>-2</sup> sr<sup>-1</sup> (Watts por metro quadrado, por esterradianos) – multiplicados por 100.

Antunes et al. (2014) afirmam que a efetiva utilização das imagens RapidEye depende de uma avaliação das características espectrais do sensor. Por isso, é necessário realizar a correção atmosférica dos produtos RapidEye. Pimenta et al. (2013) demonstram a

diferença entre imagens originais e imagens com correção atmosférica. Essa conclusão se confirma quando se identifica uma maior aproximação à curva espectral esperada para as diferentes feições selecionadas, quando examinadas simultaneamente com aquelas consagradas pela literatura preexistente.

Este trabalho tem como objetivo comparar os resultados de correções atmosféricas produzidas no programa 6S, com Modelos Atmosféricos Inverno e Verão nas Latitudes Médias, e Visibilidades 20Km, 25Km, 30Km, 35Km e 40Km. Com isso, 8 arquivos de recorte de cena RapidEye serão gerados nesse processo.

#### 2. Materiais e Métodos

O recorte de cena RapidEye – 2328626\_2011-09-04T134918\_RE5\_3A-NAC\_7292550\_148314 – localizado no município de Silva Jardim, Rio de Janeiro é o objeto de correção nesse trabalho. A figura 1 indica a localização da área de trabalho. Os parâmetros ajustados para gerarem os produtos deste trabalho estão na tabela 2. Aqueles que foram alterados estão destacados.



Figura 1: Mapa de localização da área de estudo.

Parâmetro	Ajuste
Condições Geométricas	RapidEye (8)
Mês	09
Dia	04
Hora (decimal)	13,012500
Longitude Latitude (dec.)	-42.36250833 -22.58848333
Modelo Atmosférico	Média das latitudes no Verão (2) e Inverno (3)
Modelo de Aerossois	Continental
Visibilidade (Km)	20 - 25 - 30 - 35 - 40
Altitude Média (Km)	0,047
Local do Sensor	A bordo do satélite
iwave	61 a 65
itype	-4
gainset	
writeopt	- 1
nscale	0
ntpixels	4.000.000

Tabela 2: Parâmetro Ajustados no 6S para correção atmosférica.

Optou-se por variar a Visibilidade para verificar se há algum ajuste nesse parâmetro que gera melhores resultados para Reflectância de Superfície. A variação no Modelo Atmosférico é por causa da indicação encontrada no manual do FLAASH (2014), que indica a "Verão nas Latitudes Médias", enquanto que a data da imagem é do inverno no hemisfério sul. Por isso, faz-se necessário testar a indicação da literatura.

Uma correção atmosférica da mesma área foi produzida com o programa ATCOR. O Modelo Atmosférico utilizado foi Verão nas Latitudes Médias. O Modelo de Aerossóis utilizado foi o Rural. A Visibilidade utilizada foi de 30Km. Em análise inicial, essa Visibilidade mostrou melhores resultados no 6S.

O programa 6S opera com arquivos em formato RAW. A decomposição em arquivos de bandas espectrais separadas e conversão de formatos foram realizas no Spring 5.2.4. Conforme o programa 6S gerava as bandas espectrais corrigidas, os arquivos eram importados para o Spring e exportados no formato TIF. A união dos arquivos das bandas foi feito no QGIS. A verificação prévia do resultado era observada com a ferramenta *Value Tool*. Essa ferramenta mostra o valor do *pixel* em cada banda espectral, indicando assim a assinatura espectral dos alvos escolhidos.

Um arquivo vetorial em formato *shapefile* foi criado no QGIS contendo quadrados com quinze metros de lado. Cada quadrado representa uma amostra de nove *pixels*. Com a ferramenta Estatísticas por Zonas as médias dos valores de Reflectância de Superfície foram coletadas. Três amostras representativas de Vegetação, Água e Solo Exposto foram utilizadas. Assim, tem-se um valor médio de Reflectância de Superfície proveniente de vinte e sete *pixels* para cada tipo de alvo.

#### 3. Resultados e Discussão

A seguir, estão representadas na tabela 3 os resultados ordenados por Alvo.

Programa	Modelo Atmosférico	Visibilidade (Km)	Alvo -	1	2	3	4	5
	Inverno nas Latitudes Médias	20	Ve	1	2	5	-	5
			Áoua	5	9	6	4	2
			Solo	15	23	34	38	44
		25	Vegetação	3	7	4	13	36
			Água	5	9	6	4	2
			Solo	15	23	34	37	44
		30	Vegetação	3	7	4	13	36
			Água	6	9	6	4	2
			Solo	15	23	34	37	44
			Vegetação	3	7	4	13	35
		35	Água	6	9	7	4	2
			Solo	15	23	34	37	43
			Vegetação	3	7	4	13	35
		40	Água	6	9	7	4	3
			Solo	15	23	34	37	43
6S	Verão nas Latitudes Médias	20						
			Água	5	8	6	4	2
			Solo	15	23	34	41	46
		25	Vegetação	3	7	4	14	37
			Água	5	8	6	4	3
			Solo	15	23	34	40	46
		30	Vegetação	3	7	4	14	37
			Água	5	9	6	5	3
			Solo	15	23	34	40	46
		35	Vegetação	3	7	4	14	37
			Água	6	9	7	5	3
			Solo	15	23	34	40	46
		40	Vegetação	3	7	4	14	37
			Água	6	9	7	5	3
			Solo	15	23	34	40	45
	Inverno nas Latitudos							
Atcor	Médias	30	Agua	5	8	6	4	2
	IVICAIRIS		Solo	18	28	41	44	49

Tabela 3: Média das Reflectâncias de Superfície geradas pelo 6S e Atcor para correção atmosférica.

Investigando alguns trabalhos publicados, montou-se uma tabela contendo variações de reflectância de superfície encontradas. A tabela 4 apresenta os dados mencionados:

Tabela 4: Média das Reflectâncias de Superfície encontrados em alguns trabalhos publicados.

Autores	Sensor(es)	Programa	Alvo -					
				1	2	3	4	5
Antunes et al. (2014) RapidEya		6S	vegetação	0-7	2 - 10	1-11	7-15	30 - 43
	RapidEye		água	2 - 9	4 - 16	4 - 8	3-6	2 - 6
			solo	5-12	7 – 17	16-33	17-36	23 - 40
Antunes et ALOS, al. (2012) AVNIR-	41.00/	68	vegetação	6 - 10	6-15	5-15	sem dado	43 - 50
	ALOS/		água	10	12	10	sem dado	6
	AVININ-2		solo	12	16	30	sem dado	35
Vilches (2013)	Landsat 5 TM	Algoritmo próprio escrito em LEGAL	água	1-6	5-15	4-17	sem dado	1 – 12
Ponzoni et Landsat 5 T al. (2014) Landsat 5 T e MODIS, TERRA	Landeat 5 TM	TM 6S e S/ LEDAPS (USGS)	vegetação	1 - 5	1 - 5	1-9	sem dado	17 - 30
	e MODIS/		água	1 - 6	2 - 8	1 - 6	sem dado	1-3
	TERRA		solo	1-5	5-9	6-12	sem dado	18-33
Ponzoni e Rezende (2004)	Landsat 5 TM	6S	vegetação	1-2	5-6	3-4	sem dado	27-31

Observando os dados deste trabalho (tabela 3), é possível dizer que não há diferenças significativas entre os ajustes e programas utilizados, de forma geral. Entretanto, é importante apontar que a maior diferença encontrada foi de 6% entre os ajustes de visibilidade 35 e 40Km para banda espectral 5 do alvo "solo", dos programas 6S (43%) e Atcor (49%). Comparando esses valores de reflectância de superfície com aqueles encontrados na literatura mencionada na Tabela 4, vemos que são valores elevados para Reflectância de Superfície de solo. Outra informação notória é que para o alvo "solo" não houve diferença em todos os valores das bandas 1, 2 e 3, dos dados produzidos pelo 6S. O mesmo aconteceu com o alvo "vegetação" para as bandas 1 e 3. Para o alvo "vegetação", não foram encontradas variações nos valores de Reflectância de Superfície para Modelos Atmosféricos iguais no 6S nas bandas 1, 2, 3 e 4, exceto na visibilidade de 20Km, com Modelo Atmosférico Verão nas Latitudes Médias. Fato semelhante ocorrido para o alvo "solo" nas bandas 1, 2 e 3. Para o alvo "água" isso ocorreu apenas nas bandas 2 e 4 com Modelo Atmosférico "Inverno nas Latitudes Médias". Para ilustrar alguns dos resultados de correção atmosférica realizada no 6S, a figura 2 apresenta o gráfico do comportamento espectral da vegetação para as diferentes Visibilidades, com Modelo Atmosférico "Inverno nas Latitudes Médias".

# Assinatura Espectral da Vegetação



Média das Latitudes de Inverno e Visibilidade em Km

Figura 2: Gráfico das assinaturas espectrais da vegetação gerados pelo 6S.

### 4. Conclusões

Através da análise dos resultados que foram comparados com valores de Reflectância de Superfície encontrados na literatura atual, pode-se dizer que a correção atmosférica da imagem RapidEye realizada pelo 6S atende as necessidades do pré-processamento digital de imagens orbitais. Os resultados gerados pela correção atmosférica no 6S não apresentaram diferenças significativas com aquela processada pelo Atcor.

#### Agradecimentos

Agradecemos ao Prof. Dr. Mauro A. H. Antunes (U.F.R.R.J.) por toda colaboração, nos ajudando no processo de correção atmosférica pelo 6S e esclarecendo dúvidas.

#### **Referências Bibliográficas**

Antunes, M.A.H.; Debiasi, P.; Siqueira, J.C.S. Avaliação espectral e geométrica de imagens RapidEye e seu potencial para o mapeamento e monitoramento agrícola e ambiental ISSN: 1808-0936. **Revista Brasileira de Cartografia**. nº 66/1, p. 101-109, 2014.

Antunes, M.A.H.; Debiasi, P.; Costa, A.R.; Gleriani, J.M. Correção Atmosférica de imagens Alos/Avnir-2 tilizando o Modelo 6S. ISSN: 1808-0936. **Revista Brasileira de Cartografia**. nº 64/4, p. 531-539, 2012.

Antunes, M.A.H.; Gleriani, J.M.; Debiasi, P. Atmospheric effects on vegetation indices of TM and ETM+ images from a tropical region using the 6S model. **In: Proceedings of the IEEE IGARSS2012**, Munich, 2012, pp. 6549-6552.

Arvor, D., Durieux, L., Andrés, S., Laporte, M.A. Advances in geographic object-based image analysis with ontologies: A review of main contributions and limitations from a remote sensing perspective. Journal of **Photogrammetry and Remote Sensing.** v. 82, p. 125–137, 2013.

Jensen, J.R. Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres. São José dos Campos: Parêntese, 2009. 604 p

PONZONI, F.J; MACARRINGUE, L.S.; SANTOS, S.B.; SANTOS, Jr.J.L. Comparação entre fatores de reflectância gerados a partir de dados dos sensores TM/Landsat e MODIS/Terra aplicando diferentes metodologias de conversão de dados. ISSN: 1808-0936. **Revista Brasileira de Cartografia**. nº 66/2, p 263-270, 2014.

PONZONI, F.J.; SHIMABUKURO, Y.E.; KUPLICH. T.M. Sensoriamento Remoto no Estudo da Vegetação. São José dos Campos: Parêntese, 2012, 136p.

PONZONI, F.J; ReZENDE, A.C.P. Caracterização de estágios sucessionais de vegetação secundária arbórea em Altamira (PA), através de dados orbitais. **Revista Árvore,** n.4, v.28, p.535-545, 2004.

PIMENTA, M.L.F.; MOURA, P.H.F.; CRUZ, C.B.M.; LACERDA, E.R. Estudo das incertezas da definição de parâmetros no processo de correção atmosférica. In: XVI Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto (SBSR), Foz do Iguaçu, PR, 13 – 18 de abril 2013. Anais XVI SBSR. São José dos Campos: INPE, 2013.

VERMOTE, E. F.; TANRE, D.; DEUZE, J. L.; HERMAN, M. & MORCRETTE, J. J. Second Simulation of the Satellite Signal in the Solar Spectrum, 6S: an overview. **IEEE Trans. Geosc. and Remote Sens**. 35<3>: 675-686, 1997.

VILCHES, T.T.B. Relação entre Reflectâncias de Imagens Orbitais e Transporte de Sedimentos em Suspensão no Rio Doce. 2013. 75p Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Universidade Federal do Espirito Santo. Espirito Santo. 2013.

FLAASH <http://www.envi.com.br/index.php/modulos/acm> Acesso em: 25.set.2014.