



Universidade de Brasília

Instituto de Geociências

ESPECIALIZAÇÃO EM GEOPROCESSAMENTO AMBIENTAL

***IDENTIFICAÇÃO DE RAMAIS ASSOCIADOS
COM CORTE SELETIVO NA AMAZÔNIA POR
MEIO DE MODELOS LINEARES DE MISTURA
ESPECTRAL DERIVADOS DE IMAGENS DOS
SATÉLITES LANDSAT-8 E RAPIDEYE***

JULIA ZAPATA RACHID DAU

Monografia de conclusão de
curso de Especialização

BRASÍLIA – DF

2013



Universidade de Brasília

Instituto de Geociências

***Identificação de Ramais Associados com Corte
Seletivo na Amazônia por meio de Modelos Lineares
de Mistura Espectral Derivados de Imagens dos
Satélites Landsat-8 e RapidEye***

Julia Zapata Rachid Dau

Monografia de conclusão de
curso de Especialização

ORIENTADOR: Prof. Dr. Edson Eyji Sano (Embrapa, IG/UnB)

EXAMINADORES: Prof. Dr. Paulo Roberto Menezes (IG/UnB)

Dr. Raúl Espinoza Villar

BRASÍLIA – DF

2013

Agradecimentos

Agradeço a minha família, em especial a Renato Bock e aos nossos filhos Lara e Caio pelo apoio e incentivo.

A equipe da Coordenação Geral de Proteção do ICMBio, principalmente a Paulo Carneiro, Flávia Oliveira e Cristiana Aguiar que sempre me incentivaram a aceitar novos desafios, e Thais Xavier pelo apoio, incentivo e parceria no monitoramento das unidades de conservação federais.

Ao ICMBio pelo apoio aos seus servidores na busca pelo aprimoramento profissional.

RESUMO

O modelo linear de mistura espectral (MLME) é uma técnica de processamento digital de imagem que apresenta bons resultados na literatura científica para a detecção de corte seletivo na floresta Amazônica. O objetivo desse estudo foi identificar estradas e ramais associados com corte seletivo na Reserva Extrativista Verde para Sempre, Pará, por meio de MLME derivados de imagens dos satélites Landsat-8 e RapidEye. Foram utilizados os componentes vegetação, solo e sombra das imagens de satélites. Após análise visual das imagens-fração resultantes das imagens de satélite RapidEye, foi realizado o mapeamento dos ramais e, posteriormente, foi extrapolada a malha de ramais mapeados para a imagem do satélite Landsat-8. As imagens-fração e a composição colorida da imagem do satélite RapidEye das bandas espectrais originais apresentaram capacidades semelhantes de identificação de ramais. No Landsat-8, as imagens-fração mostraram capacidades de discriminação de ramais superiores que a composição colorida das bandas originais. Dos 70% de área sem cobertura de nuvens no recorte da imagem de satélite Landsat-8, o modelo permitiu mapear 383 km de ramais. Dos 92,5% da área sem cobertura de nuvens na imagem de satélite RapidEye, foram mapeados por volta de 2.094 km de ramais. A cobertura de nuvens da imagem do satélite Landsat-8 dificultou a visualização da superfície da terra bem como a identificação de ramais. No entanto, na análise comparativa de desempenho relativo das imagens estudadas, foi determinante a maior efetividade de identificação de ramais decorrente da maior resolução espacial apresentada pelas imagens do mosaico do satélite RapidEye.

Palavras-chave: modelo linear de mistura espectral; Amazônia; corte seletivo; Rapideye; Landsat-8

ABSTRACT

The linear spectral mixture model (LSMM) is a digital image processing method that shows high-quality results in the scientific literature for detecting selective logging in the Amazon forest. This study aimed to identify roads and skid trails associated to selective logging in Verde Para Sempre Extractive Reserve in Pará State by using LSMM derived from Landsat-8 and RapidEye satellite images. The vegetation, soil and shade components of satellite images were used. After visual analysis of the images-fraction resulting from RapidEye satellite imagery a skid trails mapping was done. Afterwards the skid trails mesh was extrapolated to the Landsat-8 image. The image-fraction and the color composites of RapidEye satellite images showed similar skid trails identification capabilities. In the Landsat-8, the image-fractions showed higher discrimination capabilities to identify skid trails than the color composites of original spectral bands. Within the 70% of cloud-free areas in the Landsat-8 image, the model was able to map 383 km of skid trails. In the 92,5% of cloud-free areas in the RapidEye image, the model was able to map 2.094 km of skid trails. The cloud cover in the Landsat-8 image interfered in the earth's surface visualization and, as a consequence, in the skid trails identification, but it was not determinative. The major factor showed by the comparative analysis of the relative performance of the Landsat-8 and RapidEye images to identify skid trails in the Amazon forest was the higher spatial resolution images of the RapidEye satellite.

Keywords: linear spectral mixture model; Amazon; selective logging; RapidEye; Landsat-8.

SUMÁRIO

AGRADECIMENTO.....	3
RESUMO.....	4
ABSTRACT.....	5
SUMÁRIO.....	6
1. INTRODUÇÃO.....	7
2. MATERIAIS E MÉTODOS.....	9
2.1 Área de estudo.....	9
2.2 Materiais.....	11
2.3 Métodos.....	13
3. RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	21
4. CONSIDERAÇÕES FINAIS.....	27
REFERÊNCIAS.....	29

1. INTRODUÇÃO

Desde o final do século XX já se faz monitoramento de cobertura florestal da Amazônia. A identificação do desmatamento por corte raso passou a fazer parte do monitoramento da Amazônia com o contínuo desenvolvimento das ferramentas de sensoriamento remoto e com o maior interesse da sociedade com o “futuro da Amazônia” e as questões ambientais. Desde então, o monitoramento da cobertura florestal na Amazônia, com identificação de corte raso, se consolidou.

No entanto, o monitoramento da cobertura florestal com identificação de cortes seletivos e áreas degradadas, por meio do sensoriamento remoto, ainda apresenta deficiências e necessidade de aprimoramento. As metodologias apresentadas ainda não permitem análise em larga escala, o que gera ausência de dados oficiais e a indefinição de políticas públicas voltadas para o monitoramento e combate ao corte seletivo ilegal. Asner (2005) indicou que as estimativas realizadas por meio das técnicas tradicionais deixaram de mapear cerca de 50% das áreas degradadas e propôs a necessidade de ampliação de estudos com imagens de maior resolução espacial.

Estudos comparativos realizados no Brasil entre os anos 1999 a 2002, publicados na revista *Science*, mostraram que os estados do Mato Grosso e Pará foram os que apresentaram as maiores taxas de corte seletivo (ASNER et al., 2005). Também foi estimado que o desmatamento na Amazônia se caracteriza por aproximadamente 50% de corte raso e 50% de corte seletivo. Asner e colaboradores também indicaram que há extração seletiva de madeira em áreas de conservação como Unidades de Conservação (UC) e Terras Indígenas (TIs). Desta forma, torna-se fundamental aprofundar os estudos em áreas de proteção para garantir a preservação ambiental e corroborar com uma das razões de existência destas UCs e TIs.

Uma das metodologias que tem apresentado bons resultados no trabalho de identificação de corte seletivo na cobertura florestal da Amazônia é o Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME). Esta metodologia é utilizada, por exemplo, para o cálculo anual de desmatamento na Amazônia Legal pelo Programa de Monitoramento do Desflorestamento da Amazônia - PRODES (CÂMARA; VALERIANO; SOARES, 2006). No MLME, o processo de

determinação da abundância relativa dos materiais se baseia nas características espectrais dos materiais. A determinação e uso dos *endmembers* (por meio da seleção de pixels puros em áreas de interesse) interferem na qualidade dos resultados. Neste estudo, a expectativa é a de que as imagens produzidas em razão das intensidades das feições de solo, sombra e vegetação na composição misturada do pixel auxiliem na visualização dos ramais de arrasto e de transporte das madeiras extraídas. Evidências indiretas de extração da madeira na floresta amazônica brasileira incluem a presença de estradas, pátios, trilhas de arraste e árvores derrubadas, além das áreas não perturbadas (ASNER et al., 2005). Neste estudo, os alvos considerados foram as estradas que dão acesso aos pátios de desmatamento e as trilhas de arraste por onde são escoadas as madeiras cortadas.

O objetivo desse estudo foi identificar estradas e ramais associados com corte seletivo na Reserva Extrativista Verde para Sempre, Pará, por meio de modelos lineares de mistura espectral derivados de imagens dos satélites Landsat-8 e RapidEye.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Área de estudo

A Resex Verde para Sempre localiza-se na mesorregião do baixo Amazonas no Estado do Pará (Figura 1), área em que Celentano e Verissimo (2007) caracterizaram como zona "sobpressão" por causa da grande porcentagem de migrantes e por ser local de elevada incidência de violência no campo (por exemplo, conflitos pela terra, assassinatos, trabalho escravo e taxas de homicídio). Além disso, a área apresenta, em comparação com as demais áreas do estado, elevados índices econômicos e elevado Índice de Desenvolvimento Humano (IDH): Produto Interno Bruto (PIB) municipal médio de US\$ 96,3 milhões, crescimento anual do PIB entre os anos de 2000 e 2004 de 14%, PIB per capita médio de US\$ 6,3 milhões e altas taxas de empregos formais, com crescimento de 42% entre os anos de 2000 a 2004 (IBGE, 1990; CELENTANO e VERISSIMO, 2007).

A Resex Verde para Sempre foi criada por Decreto Presidencial em 8 de novembro de 2004. Localiza-se no Município de Porto de Moz, Estado do Pará, com uma área aproximada de 1.288.717 hectares. A reserva tem por objetivo assegurar o uso sustentável e a conservação dos recursos naturais renováveis, protegendo os meios de vida e a cultura da população extrativista local (BRASIL, 2004).

Segundo a Lei nº 9.985/2000, que instituiu o Sistema Nacional de Unidades de Conservação da Natureza (SNUC), as unidades de conservação devem dispor de um plano de manejo que deve ser elaborado no prazo de cinco anos a partir da data de sua criação. Este é o documento no qual se estabelece o zoneamento e normas para o uso da área e manejo dos recursos naturais (BRASIL, 2000). No entanto, as dificuldades de gestão das unidades de conservação, principalmente em áreas isoladas na região norte do país, acabam por prolongar o tempo necessário para a elaboração de instrumentos de gestão adequados. A Resex Verde para Sempre é um dos casos de unidade de conservação criadas há mais de cinco anos que não conta com o plano de manejo



Figura 1 - Localização da área de estudo no Estado do Pará, com indicação de localização das imagens dos satélites Landsat-8 e RapidEye na porção sul da reserva.

.Apesar de não contar com nenhum instrumento de gestão oficial, em 31 de janeiro de 2008, foi criado o Conselho Deliberativo da unidade, por meio da Portaria nº1/2008 (ICMBIO, 2008). A criação do conselho da unidade é um importante passo para se garantir a participação social na gestão da área protegida e meio para se atingir os objetivos para qual a unidade de conservação foi criada. Cabe destacar que a criação desta UC foi fruto da organização da sociedade civil em que houve intensa mobilização social, como o bloqueio do rio Jaurucu (GREENPEACE, 2003).

Recentemente, o Instituto Chico Mendes de Conservação da Biodiversidade (ICMBio), órgão executor da gestão das unidades de conservação federais, recebeu denúncias sobre a extração seletiva ilegal de madeira no sul da unidade. Estudos baseados em dados de sensoriamento remoto ajudaram a localizar os locais de extração seletiva de madeira e a possível responsabilização dos envolvidos. Assim, por meio das denúncias e estudos

posteriores, foi possível comprovar a continuação da extração ilegal de madeira na reserva e que os conflitos entre madeireiros e ribeirinhos é uma realidade na região.

2.2 Materiais

Os materiais básicos desse estudo foram as imagens do satélite RapidEye da porção sul da reserva, obtidas nos anos de 2011 e 2012 e uma imagem do satélite Landsat-8 de 2013 (Tabela 1).

Tabela 1 - Datas de passagem das imagens dos satélites RapidEye e Landsat-8 utilizadas nesse estudo.

RAPIDEYE	DATA (AA-MM-DD)	LANDSAT-8	DATA (AA-MM-DD)
2237806	2012-08-04	226/62	2013-10-20
2237807	2012-08-04		
2237808	2012-08-01		
2237809	2012-08-01		
2237906	2012-08-04		
2237907	2012-08-04		
2237908	2011-11-27		
2237909	2011-11-27		

As imagens RapidEye foram obtidas em 2011 (duas cenas) e em 2012 (seis cenas). Suas principais características de imageamento são apresentadas na Tabela 2. Maiores detalhes podem ser encontradas em Tyc et al. (2005) e Kazmierczak; Espindola; Felix (2009).

Tabela 2 - Características de imageamento do satélite RapidEye.

PARÂMETRO	CARACTERÍSTICAS
Altitude da Órbita	600-620 km, órbita síncrona com o Sol
Hora de Passagem no Equador	11:00 hs (aproximadamente)
Velocidade	27.000km/h
Largura da Imagem	77 km
Tempo de Revisita	Diariamente (off-nadir); 5,5 dias (nadir)
Capacidade de Coleta	4,5 milhões de km ² /dia
Tipo do Sensor	Multiespectral (pushbroom imager)

Bandas Espectrais (comprimento de onda)	5 (400-850 nm)	
	Banda 1 -Vermelho	630–685 nm
	Banda 2 -Verde	520–590 nm
	Banda 3 - Azul	440–510 nm
	Banda 4 - Red-Edge	690–730 nm
	Banda 5 - Infravermelho próximo	760–850 nm
Resolução Espacial (nadir)	6,5 m	
Tamanho do Pixel (ortorretificado)	5 m	
Armazenamento de Dados a Bordo	1.500 km de dados de imagens por órbita	
Resolução Radiométrica	12 bits	
Velocidade de Download (bandaX)	80 Mbps	
Tempo de vida da Missão	7 anos	

O satélite Landsat-8 foi lançado em 2013 e as principais características de imageamento desse satélite são apresentadas na Tabela 3. Maiores detalhes podem ser obtidos em USGS (2013).

Tabela 3 - Características de imageamento do satélite Landsat-8.

PARÂMETRO	CARACTERÍSTICAS
Largura da Imagem	170 x 183 km
Tempo de Revisita	16 dias (nadir)
Tipo do Sensor	Multiespectral (Operacional Terra Imager - OLI) e Termal
Bandas Espectrais (comprimento de onda)	Banda 1 – Ultra-azul 0,43 – 0,45 μm 30m
	Banda 2 – Azul 0,45 – 0,51 μm 30m
	Banda 3 – Verde 0,53 – 0,59 μm 30m
	Banda 4 – Vermelho 0,64 – 0,67 μm 30m
	Banda 5 – Infravermelho 0,85 – 0,88 μm 30m
	Banda 6 – SWIR 1 1,57 – 1,65 μm 30m
	Banda 7 – SWIR 2 2,11 – 2,29 μm 30m
	Banda 8 – Pancromática 0,50 – 0,68 μm 15m
	Banda 9 – Cirrus 1,36 – 1,38 μm 30m
	Banda 10 – Infravermelho 10,60 – 11,19 100m
	Banda 11 – Infravermelho 11,50 – 12,51 100m
Resolução Espacial (nadir)	15, 30 e 100 m
Resolução Radiométrica	16 bits

Tempo de vida da Missão	5-10 anos
-------------------------	-----------

Tanto nas imagens RapidEye, quanto na imagem Landsat-8 a presença de nuvens foi o principal fator de dificuldade para as análises visuais dos ramais na área de estudo. Com o recém lançamento do satélite Landsat-8, o início da distribuição gratuita e rotineira das imagens coincidiu com o final da seca e o início das chuvas na Amazônia Brasileira, fato que aumenta a cobertura de nuvens e dificulta a visualização dos alvos na superfície da terra nas imagens óticas. Por tratar-se de um satélite comercial, a distribuição das imagens do satélite RapidEye depende de contratos firmados com a empresa comercializadora das imagens. O contrato firmado com o Ministério do Meio Ambiente do Brasil possibilitou a utilização das imagens de satélite da região, no entanto, só foi disponibilizada uma cena de 2011 em cada área e não o acesso ao acervo completo de imagens.

2.3 Métodos

Para cada tipo de imagem de satélite, o pixel representa a resposta espectral de um ou um conjunto de alvos na superfície da terra. O tamanho da área da superfície da terra imageada dependerá do campo de visada instantâneo (IFOV) do sensor, que é medido pelo ângulo β . O tamanho do ângulo β do IFOV é determinado pela abertura do sistema óptico em conjunção com o tamanho do detector (MENESES; ASSAD; SANO, 1991). Assim, o ângulo β do IFOV irá por determinar o tamanho da área imageada na superfície da terra e conseqüentemente o tamanho do seu pixel.

O pixel de uma imagem de satélite representa, portanto, a mistura espectral dos alvos, a depender da sua resolução espacial. Imagens de satélite com maior resolução espacial apresentam um mistura espectral maior do que as imagens de menor resolução espacial. Como o pixel depende da resolução espacial da imagem de satélite, neste estudo foram consideradas imagens de satélite com resoluções espaciais distintas: as bandas 5, 6 e 7 da imagem do satélite Landsat-8, com 30 metros de resolução espacial para estas bandas; e as bandas 2, 4 e 5 das imagens do satélite RapidEye, com 6,5 metros. Assim, podemos concluir que a mistura espectral nas imagens selecionadas neste trabalho serão distintas, já

que a mistura espectral dos alvos depende da resolução espacial das imagens. Em alguns casos, pode-se até afirmar que a mistura espectral torna-se indesejada. Quando tem-se, como objeto de trabalho, alvos menores, a mistura espectral mascara as respostas individuais dos alvos (FERREIRA et al., 2007).

Para se trabalhar a mistura espectral dos alvos, há diversas técnicas de processamento digital de imagens. O modelo linear de mistura espectral é um algoritmo de processamento da imagem onde é possível determinar a composição relativa dos materiais na mistura espectral do pixel. Este modelo pode ser expresso pela Equação 1 (AGUIAR, 1999 citado em SHIMABUKURO et al., 2006).

$$r_i = \sum_{j=1}^n (a_{ij} \cdot x_j) + e_i \quad (1)$$

onde: r_i = reflectância espectral observada na banda i de um pixel, contendo um ou mais componentes; a_{ij} = reflectância espectral do componente j para a banda espectral i ; x_j = proporção do componente j (*endmember*) dentro de um pixel; e_i = erro para a banda i (contribuição residual não considerada pelo conjunto de *endmembers*); $j = 1, 2, 3, \dots, n$ (número de componentes); $i = 1, 2, 3, \dots, m$ (número de bandas espectrais).

A composição relativa dos alvos será determinada pelas características espectrais dos materiais. Assim, a coleta e uso dos *endmembers* (por meio da coleta de pixel puro em áreas de interesse na imagem de satélite) determinarão os resultados. Shimabukuro (2006) sugeriu os componentes vegetação, solo e sombra como alvos básicos em cenas de floresta. Após a aplicação do MLME, tem-se, como resultado, imagens-fração de cada um dos componentes eleitos, ou seja, uma imagem-fração de vegetação, uma imagem-fração de solo e uma imagem-fração de sombra. Essas imagens são em níveis de cinza e correspondem à proporção daquele componente por pixel.

Algumas restrições quanto ao uso do algoritmo MLME são apresentadas pelo tutorial do Envi® no que diz respeito à limitação do número de *endmembers*, já que o mesmo deverá ser menor que o número de bandas do sensor. No entanto, como serão trabalhadas feições de solo, sombra e vegetação em três bandas das imagens Landsat-8 e Rapideye, o algoritmo

poderá ser aplicado. Neste estudo, a aplicação do modelo foi sem restrição na soma dos *endmembers*, o que significa que todos os componentes resultantes tiveram mesmo peso.

No MLME, o pixel de reflectância de determinado alvo em uma banda espectral específica será o resultado da soma dos componentes da banda mais a multiplicação da reflectância de cada componente na mesma banda com a proporção do componente no pixel somado do erro residual. Para a maioria das aplicações de sensoriamento remoto e das técnicas de processamento de imagens, são utilizadas imagens no formato digital, aceitando-se que os valores digitais são representações bem próximas da reflectância. Por isso não foi realizada a correção atmosférica e se trabalhou com valores digitais.

O MLME foi obtido a partir das bandas 5, 6 e 7 da imagem do satélite Landsat-8 e para as bandas 2, 4 e 5 para as imagens do satélite RapidEye. A escolha das bandas se deu em decorrência do histograma apresentado para cada uma das imagens, elaborado a partir da coleta das regiões de interesse (ROI) com a eleição dos pixels puros onde a “separabilidade” dos grupos são mais visíveis (Figuras 2 –5).

O programa PRODES, do Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE) utiliza, em sua metodologia, o Modelo Linear de Mistura Espectral para o cálculo de desmatamento anual. Nele, são consideradas as bandas 3, 4, 5 do TM-Landsat (CÂMARA; VALERIANO; SOARES, 2006). Para a imagem do satélite Landsat-8, as bandas mais indicadas para a visualização de ramais foram as bandas 5, 6 e 7 (Figura 6) já que a separabilidade dos componentes vegetação, solo e sombra são mais significativas nestas bandas, o que permitiu melhora substancial na análise visual dos ramais.

Após o processamento das imagens pelo MLME, foi realizada a identificação de ramais com base na análise visual na tela do computador nas imagens do satélite RapidEye. Utilizou-se, para isso, o software ArcGis®. A identificação visual dos ramais foi realizada a partir das imagens-fração solo e sombra e, em alguns casos, a composição colorida foi utilizada para confirmação. Foi utilizada a função de digitalização de linhas disponíveis no ArcGIS®. Posteriormente, extrapolou-se a vetorização dos ramais identificados nas imagens RapidEye para a área de interesse da a imagem Landsat-8.

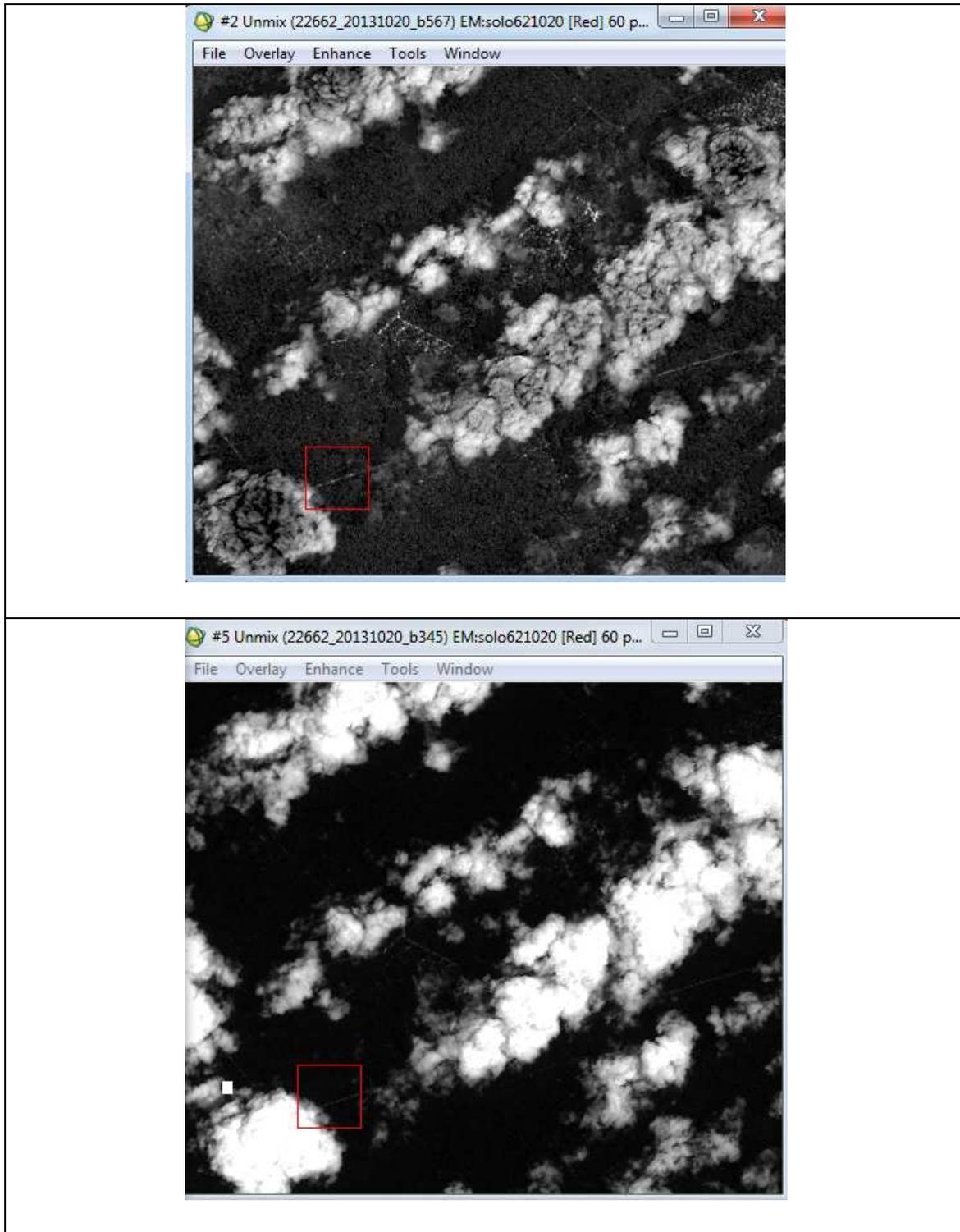


Figura 2 - Comparação da imagem do componente solo nas bandas 567 e 345 da imagem de satélite Landsat-8.

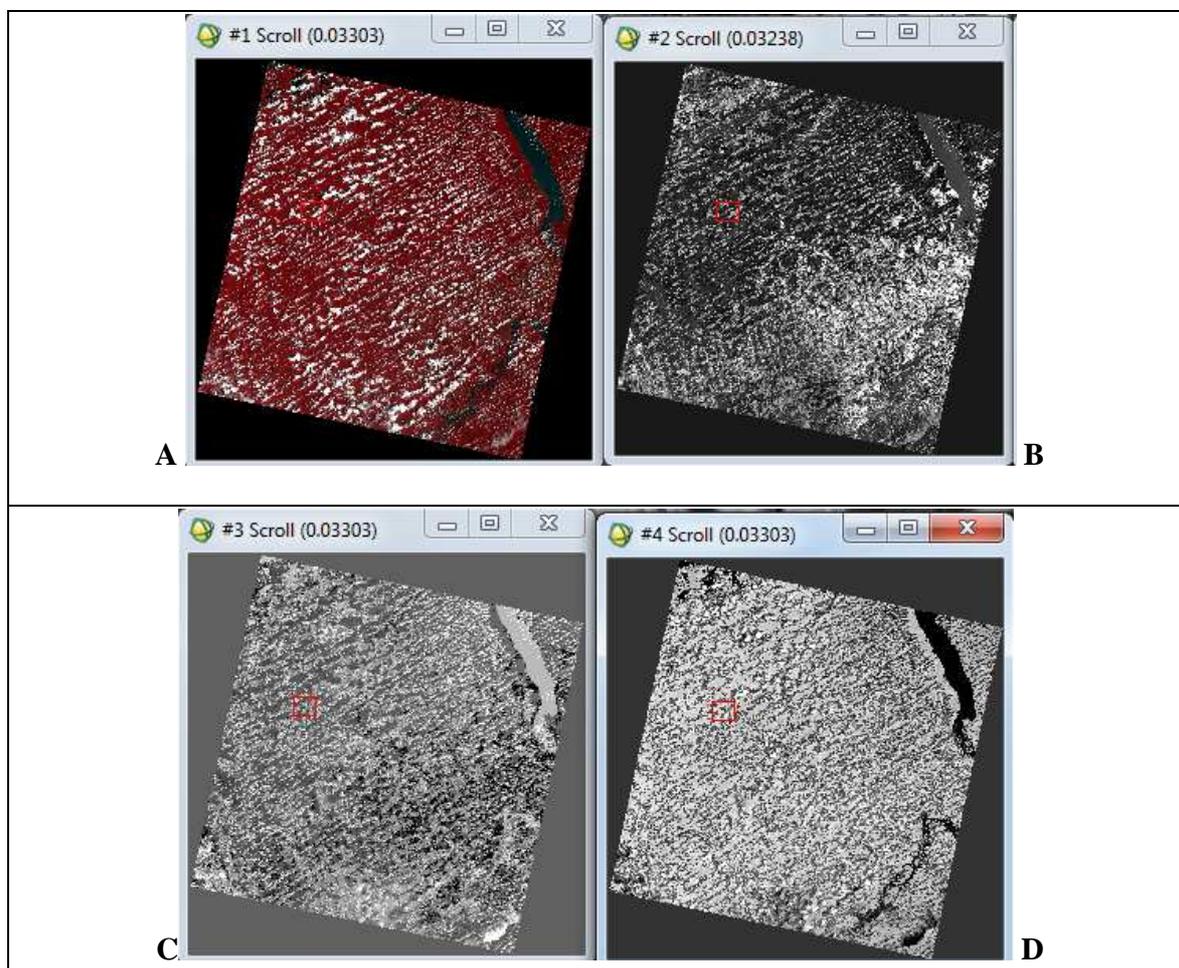


Figura 3 - Composição colorida (A) R5G4B3 da imagem de satélite Landsat-8, e as imagens com a conversão em componentes solo (B), sombra (C) e vegetação (D).

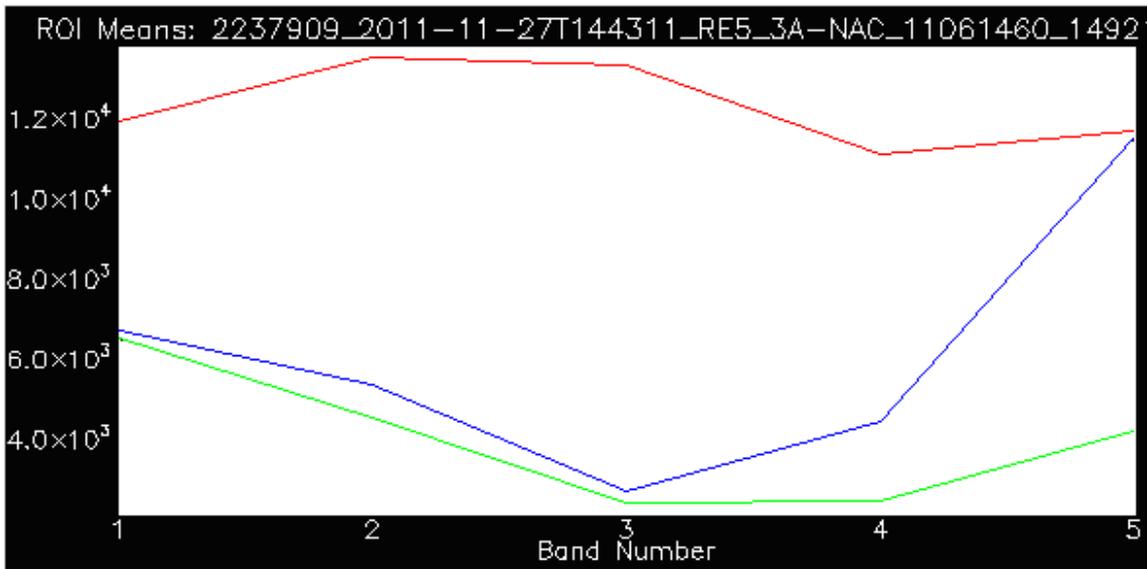


Figura 4 – Curvas espectrais dos valores digitais de radiância dos componentes solo (vermelho), sombra (verde) e vegetação (azul) derivados da imagem RapidEye da área de estudo (cena 2237909). Percebe-se que as maiores separações espectrais são encontradas nas bandas 3, 4 e 5.

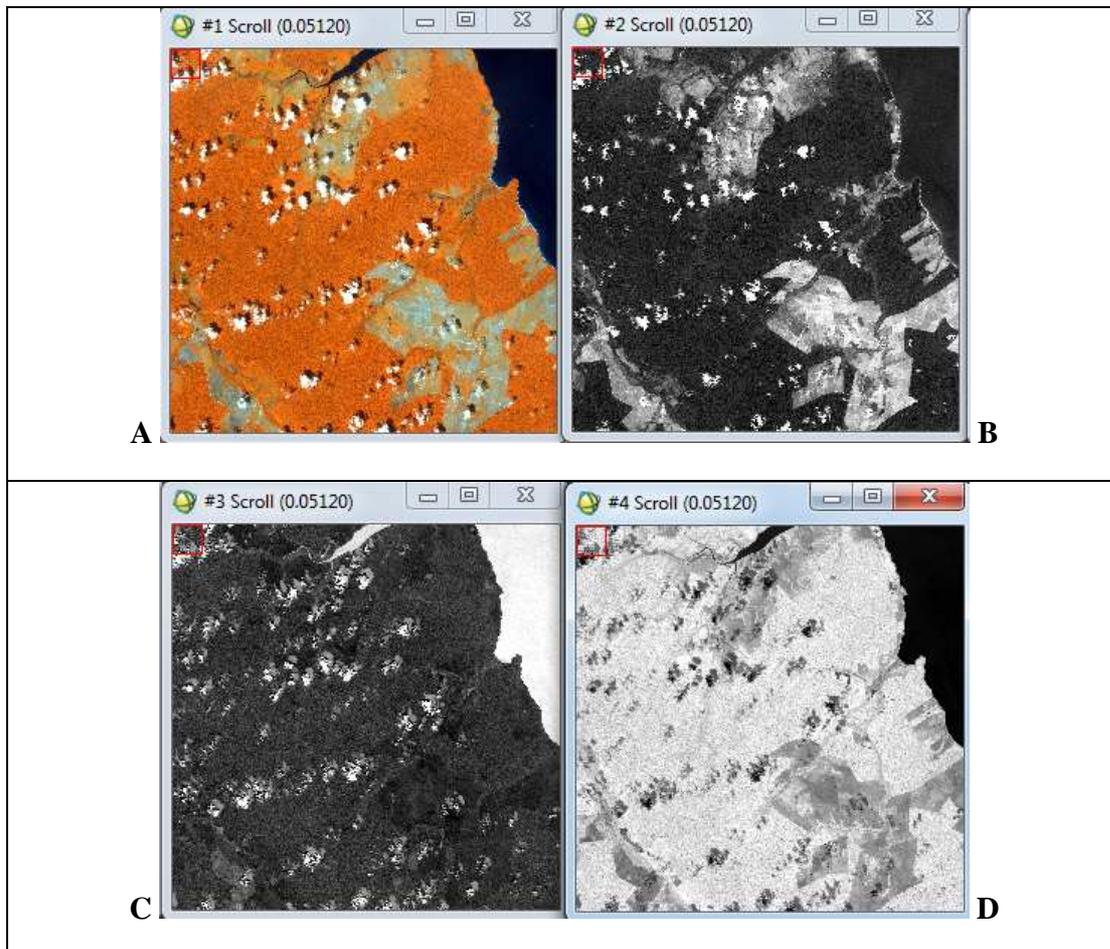


Figura 5 - Composição colorida R5G4B3 (A) da imagem de satélite RapidEye (cena 2237909), e as imagens com a conversão em componentes solo (B), sombra (C) e vegetação (D).

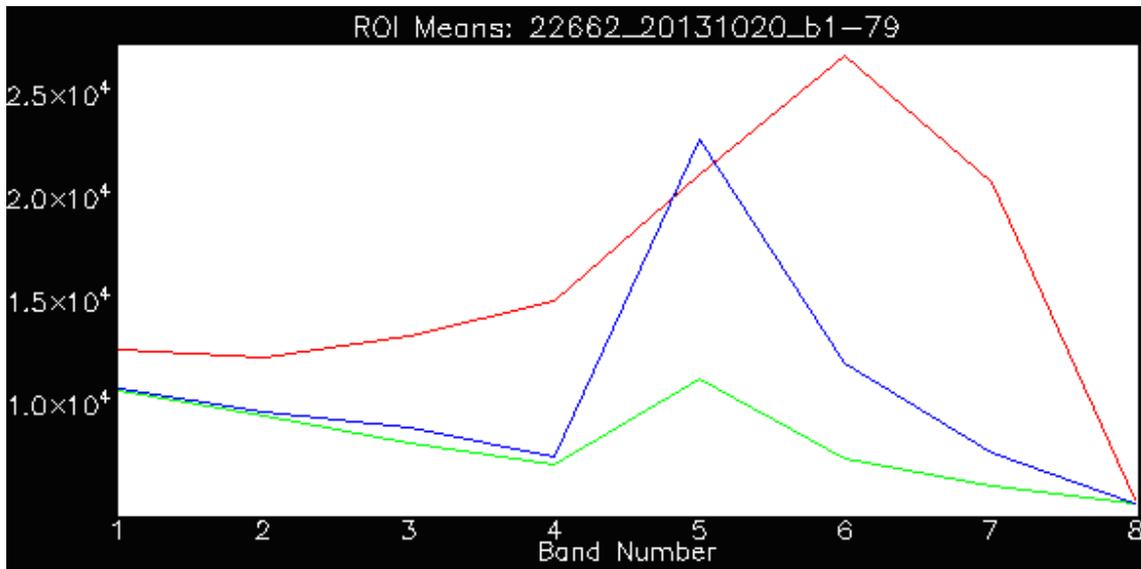


Figura 6 – Curvas espectrais dos valores digitais de radiância dos componentes solo (vermelho), sombra (verde) e vegetação (azul) derivados da imagem Landsat-8 da área de estudo. Percebe-se que as maiores separações espectrais são encontradas nas bandas 5, 6 e 7.

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Como resultado, foram produzidos os mosaicos com as imagens-fração dos componentes solo e sombra da imagem de satélite RapidEye e o recorte da área de interesse das imagens-fração dos componente solo e sombra e da imagem de satélite Landsat-8.

Na Figura 7, é possível observar detalhe da cena da imagem de satélite RapidEye em escala aproximada de 1:20.000. A seta indica a localização de um ramal. Observa-se que o ramal é visualizado tanto na composição colorida como da imagem-fração solo. Essas imagens, portanto, possuem capacidades semelhantes de identificação de ramais. Na imagem-fração sombra, a visualização do ramal é mais difícil já que os níveis de cinza mais claros são aqueles que possuem maior composição de sombra em seu pixel, tornado os ramais linhas escuras na imagem.

Na Figura 8, é possível observar detalhe da cena da imagem de satélite Landsat- 8 em escala aproximada de 1:50.000. A seta indica a localização de um ramal. Observa-se que o ramal é visualizado tanto na imagem-fração solo, como na imagem-fração sombra. Essas imagens-fração, portanto, possuem capacidades de discriminação de ramais superior que na composição colorida.

Outro resultado do estudo foi a elaboração de dois mapas. O primeiro mapa com os ramais mapeados por meio da análise visual das imagens do satélite RapidEye e suas respectivas imagens-fração solo, sombra e vegetação; e o segundo mapa com os ramais mapeados por meio da análise visual do recorte da imagem do satélite Landsat- 8 e suas respectivas imagens-fração solo, sombra e vegetação (Figuras 9Ae 9B).

A área total do recorte na imagem de satélite Landsat-8 foi de 4.711,743 km², nos quais 1.398,244 km² estavam cobertos por nuvens, o que corresponde a 30% da imagem. Nos 70% da área visível, foram mapeados 383,637 km de ramais. O total da área de estudo na imagem de satélite RapidEye foi de 4618,901 km² (o equivalente a área aproximada de 8 cenas RapidEye), nos quais 7,5% estavam cobertos por nuvens. Nos 92,5% da área visível, foram mapeados 2.094,096 km de ramais.

Devido a grande cobertura de nuvens, o mosaico das imagens de satélite RapidEye apresenta área visível 29,5% maior que o recorte da imagem de satélite Landsat-8. Em relação à identificação de ramais, foram 383,637 km mapeados a partir da imagem Landsat-8, enquanto que pela RapidEye foram identificados 2.094,096 km. Desta forma, em uma análise comparativa do desempenho relativo das imagens utilizadas neste estudo, a capacidade de mapeamento de ramais no mosaico das imagens de satélite RapidEye foi 545% que a do recorte da imagem de satélite Landsat-8 (Tabela 4).

Tabela 4 - Comparação de desempenho relativo da área visível e ramais mapeados nas imagens de satélite Landsat-8 e RapidEye

SATÉLITE	ÁREA VISÍVEL (km ²)	COMPARAÇÃO ÁREA VISÍVEL	RAMAIS (km)	COMPARAÇÃO RAMAIS
Landsat-8	3.298,220	+ 29,5%	383,637	+ 545%
RapidEye	4.272,483		2.094,096	

		<p>Composição colorida R1G2B3</p>
		<p>Fração solo</p>
		<p>Fração sombra</p>

Figura 7 – Visualização da presença de ramais no detalhe de uma imagem do satélite RapidEye (cena 2237806) em composição colorida e suas respectivas imagens-fração solo e sombra.

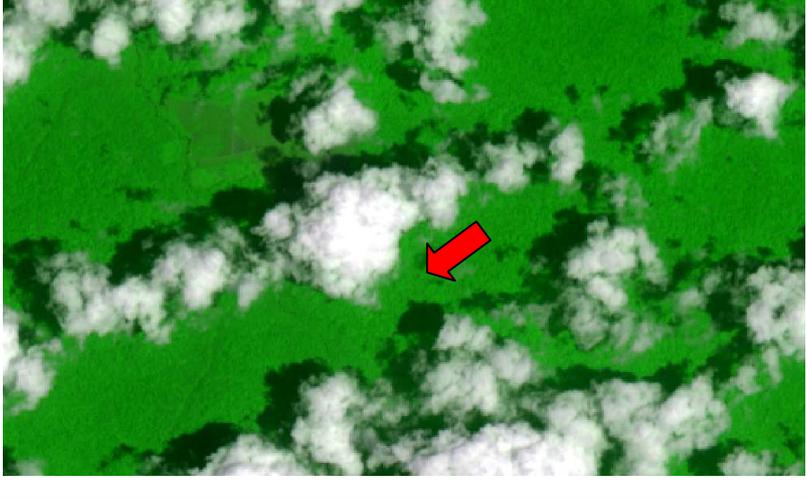
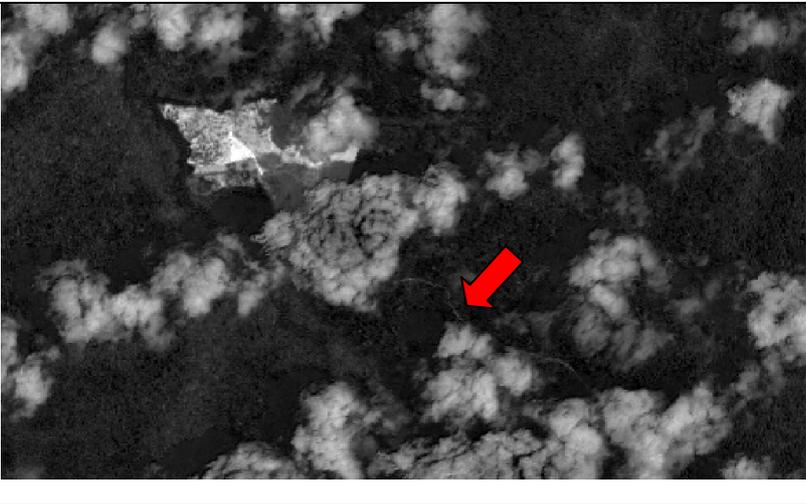
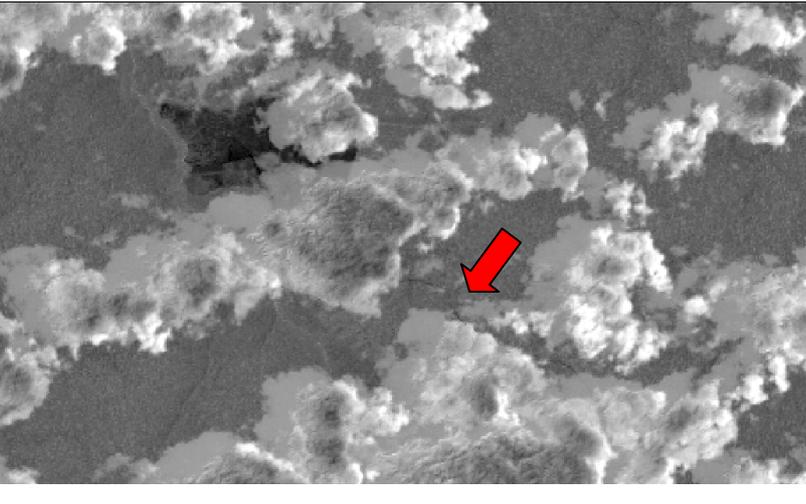
			<p>Composição colorida R3G5B2</p>
			<p>Fração solo</p>
			<p>Fração sombra</p>

Figura 8 - Visualização da presença de ramais no detalhe da imagem do satélite Landsat-8 em composição colorida e suas respectivas imagens-fração solo e sombra.

Resex Verde para Sempre - ramais RapidEye

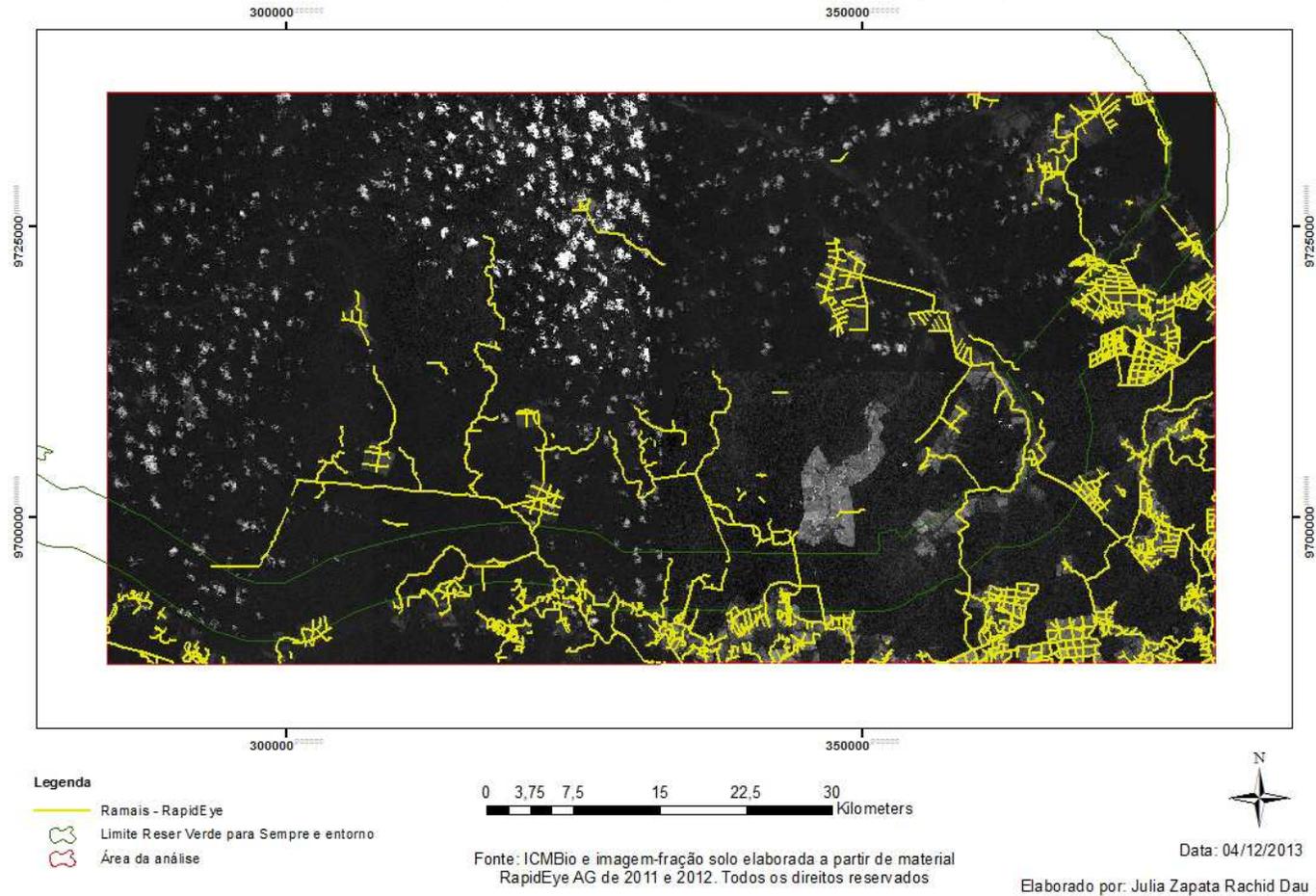


Figura 9A – Mapas de ramais identificados nas imagens do RapidEye (a) e Landsat-8 (b) na Resex Verde para Sempre.

Resex Verde para Sempre - ramais Landsat-8

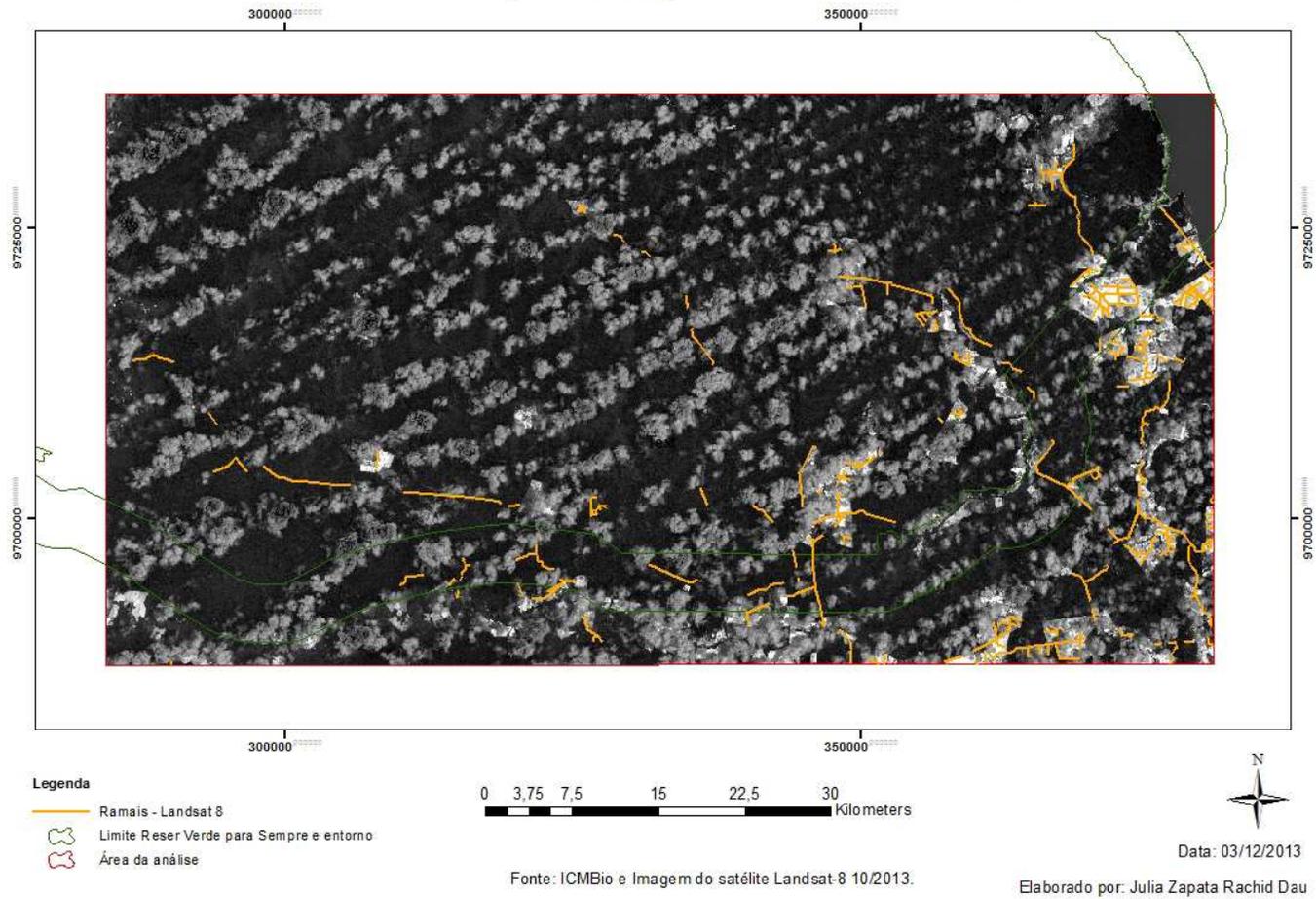


Figura 9B – Mapa de ramais identificados nas imagens do RapidEye (a) e Landsat-8 (b) na Resex Verde para Sempre.

4. CONSIDERAÇÕES FINAIS

O mapeamento de ramais com as bandas 3, 4 e 5 das imagens de satélite RapidEye é facilitado pela maior resolução espacial, já que a composição colorida e as imagens-fração solo, sombra e vegetação possuem capacidades semelhantes de identificação de ramais. O modelo linear de mistura espectral aplicado a estas imagens facilita a interpretação do analista nos casos de dúvida. No caso das imagens de satélite Landsat-8, a aplicação do MLME ajuda na identificação dos ramais que não são facilmente observáveis nas composições coloridas. Assim, a aplicação do modelo gera imagens-fração que possuem capacidade de discriminação de ramais superior à composição colorida.

Nos mapas elaborados, foi possível observar que os principais ramais foram mapeados utilizando as imagens dos dois satélites em estudo. No entanto, o detalhamento dos ramais só foi possível com a imagem de melhor resolução espacial, já que quanto menor a resolução espacial de uma imagem, menor a mistura espectral do pixel. Um estudo mais aprofundado é necessário, com identificação de pequenos e médios pátios de estocagem de madeira, para classificação dos tipos de ramais ou estradas mapeados. Assim, estimativas das áreas de extração seletiva, de corte raso de madeira, bem como áreas agrícolas na reserva seriam apresentadas. De qualquer forma, a identificação da presença da malha de ramais em UC auxilia o monitoramento da área e o planejamento de operações de fiscalização ambiental, já que a ampliação de áreas desmatadas na floresta Amazônica é uma realidade.

Em relação a imagens de satélite Landsat-8, cabe destacar que de acordo com as características do satélite, a melhor aplicação do MLME foi com as bandas 5, 6 e 7 com os componentes de solo, nuvem e vegetação. A dificuldade com a grande presença de nuvens na região analisada e da pouca disponibilidade de imagens nos acervos pesquisados em decorrência do recém lançamento do Landsat-8 minimizaram as possibilidades de eleger imagens mais satisfatórias em uma área da região amazônica de difícil monitoramento por meio de satélites ópticos.

A disponibilidade de imagens em acervo ou a disponibilização de uma série temporal das imagens da constelação de satélites comerciais RapidEye também foi um limitador. O barateamento dos custos e a popularização do uso das imagens de alta resolução ajudarão no desenvolvimento de técnicas de processamento digital de imagens e de novas aplicações para

auxiliar no aumento da área monitorada com corte seletivo. Cabe lembrar que as imagens de satélite RapidEye utilizadas neste estudo fazem parte da aquisição que o Ministério do Meio Ambiente do Brasil fez da cobertura por imagens de satélite do território brasileiro.

Para as imagens de satélite RapidEye, os MLME aplicados são parte importante mas não são suficientes para se ganhar escala no monitoramento do corte seletivo na Amazônia Legal já que a capacidade de discriminar objetos na composição colorida é próxima das imagens-fração solo e sombra. Devem ser agregadas a ele a aplicação de outras técnicas de processamento digital de imagens, como a classificação orientada a objeto, que facilitam o mapeamento de áreas afetadas com a derrubada ilegal da madeira e possibilitam o monitoramento de grandes áreas na Amazônia.

REFERÊNCIAS

ASNER, G. P. et al. Selective logging in the Brazilian Amazon. **Science (New York, N.Y.)**, v. 310, n. 5747, p. 480–2, 21 out. 2005.

BRASIL. Lei nº 9.985 de 18 de julho de 2000. . 2000.

BRASIL. Decreto s/nº de 8 de novembro de 2004. . 2004.

CÂMARA, G.; VALERIANO, D. D. M.; SOARES, J. V. **Metodologia para o Cálculo da Taxa Anual de Desmatamento na Amazônia Legal**São José dos Campos, 2006. Disponível em: <<http://www.obt.inpe.br/prodes/metodologia.pdf>>

CELENTANO, D.; VERISSIMO, A. **O AVANÇO DA FRONTEIRA NA AMAZÔNIA: DO BOOM AO COLAPSO**. Belém, PA: Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia, 2007.

FERREIRA, M. E. et al. Spectral linear mixture modelling approaches for land cover mapping of tropical savanna areas in Brazil. **International Journal of Remote Sensing**, v. 28, n. 2, p. 413–429, 20 jan. 2007.

GREENPEACE. **Pará: Estado de Conflito**. [s.l: s.n.]. Disponível em: <http://www.greenpeace.org/brasil/Global/brasil/report/2007/8/greenpeacebr_031103_amazonia_relatorio_para_estadodeconflito_port_v1.pdf>.

IBGE, I. B. DE G. E E. **Divisão Regional do Brasil em Mesorregiões e Microrregiões Geográficas**. Rio de Janeiro: [s.n.]. Disponível em: <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/monografias/GEBIS - RJ/DRB/Divisao_regional_v01.pdf>.

ICMBIO, I. C. M. DE C. DA B. Portaria nº 1 de 31 de janeiro de 2008. . 2008, p. 7042.

KAZMIERCZAK, L. M.; ESPINDOLA, G. M.; FELIX, I. M. **RapidEye: a nova geração de satélites de Observação da Terra**. Disponível em: <<http://marte.sid.inpe.br/col/dpi.inpe.br/sbsr@80/2008/11.17.14.18/doc/7619-7622.pdf>>.

MENESES, P.; ASSAD, E.; SANO, E. Introdução ao processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. **Brasília: Editora Universidade de Brasília**, 1991.

RapidEye © - Inclui material RapiedEye AG de 2011 e 2012. Todos os direitos reservados.

SHIMABUKURO, Y. E. et al. Near real time detection of deforestation in the Brazilian Amazon using MODIS imagery Detecção em tempo quase real de desflorestamento na Amazônia brasileira utilizando imagens MODIS. n. 12, 2006.

TYC, G. et al. The RapidEye mission design. **Acta Astronautica**, v. 56, n. 1-2, p. 213–219, jan. 2005.

U.S. GEOLOGICAL SURVEY. **Landsat8**. Disponível em:
<<http://landsat.usgs.gov/landsat8.php>>. Acesso em: 17 nov. 2013.