



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Pós-graduação Lato Sensu
Curso de Especialização em Geoprocessamento Ambiental

MONITORAMENTO DE TRÁFEGOS AÉREOS EM REGIÕES DE FRONTEIRA

Alexandre Bini

Orientador: Ricardo Seixas Brites
Co-orientador: Carlos Alberto Branco Marinho

Brasília - 2012



UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
INSTITUTO DE GEOCIÊNCIAS
Pós-graduação Lato Sensu
Curso de Especialização em Geoprocessamento Ambiental

MONITORAMENTO DE TRÁFEGOS AÉREOS EM REGIÕES DE FRONTEIRA

Alexandre Bini

Orientador: Ricardo Seixas Brites
Co-orientador: Carlos Alberto Branco Marinho

Monografia apresentada ao Instituto de Geociências da Universidade de Brasília – UnB, como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Geoprocessamento Ambiental.

Brasília – 2012

Bini, Alexandre

Monitoramento de Tráfegos Aéreos em Regiões de Fronteira –
Brasília 2012.

Monografia (especialização) – Universidade de Brasília, Instituto
de Geociências.

Orientador: Ricardo Seixas Brites

Co-orientador: Carlos Alberto Branco Marinho

1. Pista de Pouso e Decolagem. 2. Tráfego Aéreo. 3. Detecção
Radar. 4. Classificação Supervisionada. 5. Índice de Vegetação.
6. Geoespacialização. 7. Imagem Óptica. 8. Resolução Espacial. 9.
Interpretação Visual.

UNIVERSIDADE DE BRASÍLIA
Instituto de Geociência

**MONITORAMENTO DE TRÁFEGOS AÉREOS EM REGIÕES
DE FRONTEIRA**

Alexandre Bini

BANCA EXAMINADORA

Prof. Dr. Paulo Roberto Meneses
Presidente

Prof. Dr. Henrique Llacer Roig
Membro

Brasília, 14 de dezembro de 2012.

DEDICATÓRIA

*Em especial às minhas
filhas Júlia e Isabella
À minha mãe Rosi e à
minha esposa Tania*

AGRADECIMENTOS

Ao nosso Deus, simplesmente pela oportunidade de existirmos e aprendermos com as provações inerentes a nossa existência.

A minha amada Tânia Regina Felipe Bini, por seu apoio incondicional ao cuidar das nossas filhas quase que sozinha durante este período atribulado de estudos e trabalho.

A minha mãe, Rosi Maria Bini, por ser o porto seguro para mim e minha família.

Aos meus avós, Manoel Bini e Auda Semenkoski Bini, por terem dado a mim todo o exemplo de honestidade, retidão e disposição para o trabalho.

Agradeço ao professor Ricardo Seixas Brites, orientador deste trabalho, que desde o primeiro momento se dispôs a ajudar, por sua assertividade ao me aconselhar na busca pelas melhores soluções e, a quem cultivo grande admiração por seu profissionalismo e conhecimentos.

Ao meu amigo e colega de trabalho, Carlos Alberto Branco Marinho, co-orientador, por seu desprendimento em me ajudar com seus conselhos de caráter técnico e por sua disposição em estar presente durante as negociações para a liberação dos dados necessários a realização da presente monografia.

A Universidade Nacional de Brasília – UNB e a seus professores do Instituto de Geociência, em especial ao professor Paulo Meneses, por sua compreensão e ensinamentos.

Por fim, ao Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE, por sua iniciativa em disponibilizar imagens de satélite para serem baixadas gratuitamente de seu sítio na internet, material este que foi indispensável à realização dos presentes estudos.

RESUMO

A maioria dos trabalhos, que intencionam desenvolver alguma metodologia para a busca por pistas de pouso e decolagem, utiliza imagens de algum sensor radar. Uma vez que essas imagens possuem um elevado custo de obtenção e aquisição o que, muitas vezes, torna impeditiva a realização de explorações por esses tipos de alvos, buscou-se com este estudo verificar a validade do emprego de imagens mais baratas e de fácil obtenção, normalmente da faixa cóptica e de moderada resolução espacial. Ainda, objetivou-se desenvolver uma metodologia que permitisse análises de padrões de comportamento dos tráfegos aéreos e sua associação às pistas de pouso em uma área, então, definida. Para tanto, foram empregados métodos de processamento, de forma que fossem gerados mapas de uso a partir de classificação supervisionada e imagens derivadas de índice de vegetação. Todos os resultados obtidos serviram como auxílio à interpretação visual de uma área selecionada, após a análise dos padrões de ocorrências de tráfegos aéreos geoespacializados. Como desfecho, observou-se que os métodos de análise produziram conclusões válidas para a definição das regiões suspeitas de existência de pistas de pouso e decolagem. Igualmente, os processamentos espectrais provaram que o emprego de imagens da faixa óptica, com resolução espacial de até trinta metros, podem ser utilizadas para as finalidades propostas, sendo que, a partir delas, pode-se gerar resultados viáveis.

Palavras-chave: pista de pouso e decolagem, tráfego aéreo, detecção radar, classificação supervisionada, índice de vegetação, geoespacialização, imagem óptica, resolução espacial e interpretação visual.

ABSTRACT

Most studies that intend to develop some methodology to find takeoff and landing runways, using radar images from radar sources. Considering that the cost of such imagery often becomes an impediment to conducting explorations for these types of targets, it was sought in this work to validate the use of optical and moderate spatial resolution imagery. Besides, it was attempted to develop a methodology that would allow the analysis of air traffic behavior patterns and volumes, as well their association with airstrips in one defined area. To accomplish these methods of image processing were used to generate land cover maps and vegetation index images. The results were used as an aid to visual interpretation of the selected area after analysis of the occurrence patterns of air traffic and their spatial distribution. As a final result, it was found that the methods of analysis produced valid conclusions for the definition of regions of suspected existence of runways. The spectral processing proved that the use of images from the optical range, with a spatial resolution of thirty meters, is appropriate for the purposes and, from these, one can generate viable results

Keywords: landing and takeoff field, runway, air traffic, radar detection, supervised classification, vegetation index, geospatialization, optical imaging, spatial resolution and visual interpretation.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

Ilustração 01 – Geoespacialização dos tráfegos aéreos.....	14
Ilustração 02 – Órbitas/ponto do satélite LANDSAT 5 selecionadas.....	15
Ilustração 03 – Ruído striping.....	16
Ilustração 04 – Espectro eletromagnético.....	17
Ilustração 05 – Histogramas das bandas do sensor ETM.....	22
Ilustração 06 – Composições coloridas RGB 543 e 321.....	23
Ilustração 07 – Composições coloridas RGB 543 e respectivos Maxver.....	25
Ilustração 08 – Resultado da aplicação do índice de vegetação NDVI.....	27
Ilustração 09 – Aeródromos ARW e CRW.....	29
Ilustração 10 – Visão em zoom da órbita/ponto B.....	30
Ilustração 11 – Composição colorida RGB 543 e respectivo Maxver.....	31
Ilustração 12 – Pista pavimentada - composição colorida RGB 543 e Maxver.....	33
Ilustração 13 – Diversos tipos de vegetação - composição colorida RGB 543 e NDVI.....	34
Ilustração 14 – Resultados da pesquisa – pista 1.....	35
Ilustração 15 – Resultados da pesquisa – pista 2.....	36
Ilustração 16 – Resultados da pesquisa – pista 3.....	37

LISTA DE TABELAS

Tabela 01 – Principais características do satélite LANDSAT 5..... 18

Tabela 02 – Classes definidas para os alvos presentes nas imagens das três órbitas/ponto..... 24

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

COMDABRA: Comando de Defesa Aeroespacial Brasileiro

FAB: Força Aérea Brasileira

IFF: *Identifier Friend or Foe* – Identificação de Amigo ou Inimigo

INPE: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais

NDVI: *Normalized Difference Vegetation Index* – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada

NIR: *Near Infra Red* – Infravermelho Próximo

RGB: Sistema de Cores *Red* (vermelho), *Green* (verde) e *Blue* (azul)

ROI: *Regions of Interest* – Regiões de Interesse

Sensor TM: Sensor imageador do satélite LANDSAT 5

SIG: Sistema de Informações Geográficas

SIRGAS 2000: Sistema de Referência Geocêntrica para as Américas

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	10
2	MATERIAIS E MÉTODOS.....	11
2.1	Dados sobre Tráfegos Aéreos	11
2.2	Detecção Radar	12
2.3	Georreferenciamento das Ocorrências de Tráfego Aéreo e Seleção das Áreas e Imagens a Serem Utilizadas	12
2.3.1	Georreferenciamento das ocorrências de tráfego aéreo.....	12
2.3.2	Seleção das imagens das áreas a serem utilizadas	13
2.4	Pré-processamento das Imagens	17
2.4.1	Características das imagens geradas pelo sensor TM do satélite LANDSAT 5.....	17
2.4.2	Agrupamento de bandas	20
2.4.3	Correção atmosférica.....	20
2.4.4	Composição colorida	22
2.5	Classificação pelo Método Supervisionado <i>Maximum Likelihood</i>	23
2.6	Geração de Índice de Vegetação pelo Método NDVI	25
3	RESULTADOS	29
4	CONCLUSÃO.....	38

1 INTRODUÇÃO

A soberania nacional é dependente da capacidade de um país defender seu território, sendo que para isso é de fundamental importância a segurança de seu espaço aéreo. É notório que o contrabando, o tráfico e o descaminho se utilizam de meios aéreos, entre outros, para suas atividades ilícitas e que existem várias violações do espaço aéreo brasileiro por ano, que necessitam de constante vigilância.

Este trabalho visa analisar, em um ambiente hipotético plausível, uma metodologia que utilize dados de tráfegos aéreos, para ser empregada futuramente no assessoramento às tomadas de decisão mais adequadas ao combate de delitos que utilizem meios aéreos para adentrar, sair ou se movimentar no território nacional.

Para tanto, com base em informações sobre tráfegos aéreos, foram geoespacializadas, identificadas e quantificadas áreas, onde ocorrem esse tipo de eventos, por meio do uso de ferramentas computacionais de SIG (Sistema de Informações Geográficas), associado ao processamento de imagens de satélites, referentes a essas áreas. Como resultado, almejou-se descobrir e apontar a localização de pistas de pouso associadas às ocorrências de tais tráfegos por meio da interpretação visual das imagens.

Para a realização das experimentações e para auxiliar nas interpretações, foram utilizadas as ferramentas de processamento digital de imagens do software comercial **ENVI 4.3** e os recursos de geoespacialização do **ArcGIS 9.2**, gerando mapas temáticos, a partir de classificação supervisionada, com o método Maxver (*Maximum Likelihood* – Máxima Verossimilhança) e pela geração de índice de vegetação NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada).

Com o uso do **ArcGIS**, foram geoespacializados os vetores representativos dos tráfegos aéreos, de forma a permitir a realização das análises das características dos mesmos e possíveis áreas para a localização das pistas de pouso e decolagem que os atendam.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

2.1 Dados sobre Tráfegos Aéreos

Os dados dos tráfegos aéreos foram fornecidos pelo COMDABRA (Comando de Defesa Aeroespacial Brasileiro) na forma de tabelas, referentes aos dados coletados pelos operadores radar da FAB (Força Aérea Brasileira), contendo as seguintes informações: data da ocorrência, hora de início de detecção, coordenada de início, velocidade no momento da detecção, altitude e proa; hora do final da detecção, coordenadas, velocidade, altitude e proa.

Esses dados são produzidos pelos radares primários de defesa aérea, e o processo de detecção se dá da seguinte forma:

1. o próprio radar gera e emite ondas eletromagnéticas, classificadas pela sua frequência, na ordem aproximada de 1200 a 3100 MHz; e
2. as ondas eletromagnéticas emitidas que refletem na aeronave, retornam ao radar e, após processadas, fornecem dados de azimute e distância, sendo que em alguns casos, dependendo das capacidades e características desse radar, também são fornecidos dados de altitude e velocidade do alvo.

Dentro do sistema de controle de tráfego aéreo, existem, ainda, equipamentos que fornecem dados a respeito dos tráfegos a partir da recepção de sinais emitidos pela própria aeronave, IFF (*Identifier Friend or Foe*). Tais equipamentos são empregados com o objetivo de complementar e aumentar a precisão dos dados gerados pelos radares primários.

No entanto, os dados utilizados nesse trabalho foram extraídos dos radares primários que cobrem a área de interesse. Isso se deu uma vez que se quer simular um ambiente em que aeronaves realizem voos transnacionais ilícitos em áreas de fronteira entre o Brasil e os países circunvizinhos, uma vez que as aeronaves mal intencionadas não estariam colaborando com a sua detecção ao enviar dados de sua localização e de seus padrões de voo por meio de IFF.

Desta forma, consegue-se simular as condições reais de detecção e a qualidade dos dados gerados nessas situações e, assim, pode-se validar os métodos aqui apresentados como sendo aplicáveis aos trabalhos de análise na FAB.

Contudo, para fins de montagem do cenário hipotético a partir dos dados classificados empregados neste trabalho, não serão publicadas as reais localizações das ocorrências, para que se evitem interpretações errôneas quanto à natureza das mesmas, uma vez que elas se referem a tráfegos regulares que serão tomados como ilícitos para efeito de estudos e desenvolvimento de metodologia de análise.

2.2 Detecção Radar

A detecção do alvo somente é possível caso ele esteja dentro do alcance máximo não ambíguo do radar, que é dado em função de suas características, principalmente no que diz respeito à frequência, potência e ganho do receptor. Esses parâmetros não são o objetivo deste trabalho, sendo eles objeto de estudos de área específica nas Forças Armadas, denominada de Guerra Eletrônica.

Assim, quando o alvo, que estava sendo detectado, se afasta do radar a uma distância maior que a máxima de detecção, ele deixará de ser registrado. Assim como, se ele estiver encoberto por algum obstáculo, como por exemplo, o relevo, a detecção também não ocorrerá. Esta situação, denominada de “sombra radar”, se torna bem comum quando a aeronave estiver voando a baixa altitude, ou quando sair de um nível de voo superior para um mais baixo, ao iniciar seus procedimentos para pouso, deixando de ser detectada pelos radares primários, ficando sua vortação e detecção possíveis de serem realizadas apenas pelos dados fornecidos pelo IFF ou pelos radares de aproximação, quando estiverem presentes no aeródromo de destino.

2.3 Georreferenciamento das Ocorrências de Tráfego Aéreo e Seleção das Áreas e Imagens a Serem Utilizadas

2.3.1 Georreferenciamento das ocorrências de tráfego aéreo

Os vetores das ocorrências de tráfego aéreo foram representados graficamente como pontos de início e pontos de término das mesmas, ligados por uma linha contínua (arquivos .shp).

Os procedimentos realizados para a criação dos *shapes* de pontos foram os seguintes:

- 1°. as tabelas contendo os atributos foram digitadas no *software Excel*, sendo as coordenadas, que originalmente estavam no formato grau, minuto e segundo convertidas para o formato grau decimal por meio de fórmula adicionada ao *software*;
- 2°. foram selecionados os campos preenchidos, sendo então salvos no formato .DBF4; e
- 3°. no ArcCatalog, foram realizados os procedimentos para criação dos arquivos de *shape* de pontos a partir do arquivo salvo em .DBF4. Como sistema de coordenadas, foi adotado o SIRGAS 2000.

Para a criação dos *shapes* de linhas, procedeu-se da seguinte forma:

- 1°. foram repetidos os passos 1 e 2 dos procedimentos para a criação de *shape* de pontos e, no ArcCatalog, procedeu-se a criação de novo *shape* de linhas (*Polyline*), adotando-se o sistema de coordenadas SIRGAS 2000; e
- 2°. no ArcMap, foram adicionados os *shapes* de pontos e linhas produzidos anteriormente e, então, iniciou-se a edição do *shape* de linhas ao serem ligados dois pontos, de início e de término de detecção, referentes à mesma ocorrência.

Os vetores geoespacializados, que representam os tráfegos aéreos, possuem as seguintes características e simbologia (Figuras 01 e 02):

- ponto de início de detecção: triângulo vermelho na extremidade do vetor, representando o ponto de início de detecção por parte do radar;
- ponto de fim de detecção: ponto azul, representando o fim de detecção por parte do radar;
- trajetória: *shape* de linhas que ligam os dois pontos, considerando-se aqui que a aeronave descreveu um padrão de voo retilíneo do início ao final de sua detecção radar; e
- todas as ocorrências utilizadas no estudo contemplaram o período de 2008 a 2011.

2.3.2 Seleção das imagens das áreas a serem utilizadas

Para efeito de seleção das imagens, foi utilizada a grade de órbitas/ponto do satélite LANDSAT 5, sobreposta aos vetores representativos dos tráfegos aéreos (Figuras 01 e 02).

Foi inserido um *buffer* com raio de 40 km (Figura 01) em torno de todos os pontos de fim de detecção (pontos azuis), com o objetivo de definir as áreas de maior probabilidade para a

existência de pistas de pouso e decolagem, uma vez que os procedimentos para pouso, realizados por aeronaves de baixa performance, normalmente, não ocorrem em uma área com raio superior a essas dimensões. Aeronaves de baixa performance são aquelas movidas a hélice, normalmente não pressurizadas, que voam em altitudes inferiores a 10000 ft (3048 m).

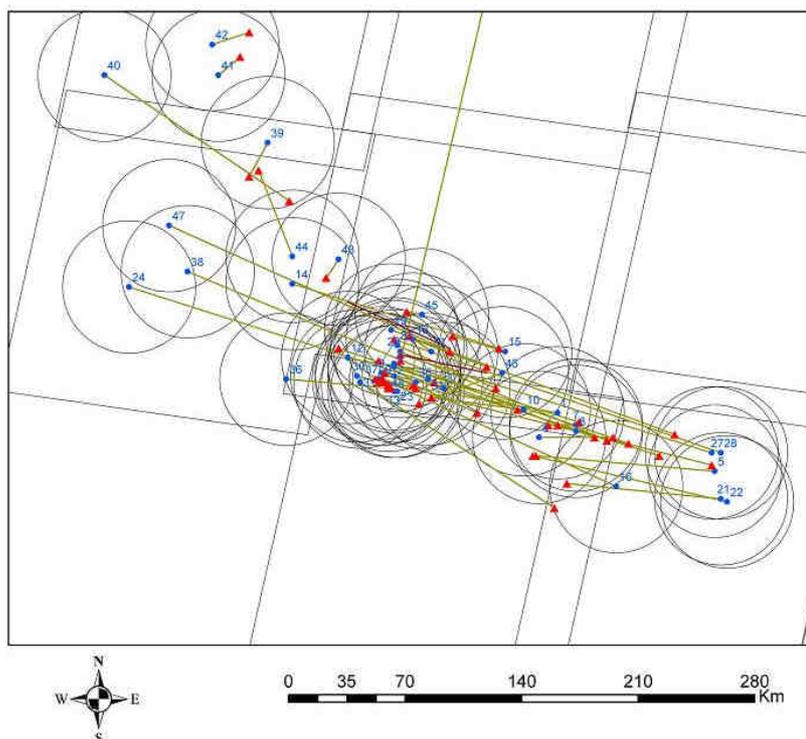


Figura 01 - Geoespacialização dos tráfegos aéreos com os seguintes elementos: triângulos vermelhos (pontos de início de detecção radar), pontos azuis (final de detecção radar), linhas (trajetória de voo do tráfego), círculos de 40 km de raio (*buffer*) e grade quadriculada (órbita/ponto do satélite LANDSAT 5).

Ao ser observada a figura 02, conclui-se que as órbitas do satélite LANDSAT 5, que contemplam as áreas de interesse, seriam aquelas representadas pelas letras A, B e C (Figura 02). Desta forma, foram pesquisadas imagens dessas três órbitas nos anos de 2008, 2009, 2010 e 2011, que representam o período das ocorrências.

Da mesma forma em que as áreas reais não estão sendo caracterizadas, as denominações das órbitas do satélite não foram aqui mencionadas, sendo substituídas pela codificação alfabética arbitrária acima apresentada.

As imagens de interesse, para os anos em que ocorreram os eventos de tráfego aéreo, foram encontradas no sítio do INPE.

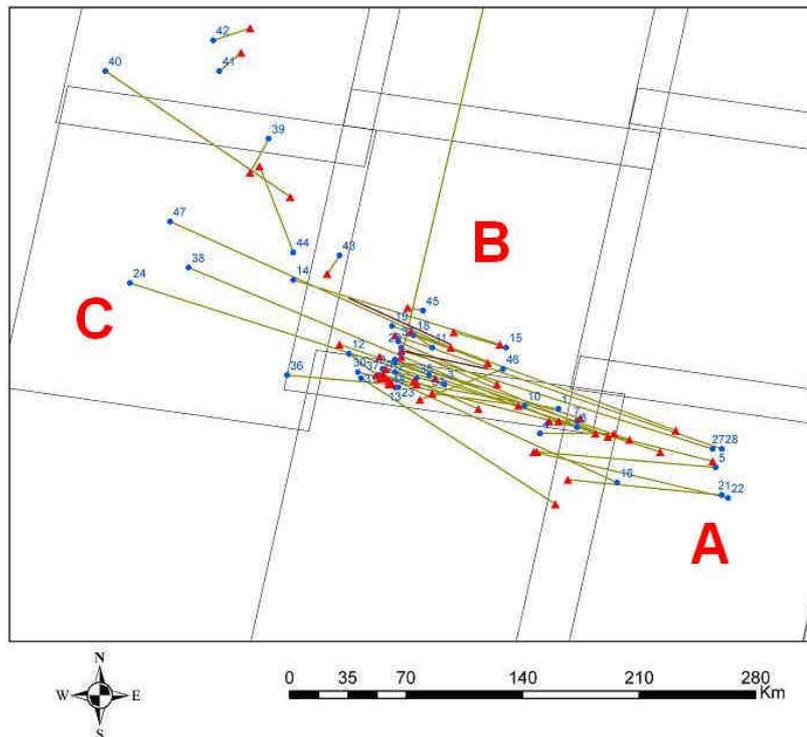


Figura 02 - Órbitas/ponto do satélite LANDSAT 5 (com codificação arbitrária) selecionadas em função das ocorrências de tráfego aéreo: A, B e C.

Após as análises de todas as imagens obtidas, foram selecionadas aquelas que possuíam uma relação sinal/ruído em que não houvesse prejuízo considerável nas características texturais da imagem. Foram descartadas, também, as imagens com uma grande porcentagem de cobertura de nuvens, o que dificultava a identificação de feições no terreno. Os ruídos presentes em imagens orbitais podem ser definidos da seguinte forma:

“As imagens podem conter erros aleatórios de pixels ou erros coerentes de linhas de pixels que, normalmente, se mostram como pixels ou linhas com valores saturados (claros), ou sem sinal (escuros). É reconhecido como um erro do valor digital do pixel. São denominados de ruídos e, tipicamente, esses ruídos espúrios e imprevisíveis são decorrentes de erros instrumentais. Nem sempre essas formas de ruídos são percebidas pelo analista, e por isso devem ser corrigidas, antecipadamente, nos laboratórios de produção de imagem, antes de serem distribuídas para o usuário. Quando isso não acontece cabe ao usuário processar a eliminação do ruído usando as opções de algoritmos que os software de processamento de imagem oferecem. Os ruídos, normalmente, se apresentam em três formas: como linhas ruidosas, pixels ruidosos ou conjunto sistemático de linhas ruidosas, que se denomina de *striping*.” (MENESES e ALMEIDA, 2012, p. 85)

No caso das imagens LANDSAT encontradas, o tipo de ruído predominante, que acabou por ser impeditivo para o seu uso, foi o *striping*. Conforme mencionado por Meneses e Almeida (2012, p. 215), o *striping* nada mais é do que um ruído sistemático que resulta no aparecimento

de faixas horizontais regularmente espaçadas com abruptas diferenças de níveis de cinza, resultando em uma aparência similar a uma persiana. Sua origem se dá quando alguns dos detectores do sensor, por algum motivo, ficam descalibrados. As suas respostas, em termos de valores de radiância, serão notavelmente diferentes para as linhas construídas por esse detector, em relação às outras linhas imageadas pelos outros detectores. (Figura 03).

As técnicas existentes para a correção desse tipo de ruído buscam utilizar os padrões válidos de um dos detectores e, mediante o uso de cálculos estatísticos, corrigir as linhas geradas pelos detectores ruins.

“Para a correção de *striping* é assumido que os detectores de uma banda produzam sinais estatisticamente similares, ou seja, que não mudem significativamente a sua média e desvio padrão dentro de um espaço equivalente às linhas imageadas pelo conjunto de detectores. Um dos detectores é escolhido como referência e a média (μ) e o desvio-padrão (σ) são calculados. As médias e os desvios-padrões de cada um dos outros detectores são linearmente ajustados aos valores do detector de referência. Por ser uma distorção severa, normalmente, o *striping* é corrigido nos laboratórios de produção de imagens.” (MENESES e ALMEIDA, 2012, p. 86).

No entanto, o nível de ruído *striping* encontrado em algumas imagens mostrou-se muito severo, sendo que neste caso optou-se por descartá-las, uma vez que os métodos de correção, quando aplicados, acabam por alterar os valores de reflectância presentes na matriz, o que pode resultar em processamentos equivocados.

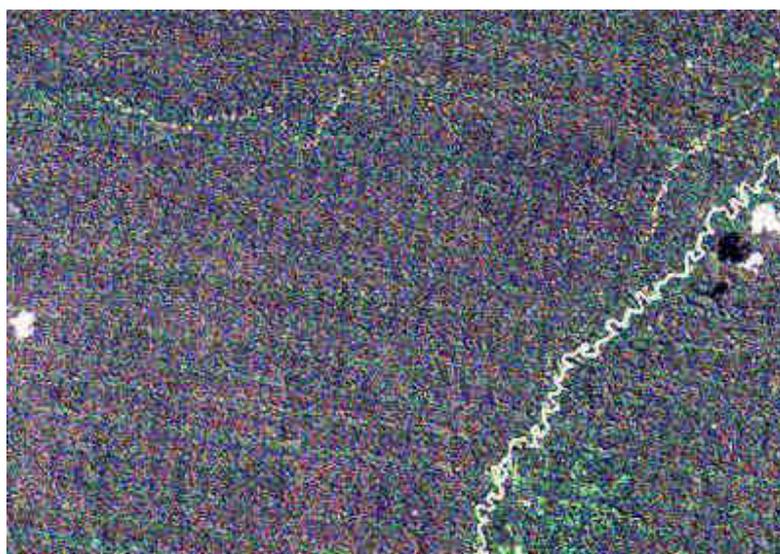


Figura 03 - Ruído *striping* presente em uma das imagens encontradas e que se apresenta em forma de persiana com faixas características.

Por fim, as imagens selecionadas foram as seguintes:

- Órbita A: LANDSAT_5_TM_01092008_A; LANDSAT_5_TM_05072010_A; e LANDSAT_5_TM_25082011_A.
- Órbita B: LANDSAT_5_TM_20062008_B e LANDSAT_5_TM_30092010_B.
- Órbita C: LANDSAT_5_TM_30062009_C; LANDSAT_5_TM_03072010_C; e LANDSAT_5_TM_22072011_C.

O satélite LANDSAT 5 revisita (observa) a mesma área a cada 16 dias, ou seja, possui uma resolução temporal de 16 dias, mesmo assim, observa-se que não foram obtidas imagens válidas para todas as datas de interesse em todas as órbitas (A, B e C): 2008, 2009, 2010 e 2011. Isso se deve ao fato do grande nível de ruído, conforme já explicado anteriormente, e à grande cobertura de nuvens nas áreas.

2.4 Pré-processamento das Imagens

2.4.1 Características das imagens geradas pelo sensor TM do satélite LANDSAT 5

As imagens do sensor TM do satélite LANDSAT 5 são fornecidas com 7 bandas espectrais, numeradas de 1 a 7, sendo que cada banda está posicionada em uma determinada faixa do espectro eletromagnético (Figura 04).

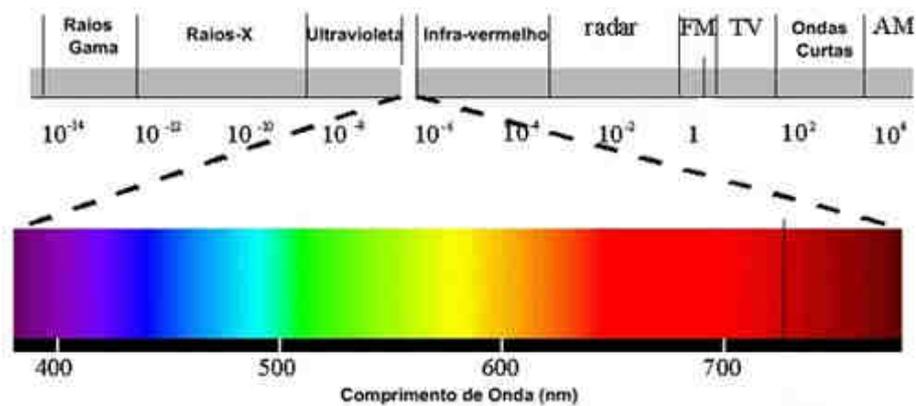


Figura 04 - Espectro eletromagnético com destaque para a faixa do visível. Em sensoriamento remoto, utilizam-se, ainda, as faixas de infravermelho e de radar.

A resolução geométrica das imagens nas bandas 1, 2, 3, 4, 5 e 7 é de **30 m**, isto é, cada "pixel" da imagem representa uma área no terreno de 900 m^2 . Para a banda 6, a resolução é de **120 m**, cada "pixel" representa 14400 m^2 , segundo site do INPE (2012).

As características das bandas estão presentes na tabela 01.

CARACTERÍSTICAS DO IMAGEADOR TM (LANDSAT 5)		
Bandas espectrais (µm)	0,45 - 0,52 (1) 0,52 - 0,60 (2) 0,63 - 0,69 (3)	Visível
	0,76 - 0,90 (4)	Infravermelho Próximo
	1,55 - 1,75 (5)	Infravermelho Médio
	10,4 - 12,5 (6)	Infravermelho Termal
	2,08 - 2,35 (7)	Infravermelho Distante
Resolução espacial (m)	30 m (multiespectral) 120 m (termal)	
Período de revisita	16 dias	
Largura da faixa imageada	185 km	

Tabela 01 - Principais características do satélite LANDSAT 5.

Para este trabalho, foram aproveitadas apenas as bandas de 1 a 5, uma vez que as bandas 6 e 7 possuem características pouco relevantes para a pesquisa, conforme abaixo:

- banda 6: “termal, apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água” (INPE 2012); e
- banda 7: “apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo obter informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Esta banda serve para identificar minerais com íons hidroxilas. Potencialmente favorável à discriminação de produtos de alteração hidrotermal” (INPE 2012).

Já as bandas selecionadas, de 1 a 5, apresentam características e destinações mais apropriadas ao objeto da presente pesquisa, que visa, principalmente, distinguir as feições de pistas de pouso e decolagem em ambiente de floresta. As características das bandas escolhidas de interesse a pesquisa são as seguintes, segundo site do INPE (2012):

- banda 1: sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides), contudo é muito atenuada pela atmosfera, o que pode vir a ser desfavorável para o estudo em função das características da área, que apresenta uma grande incidência de nebulosidade;
- banda 2: “apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade”;
- banda 3: “a vegetação verde, densa e uniforme, apresenta grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação e demais áreas (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta)”. É uma das bandas de maior relevância para a pesquisa em função do contraste entre a vegetação e outros materiais, conforme citado pelo INPE, uma vez que se quer definir pistas de pouso de terra, grama ou até mesmo pavimento em meio a florestas, ainda segundo o INPE “É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos”;
- banda 4: ocorre uma grande absorção de energia por parte dos corpos de água, ficando estes escuros na imagem, já a vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens e, ainda, apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas (dossel florestal), o que auxilia na definição de sua forma. Apresenta sensibilidade à morfologia do terreno, permitindo a obtenção de informações sobre Geomorfologia, Solos e Geologia. Serve para análise e mapeamento de feições geológicas e estruturais. Esta banda, juntamente com a banda 3, por suas características, são aquelas que mais contribuem para a definição dos alvos em meio a um ambiente de floresta e, conforme será explicado, uma composição colorida feita com elas mais a banda 5, gera uma imagem com boa definição e com um bom contraste entre os alvos de interesse; e
- banda 5: “Apresenta sensibilidade ao teor de umidade das plantas, servindo para observar estresse na vegetação, causado por desequilíbrio hídrico. Esta banda sofre perturbações em caso de ocorrer excesso de chuva antes da obtenção da cena pelo satélite”.

2.4.2 Agrupamento de bandas

Para facilitar as operações, todas as cinco bandas de cada imagem foram agrupadas em uma única imagem, para isso, foi utilizado um recurso presente no próprio **ENVI**, sendo este a ferramenta *New File Builder*. Com a caixa de diálogo da ferramenta aberta, importam-se as bandas a serem agrupadas, tomando-se o cuidado em ordená-las de forma crescente através da opção *Reorder Files*.

2.4.3 Correção atmosférica

Um dos maiores problemas encontrados nas imagens geradas remotamente por sensores localizados em grandes altitudes, sejam eles aeroembarcados ou presentes em satélites, diz respeito às alterações radiométricas da imagem por completo. “A fonte de erro dessa degradação ou distorção radiométrica é a atmosfera, cuja intensidade de efeitos é dependente do comprimento de onda, da data de imageamento e da trajetória da radiação” (MENESES e ALMEIDA, 2012, p. 87).

Conforme dito por Meneses e Almeida (2012, p. 87), as alterações na radiância provocadas pela atmosfera ocorrem quando ela atua como um refletor, adicionando valores de radiância extra ao sinal que é detectado pelo sensor. Quando ela atua como um absorvedor, acaba por atenuar a intensidade de energia que ilumina o alvo na superfície.

No primeiro caso, temos o que é denominado espalhamento atmosférico, quando as ondas eletromagnéticas provenientes das fontes de energia, normalmente o próprio sol, são refletidas ao encontrarem partículas em suspensão na atmosfera ou gases componentes da mesma. Essa reflexão redireciona as ondas, de forma que parte delas chegue ao sensor imageador, sem que entrem em contato com os alvos na superfície terrestre, criando um efeito aditivo. Dessa forma, a radiância medida pelo sensor é maior que a radiância real do material. O efeito aditivo é o que se denomina de *haze* e que reduz o contraste da imagem.

O efeito *haze* é dinâmico e dependente das condições atmosféricas, como por exemplo, variações devidas ao incremento de partículas de água em suspensão em função de mudanças das condições climáticas, que provocam, por consequência, um aumento no efeito do espalhamento atmosférico. De acordo com Meneses e Almeida (2012, p. 87), normalmente esse processo dinâmico é de rápida mutação. De acordo com as suas mudanças, haverá uma correspondente

variação na reflectância dos alvos localizados na superfície da terra. Quando mais acentuadas forem essas condições atmosféricas, mais prejudicada ficará a avaliação e interpretação das imagens geradas.

Com o intuito de corrigir as distorções radiométricas causadas pela atmosfera e, desta forma, melhorar as imagens selecionadas, após o agrupamento delas procurou-se aplicar alguma técnica de correção atmosférica.

Procedeu-se a conversão das mesmas para imagens de reflectância pelo método *Dark Subtract*, para tanto, foi empregada outra ferramenta presente no **ENVI**. Os procedimentos são os seguintes:

- na barra de ferramentas, selecionou-se *Basic Tools / Preprocessing / General Purpose Utilities / Dark Subtract*; e
- como método de subtração, optou-se por *Band Minimum* (Banda Mínima).

O método nada mais é do que o deslocamento de todo o histograma, de forma a que os menores valores de reflectância, extremidade esquerda da curva, atinjam o valor zero no eixo X. Com isso, busca-se suprimir os valores de radiância extra adicionados a imagem pelo espalhamento atmosférico (Figura 05), que acabam por causar às imagens uma aparência desfocada ou de névoa, devido à perda de contraste.

“Dentre as várias técnicas propostas, a correção atmosférica pelo uso do limite inferior dos valores digitais do histograma de cada banda, tem sido considerada a mais aceita. É assumido que cada banda da imagem deveria conter alguns pixels com valores próximos ou iguais a zero, cujas origens mais comuns seriam as áreas de sombras de relevo. Mas, devido aos efeitos do espalhamento atmosférico é adicionado um valor de brilho a todos os pontos da imagem, e as áreas sombreadas deixam de exibir pixels com valores zero ou bem próximos de zero. Consequentemente, se os histogramas de cada banda fossem analisados, os pixels com valores digitais mais baixos não seriam zero... Os histogramas aparecem deslocados da origem, sendo a quantidade de deslocamento proporcional ao inverso do comprimento de onda elevado à quarta potência, conforme prevê o espalhamento Rayleigh de uma atmosfera com espalhamento molecular.” (MENESES e ALMEIDA, 2012, p. 88).

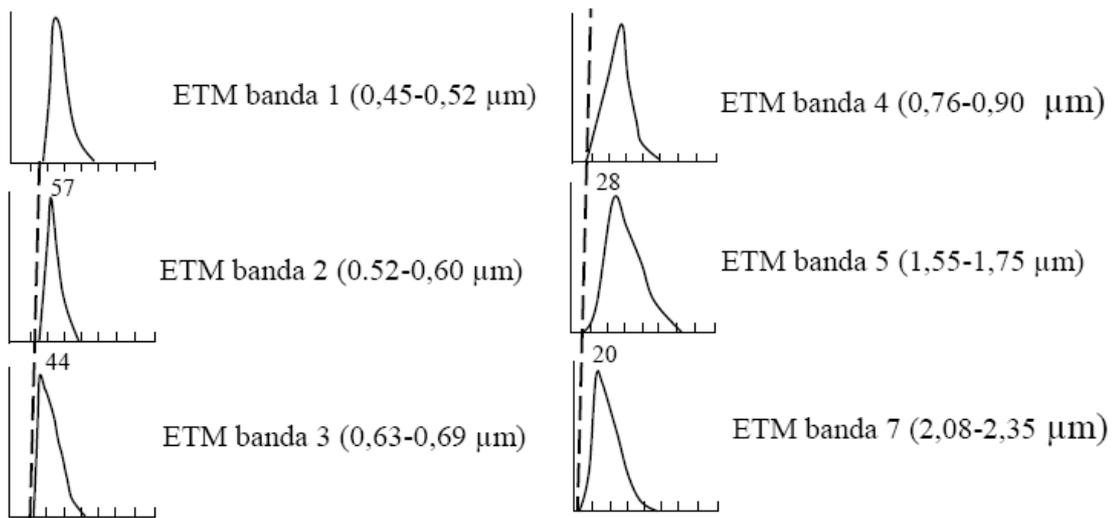


Figura 05 - Histogramas das bandas do sensor ETM com a indicação do valor digital que mede a quantidade de espalhamento atmosférico adicionada ao sinal.

FONTE - Extraído de Meneses e Almeida, 2012.

2.4.4 Composição colorida

Ainda no *software* ENVI, foram geradas composições coloridas RGB (*Red*, *Green* e *Blue*) das imagens do satélite LANDSAT 5 convertidas para reflectância, em passo anterior aqui descrito. As composições utilizadas para todas as imagens, para efeito de execução das análises, foram feitas com as bandas 3, 4 e 5, em virtude da maior diferença de reflectância apresentada entre os alvos de interesse: vegetação, que recobre a maior parte das áreas na região e pistas de pouso, sejam elas de grama, solo estabilizado ou pavimentadas.

A composição colorida RGB utilizada apresenta a seguinte ordem de construção: R (*Red*) para a banda 5, G (*Green*) para a banda 4 e B (*Blue*) para a banda 3. Tal estruturação para a composição RGB teve como objetivo destinar as cores mais sensíveis à visão humana, verde e vermelho, às bandas que possuem maior variância e, portanto, melhor contraste, sendo estas bandas: 4 (infravermelho próximo) e 5 (infravermelho intermediário). Já a cor azul, de menor sensibilidade para o olho humano, foi destinada à banda de menor variância, sendo esta a de número 3 (banda do vermelho) (Figura 06).

No entanto, para efeito de comparação, foram geradas composições com as bandas 3, 2 e 1 (Figura 06). O padrão de construção foi com a seguinte ordem de construção: R (*Red*) para a banda 3, G (*Green*) para a banda 2 e B (*Blue*) para a banda 1. Essa percepção proporcionada é a

que mais se aproxima das imagens visíveis pelo olho humano, uma vez que cada banda é designada ao seu real correspondente na escala de cores RGB (Figura 06).

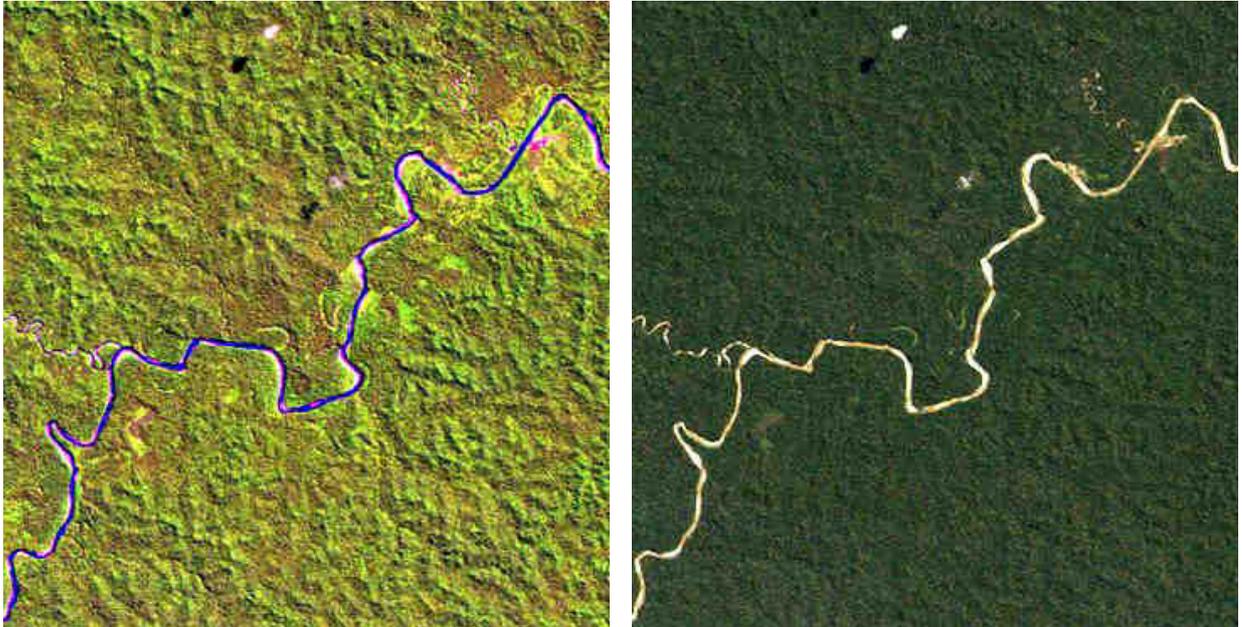


Figura 06 - A esquerda, composição colorida RGB 543, sendo a banda 5 representativa do infravermelho de ondas curtas, 4 infravermelho próximo e 3 banda do vermelho. A direita, composição 321, sendo 3 representativo da banda do vermelho, 2 banda do verde e 1 banda do azul.

2.5 Classificação pelo Método Supervisionado *Maximum Likelihood*

O classificador por Maxver (*Maximum Likelihood* – Máxima Verossimilhança) considera a ponderação das distâncias entre as médias dos valores dos pixels das classes, utilizando parâmetros estatísticos. Assume que todas as bandas têm distribuição normal e calcula a probabilidade de um dado pixel pertencer a uma classe específica (INPE, 2008).

Para a classificação pelo método supervisionado Maxver, procedeu-se a obtenção de ROI (Regiões de Interesse) por meio de coleta de polígonos nas imagens multitemporais das órbitas A, B e C do satélite LANDSAT 5.

As classes foram definidas em função da existência dos alvos aos quais elas se referem. Desta forma, observa-se, abaixo (Tabela 02), que para diferentes órbitas e, em alguns casos, para imagens da mesma órbita, existem categorias de alvos diferentes. Como exemplo, na órbita A têm-se dois tipos de solo: solo arenoso e solo exposto; já na órbita B, teremos três tipos de solo:

solo arenoso, solo exposto e solo 2 (solo misturado com composição orgânica). Outro caso a ser citado, diz respeito à presença de nuvens, quando ocorreram formações densas. Para elas foi criada uma classe evitando-se que a resposta espectral delas fosse equivocadamente classificada.

CLASSES	Solo Arenoso	Solo Exposto	Solo 2	Gramma	Mata	Pavimento	Água	Nuvem
ÓRBITAS/PONTO								
Órbita A								
LANDSAT_5_TM_01092008_A	Vermelho	Ciano	-	Amarelo	Verde	Preto	Azul	Branco
LANDSAT_5_TM_05072010_A	Vermelho	Ciano	-	Amarelo	Verde	Preto	Azul	-
LANDSAT_5_TM_25082011_A	Vermelho	Ciano	-	Amarelo	Verde	Preto	Azul	-
Órbita B								
LANDSAT_5_TM_20062008_B	Vermelho	Ciano	Marrom	Amarelo	Verde	Preto	Azul	-
LANDSAT_5_TM_30092010_B	Vermelho	Ciano	Marrom	Amarelo	Verde	Preto	Azul	-
Órbita C								
LANDSAT_5_TM_30062009_C	Vermelho	Ciano	-	Amarelo	Verde	Preto	Azul	Branco
LANDSAT_5_TM_03072010_C	Vermelho	Ciano	-	Amarelo	Verde	Preto	Azul	Branco
LANDSAT_5_TM_22072011_C	Vermelho	Ciano	-	Amarelo	Verde	Preto	Azul	Branco

Tabela 02 - Classes definidas para os alvos presentes nas imagens das três órbitas/ponto.

Empregou-se a ferramenta automática de classificação supervisionada Maxver para todas as oito imagens selecionadas e foi verificado que em relação aos métodos de classificação supervisionada, consegue-se obter uma boa classificação das áreas a partir de interpretação visual na imagem original (Figura 07), desde que os dados de ROI sejam bem coletados.

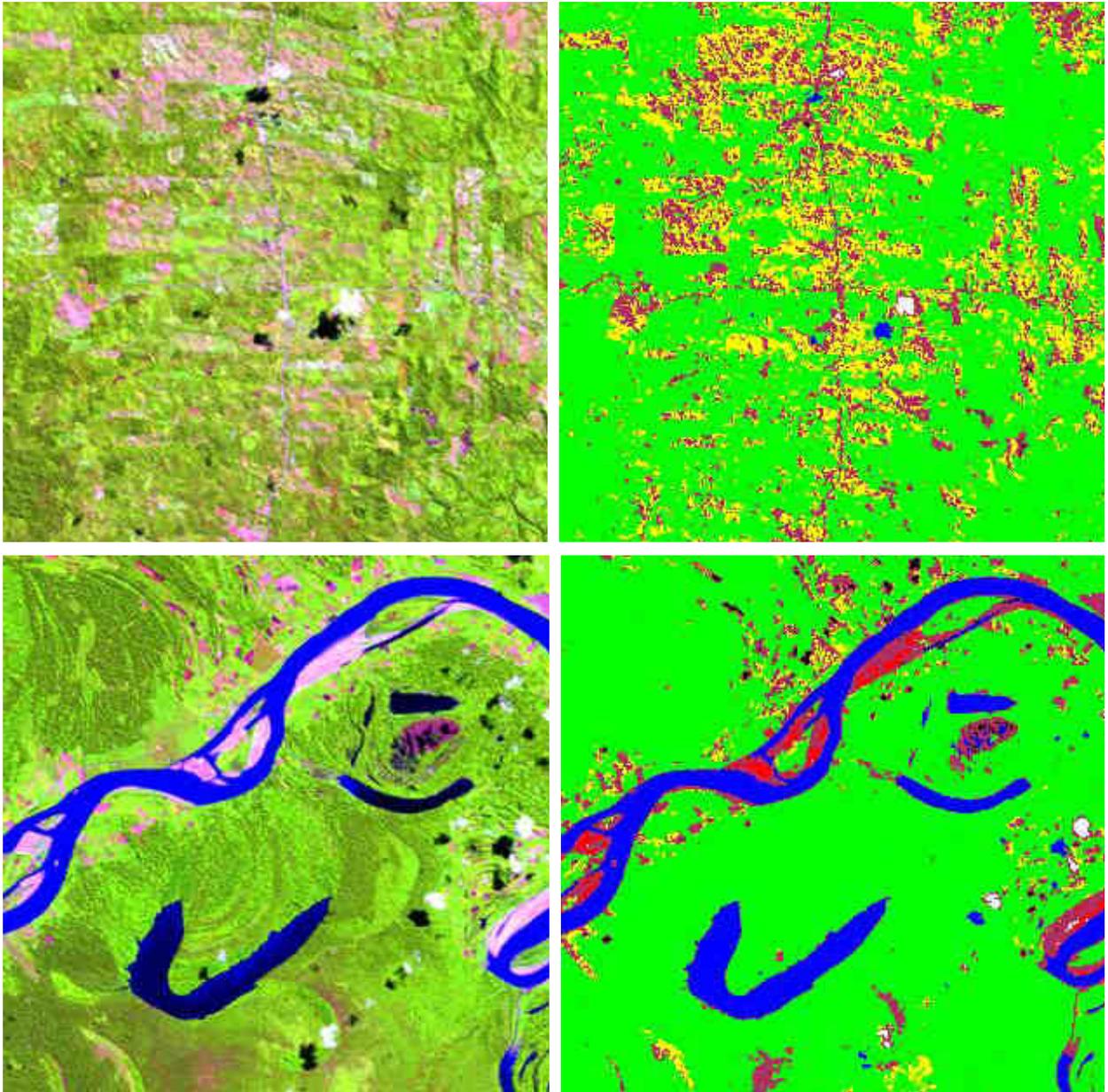


Figura 07 - As duas imagens da esquerda são recortes de imagem na composição RGB 543 da área de estudos, as imagens da direita são resultado da aplicação do classificador supervisionado Maxver.

2.6 Geração de Índice de Vegetação pelo Método NDVI

Outra técnica empregada para se tentar identificar melhor as feições das pistas no terreno foi a geração de índice de vegetação, principalmente devido ao fato de que a área de estudos é quase que totalmente coberta por vegetação. O método empregado foi o NDVI (*Normalized Difference Vegetation Index* – Índice de Vegetação por Diferença Normalizada).

Índices de vegetação nada mais são do que operações aritméticas entre as bandas de uma imagem multiespectral. Segundo Meneses e Almeida (2012, p. 139), “aritmética de bandas é uma das mais simples formulações algorítmicas de processamento de imagens e que pode ter resultados expressivos. A facilidade para executar as operações aritméticas de soma, subtração, multiplicação e divisão é uma notável demonstração das vantagens do uso de processamento de imagens multiespectrais”. Ainda, segundo os mesmos autores, “as operações de uso mais comuns são a divisão e a subtração, com reduzida aplicação para as operações de soma e multiplicação”.

Os processamentos que envolvem aritmética de bandas resultam em uma matriz de dados totalmente nova, suas aplicações são diversas. Normalmente o analista busca com esses procedimentos realçar algum tipo de característica de um grupo de alvos com respostas espectrais semelhantes. Além disso, segundo Meneses e Almeida (2012, p. 139), “normalmente a aritmética de banda acaba por suavizar imagens muito ruidosas”.

O NDVI é uma razão entre bandas, sendo a divisão entre o infravermelho próximo (banda 4 do sensor TM do satélite LANDSAT 5) e o vermelho (resposta espectral do visível, banda 3 do sensor TM do satélite LANDSAT 5). Na realidade, esse índice envolve a diferença e a soma entre essas bandas, conforme a fórmula abaixo:

NIR: Near Infra Red (Infravermelho próximo)

$$\text{NDVI} = \frac{\text{NIR} - \text{RED}}{\text{NIR} + \text{RED}}$$

Os resultados, que irão compor a nova matriz, definem que o valor de reflectância zero nas imagens originais, equivale a um valor igual a -1 na nova matriz, e o valor de reflectância 255 equivale a um novo valor igual a +1, sendo os demais valores distribuídos linearmente nesse intervalo. As imagens NDVI mostram as feições com tons de cinza, em que os tons de cinzas mais claros são das áreas com intensa cobertura vegetal, gradando para tons de cinza intermediários, conforme a cobertura vegetal diminui, até os tons de cinza escuros das áreas sem qualquer cobertura vegetal. As imagens NDVI proporcionam, neste caso, uma boa definição e nitidez das classes de alvos (Figura 08).

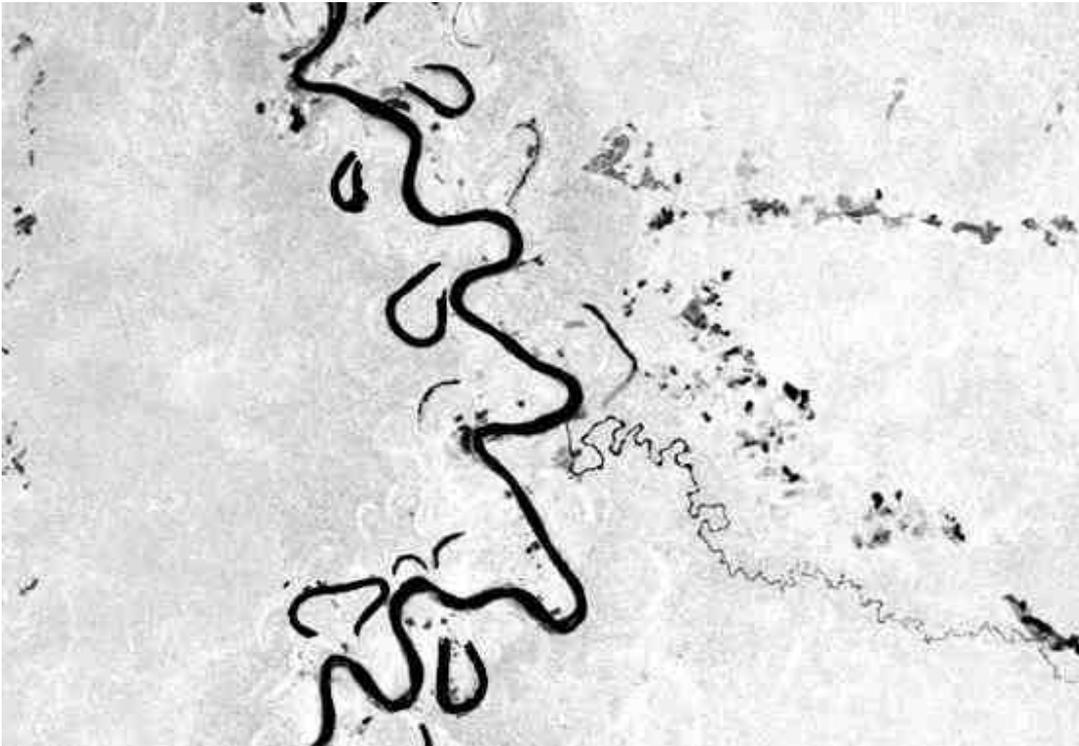


Figura 08 - Resultado da aplicação do índice de vegetação NDVI, onde pode ser observado o bom contraste resultante entre as seguintes categorias de alvos: vegetação (tons claros), água (tom escuro) e solo com vegetação rasteira (tons intermediários).

As aplicações mais comuns para o NDVI são as seguintes, conforme Meneses e Almeida (2012, p.149), “inúmeros trabalhos fizeram relação do NDVI com diversos aspectos da vegetação, tais como: medida de índice de área foliar, determinação da porcentagem de cobertura do solo, e estimativas da radiação fotossinteticamente ativa, que foram usados em vários modelos para estudos de fotossíntese e sequestro de carbono”.

Segundo Jensen (2009, p. 388), As vantagens do NDVI seriam as seguintes:

- “mudanças sazonais e interanuais no desenvolvimento e na atividade da vegetação podem ser monitoradas”, dessa forma, é possível comparar variações em uma mesma área devido a pouca influencia atmosférica na geração dos resultados; e
- “a razão reduz muitas formas de ruídos multiplicativos (diferenças de iluminação solar, sombras de nuvens, algumas atenuações atmosféricas e algumas variações topográficas) presentes em múltiplas bandas de imagens de múltiplas datas”.

Como desvantagens, Jensen (2009, p. 388) aponta o seguinte:

- sendo uma razão, é não-linear e pode ser influenciado pelos efeitos ruidosos aditivos;
- é muito sensível a variação do substrato sob o dossel, exemplo, solo sob o dossel.

O próprio **ENVI** possui uma ferramenta destinada a este tipo de processamento, sua operacionalização mostrou-se bem simples e fácil. A sequência de procedimentos resume-se ao seguinte:

- 1°. é carregada a imagem em *Open Image File*;
- 2°. na barra de ferramenta, em *Transform*, seleciona-se a ferramenta NDVI; e
- 3°. na caixa de diálogo, define-se quais são as bandas da imagem LANDSAT que se referem ao vermelho e ao infravermelho próximo, no caso seriam as bandas 3 (vermelho) e 4 (infravermelho próximo).

3 RESULTADOS

Conforme pode ser observado na Figura 09, os vetores que representam os tráfegos aéreos possuem um padrão de comportamento similar, todos estão orientados, aproximadamente, da proa 100° para a proa 280° e vice-versa.

Em uma análise superficial, poder-se-ia concluir que eles possuem origem e destino nos aeroportos internacionais ARW e CRW, localizados respectivamente nas áreas contidas nas órbitas A e C do satélite LANDSAT 5, conforme pode ser identificado na Figura 09.

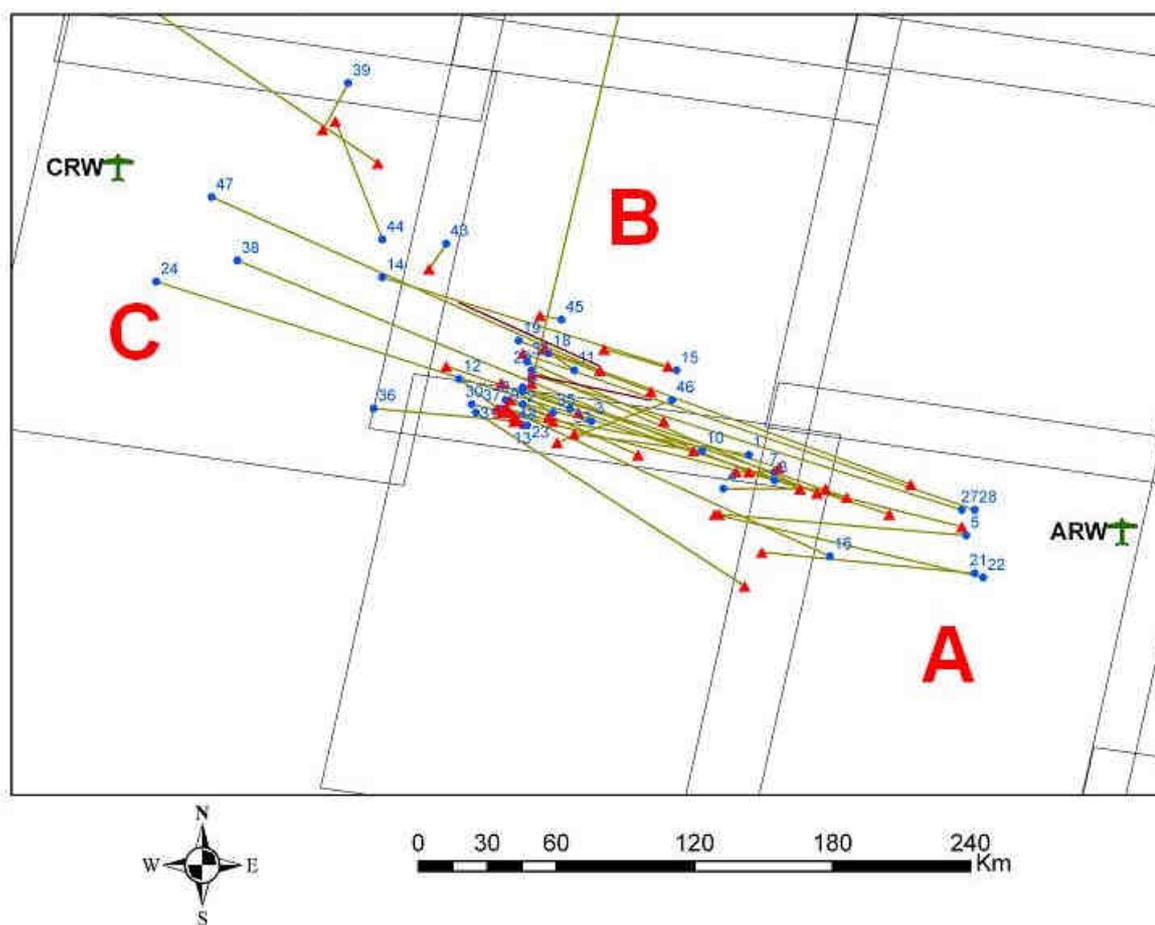


Figura 09 - Aeródromos ARW na órbita/ponto A e CRW na órbita/ponto C.

No entanto, observando-se melhor os vetores, percebe-se que alguns deles possuem ponto de início e de fim de detecção aproximadamente no meio do percurso entre os aeródromos ARW e CRW, ao sul da área pertencente à órbita/ponto B do satélite LANDSAT 5 (Figura 10). Isso

leva à suposição de que estes vetores possuem como destino ou origem algum aeródromo desconhecido até então e localizado nessa área.

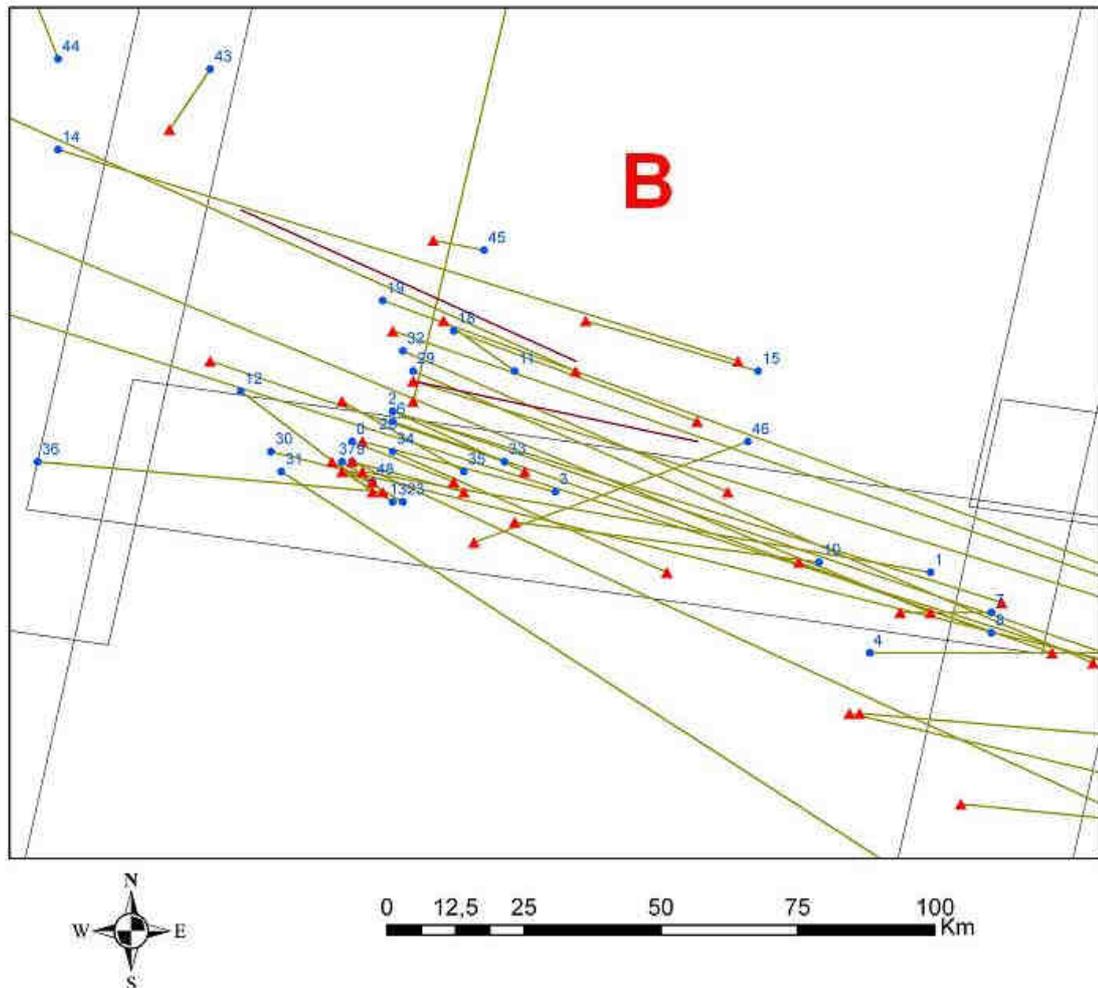


Figura 10 – Visão em zoom da órbita/ponto B onde pode ser vista ao sul a grande concentração de pontos de início de detecção (triângulos vermelhos) e pontos de fim de detecção (pontos azuis). Tal distribuição é indício da existência de pistas nesta região.

A partir desse raciocínio, partiu-se para a busca por pistas na órbita/ponto B. Mesmo assim, as buscas também foram realizadas em A e C para que se pudesse garantir que as únicas pistas existentes nessas áreas eram a ARW e a CRW. Após serem aplicadas as técnicas aqui propostas, nada mais foi encontrado nas áreas A e C, ficando a exploração, agora, direcionada à área de maior suspeita para a existência de pistas extras, órbita/ponto B.

Para tanto, conforme já mencionado em tópicos anteriores, buscou-se gerar mapas de uso ao ser aplicado o classificador Maxver e o índice de vegetação NDVI.

As classes empregadas nas duas imagens obtidas da órbita/ponto B (dos anos de 2008 e 2010) foram aquelas já apresentadas em item anterior (Tabela 02), sendo que todas as imagens que vierem a seguir possuem as mesmas classes indicadas no índice da Figura 11, que é um recorte feito na imagem do ano de 2008 para a órbita B.

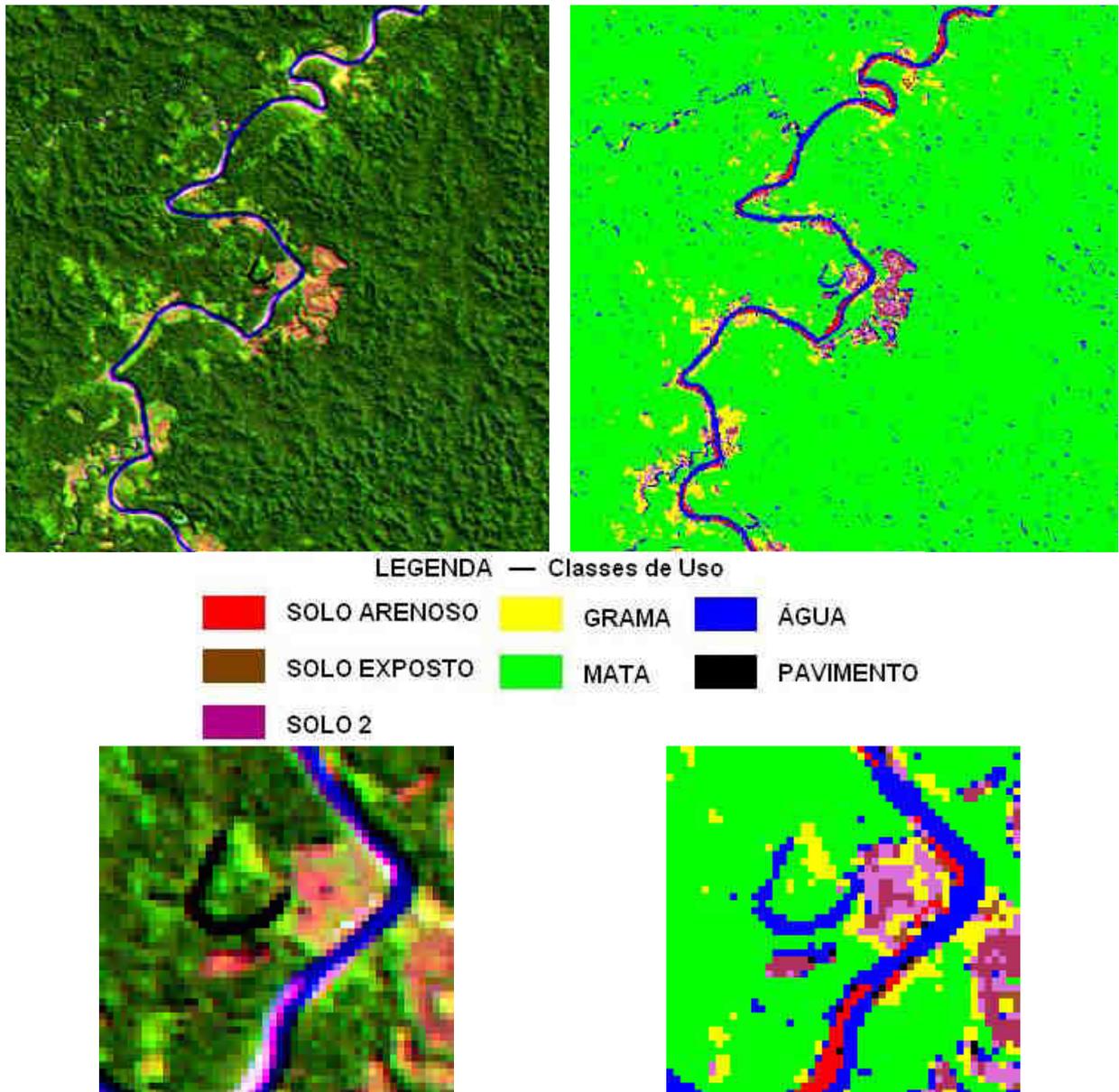


Figura 11 - As imagens à esquerda representam composição colorida RGB 543, as imagens da direita são resultado da classificação supervisionada Maxver com suas classes de uso codificadas com as cores indicadas na legenda.

Nos mapas temáticos gerados a partir da classificação Maxver, observa-se uma boa distinção entre alvos das seguintes categorias: mata, solo (de todas as categorias), pavimento e

água. Tal fato possibilita a identificação de pistas de pouso e decolagem em meio a áreas de floresta, ou em áreas em que o material dessas pistas tenha um grande contraste com o material da área circunvizinha, mesmo que a largura desses alvos seja inferior à resolução espacial do sensor TM do satélite LANDSAT 5 (30 metros). Isso ocorre porque as pistas possuem um comprimento de no mínimo 20 vezes a resolução espacial do sensor e, porque os pixels que as formam são resultantes da mistura da resposta espectral dos materiais componentes do alvo em questão e dos materiais do entorno, gerando, assim, um pixel mistura que acaba por distinguir-se da área vizinha.

Conseqüentemente, a forma dos alvos, representados nas imagens geradas, é retangular com grande comprimento e reduzida largura, normalmente com largura medindo um valor aproximado ao valor da resolução espacial do sensor, isso quando o alvo real tiver largura inferior a este valor, ou com valor maior, quando o valor real for também maior que a resolução espacial (Figuras 14, 15 e 16).

As pistas de pouso pavimentadas presentes em áreas urbanas, a exemplo daquela encontrada na área B (Figura 16), podem ser muito bem discriminadas do restante das construções vizinhas, isso se deve ao fato de que as pistas possuem dimensões consideráveis frente às dimensões das construções circunvizinhas, a exemplo do que ocorre com as pistas de qualquer material em meio a áreas de floresta. Outro motivo seria o fato de que as pistas possuem um padrão homogêneo de reflectância, sendo suas feições bem distinguíveis, já as construções próximas, constituindo áreas urbanas, não são bem classificadas, uma vez que os *pixels* são quase que na sua totalidade “*mixed pixels*”, resultantes da baixa resolução espacial do sensor frente as dimensão reduzidas das instalações urbanas, o que provoca a mescla dos padrões de reflectância das construções com o solo, com a vegetação e com outros alvos visinhos ao *pixel* de interesse. Esse fato gera, então, uma similaridade de resposta espectral entre a área urbana e esses alvos.

Sempre que se tentou coletar um maior número de amostras de ROI das pistas pavimentadas e áreas urbanas, ao gerar o processamento, a imagem apresentava erros de classificação, muitas vezes grandes áreas de solo exposto eram classificadas como área urbana ou pavimento, erro comprovado observando-se a imagem original e imagens de alta resolução espacial do Google Earth. Sendo assim, optou-se por não criar a classe “áreas urbanas”, devido à falta de *pixels* mais puros. Em conseqüência, todas as edificações, à exceção das pistas

pavimentadas, foram definidas pelo classificador como algum tipo de solo e as pistas pavimentadas não tiveram a sua distinção prejudicada, uma vez que, conforme já explicado, possuem resposta espectral homogênea e muito distinta do restante da área (Figura 12).

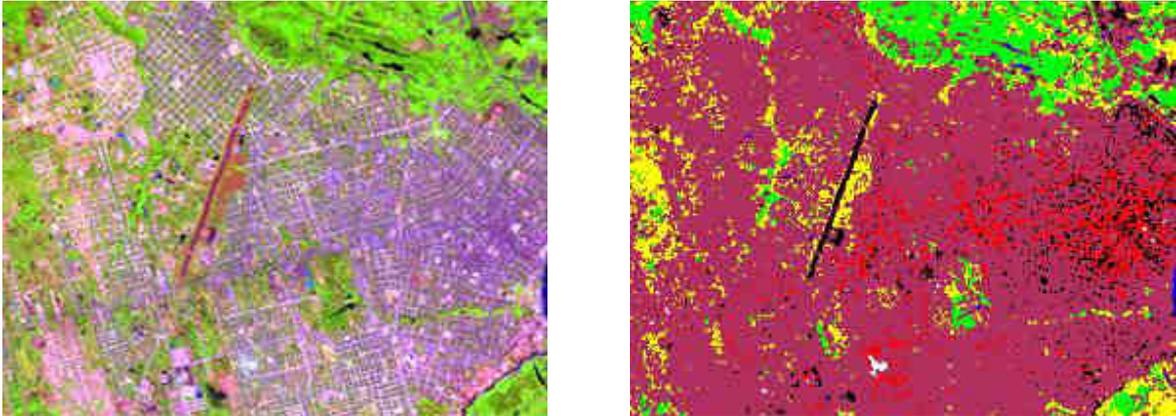


Figura 12 - Na imagem à esquerda, composição colorida RGB 543, pode-se visualizar uma pista de pouso em meio a uma área urbana; na imagem da direita, classificação supervisionada Maxver, observa-se a pista bem discriminada pelo classificador e codificada com a cor preta, já a área urbana foi classificada como sendo composta por dois tipos de solo, codificados com as cores marrom e vermelho.

Ao serem analisadas as imagens resultantes da geração de índice de vegetação, foi comprovado que este método auxilia muito na definição de feições de pistas em áreas de floresta e em áreas urbanas, devido ao alto contraste representado pelos índices calculados entre a vegetação e outros materiais como pavimentos, solo e água.

Contudo, o principal objetivo do uso do índice de vegetação neste trabalho, diz respeito à possibilidade de se visualizar pistas de grama em meio a florestas. Com o uso do classificador Maxver, tentou-se criar a classe “grama” para este fim, codificada com a cor amarela, conforme legenda da figura 11 e tabela 02, e foi observado que mesmo que o software classifique razoavelmente bem esta classe, não fica muito fácil definir feições compostas por grama. Já com o índice de vegetação (no caso o NDVI), as feições de áreas compostas por grama e/ou vegetação rasteira, ficam bem desenhadas em meio à floresta e, uma vez que na área de estudos não foram encontradas pistas de grama, apenas duas de terra e uma pavimentada (Figuras 14, 15 e 16), somente é possível pré-supor que elas seriam bem discriminadas, da mesma forma que se identifica bem áreas cultiváveis recobertas com diferentes tipos de vegetação em cada porção, conforme observado na Figura 13.

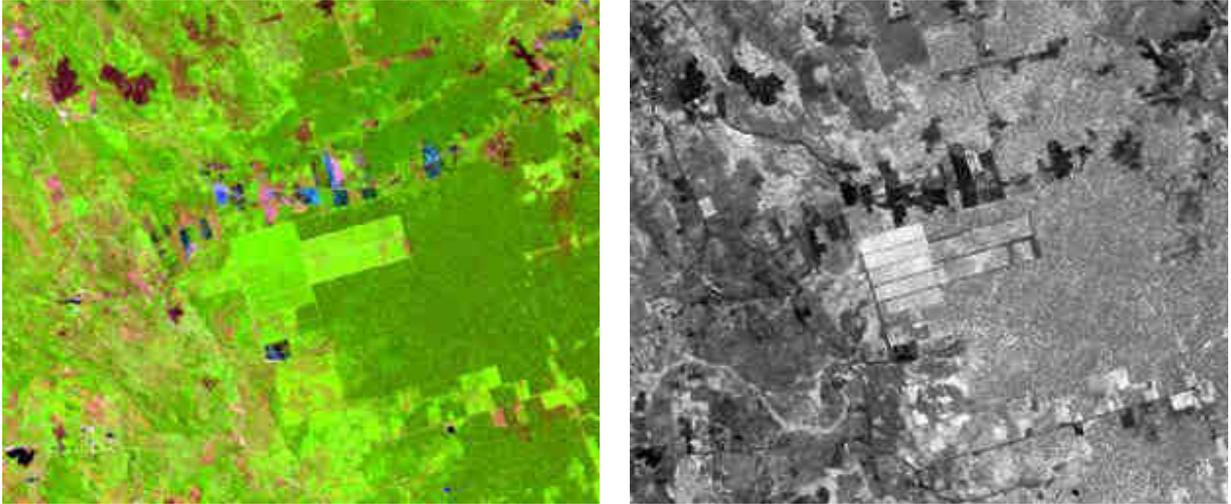


Figura 13 - A esquerda, imagem RGB 543 da área composta por diversos tipos de vegetação; imagem da direita, resultado da aplicação do índice de vegetação NDVI, em que é possível observar o bom contraste entre os tipos de vegetação e por consequência boa definição das feições das áreas recobertas por esses materiais.

Ao todo, foram encontradas três pistas na área referente à órbita/ponto B, sendo duas de terra e uma pavimentada (Figuras 14, 15 e 16). As pistas encontram-se exatamente na porção sul da imagem, coincidindo com o local em que foi observada a existência de muitos pontos representativos de início e final de detecção de tráfegos aéreos (Figuras 10).

Foi verificado que as pistas ficaram bem visíveis tanto na composição colorida 543, quanto nas imagens de uso e ocupação e de índice de vegetação NDVI. (Figuras 14, 15 e 16).

Entretanto, a imagem NDVI foi a que apresentou melhor contraste e, por conseguinte, melhor definição quando a forma, mesmo que sejam compostas por tons de cinza, que são menos perceptíveis à visão humana quando comparadas com as imagens RGB e aquelas representativas de mapa colorido de uso e ocupação. (Figuras 14, 15 e 16).

Contudo, nas imagens NDVI não é possível verificar o tipo de material que compõe as pistas, já as imagens resultantes de classificação de uso e ocupação serviram como auxílio na definição desse material, uma vez que os classifica com uma codificação de cores em função das classes que foram definidas. (Figuras 14, 15 e 16).

As imagens resultantes da composição colorida RGB 543 têm sua importância devido à melhor facilidade de se avaliar os alvos vizinhos às pistas, principalmente no caso de áreas urbanas, que ficam melhor definidas. (Figuras 14, 15 e 16).

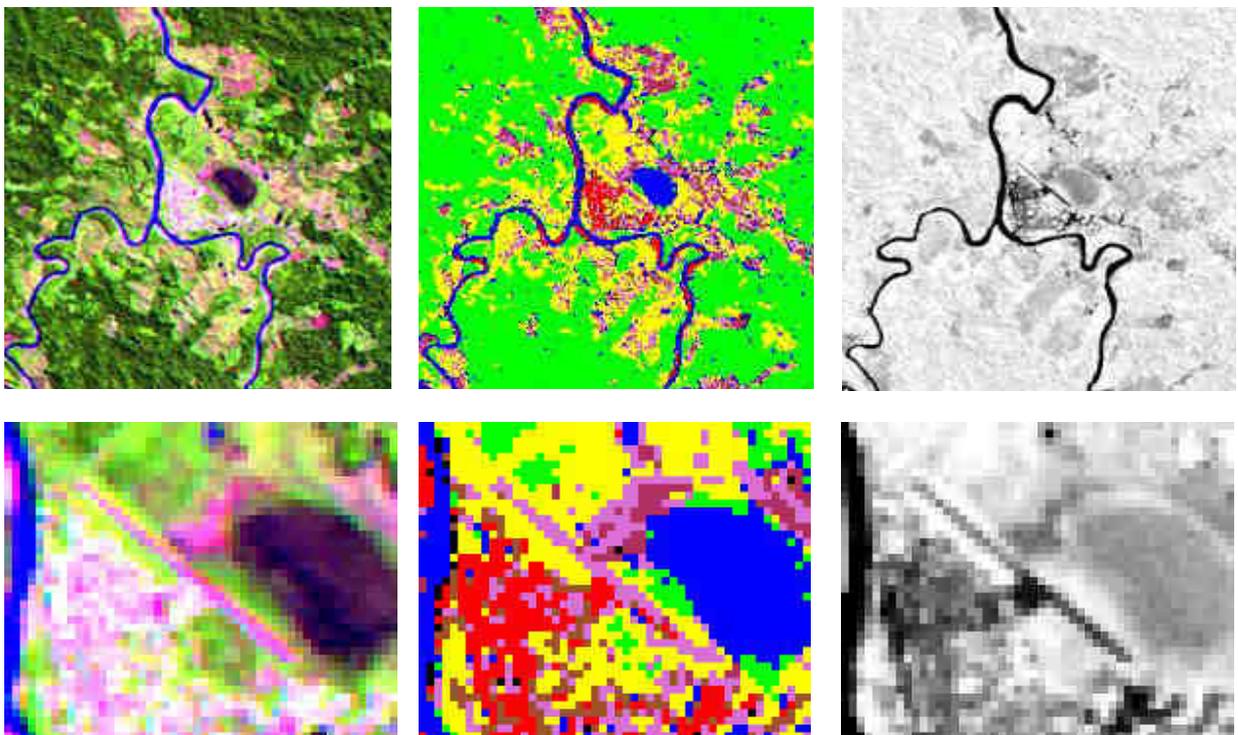
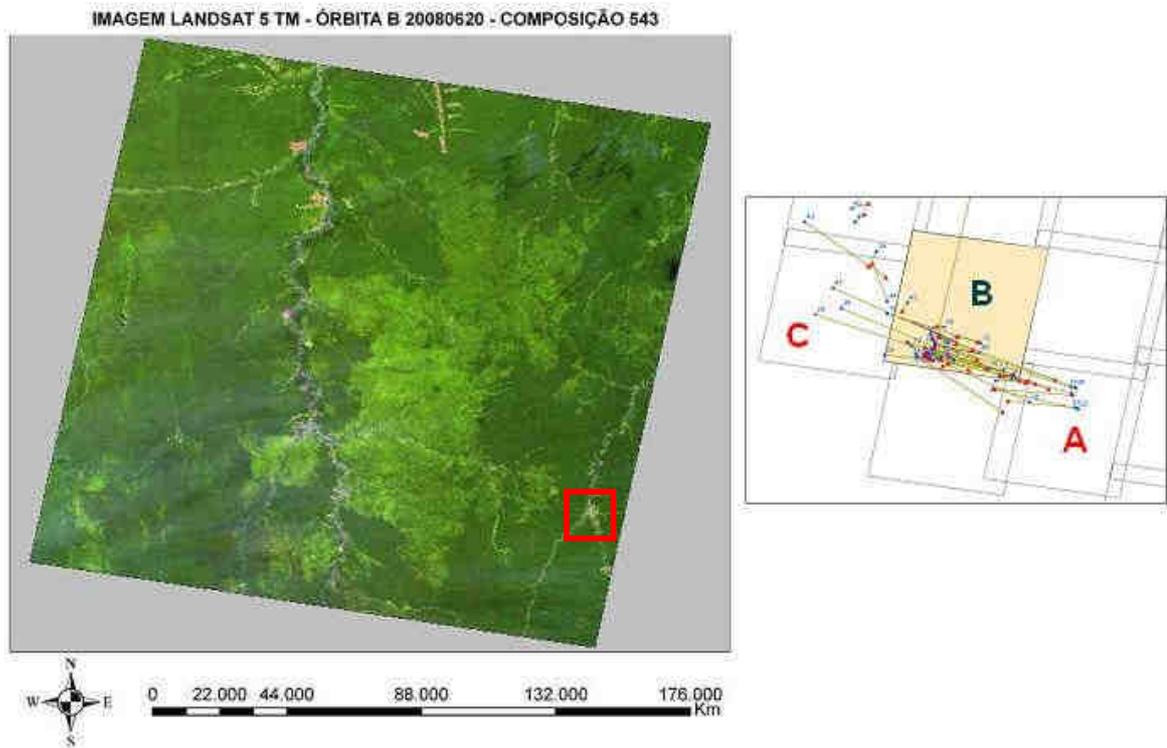


Figura 14 - Pista 01, de terra, encontrada a sudeste da imagem. As imagens da esquerda são resultado de composição colorida RGB 543, as do centro são resultado do classificador supervisionado Maxver e as imagens da direita foram geradas a partir da aplicação do índice de vegetação NDVI.

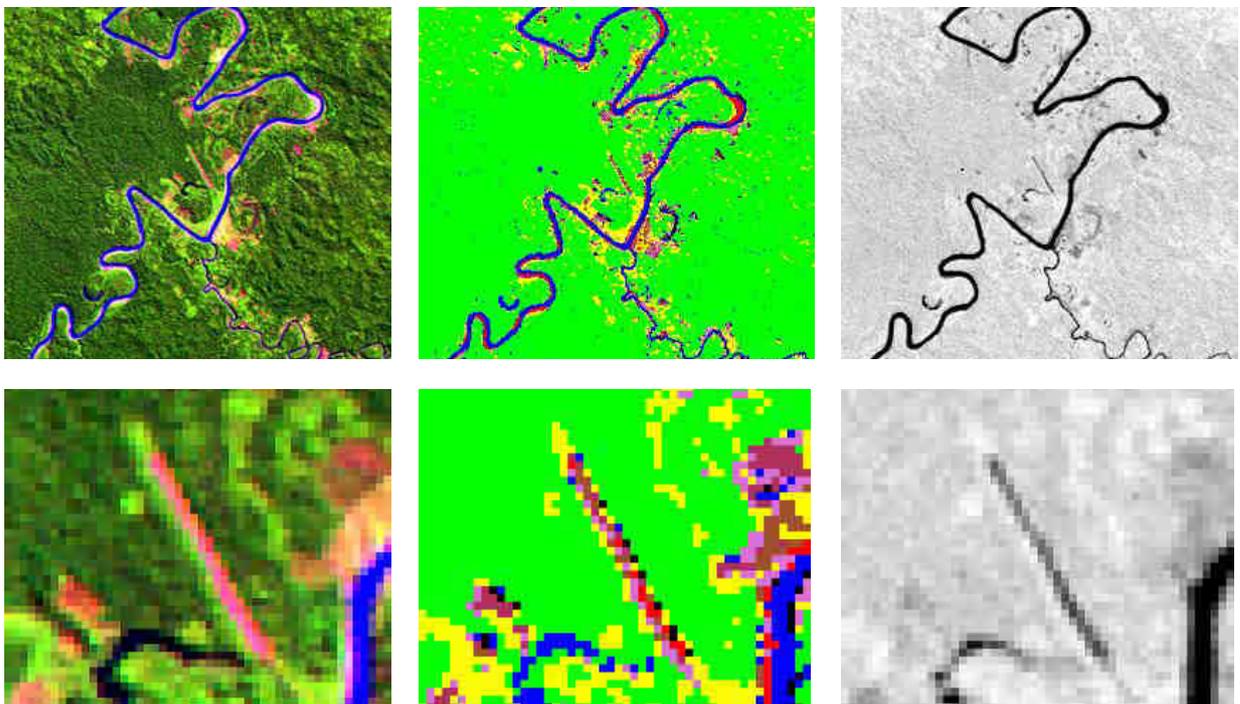
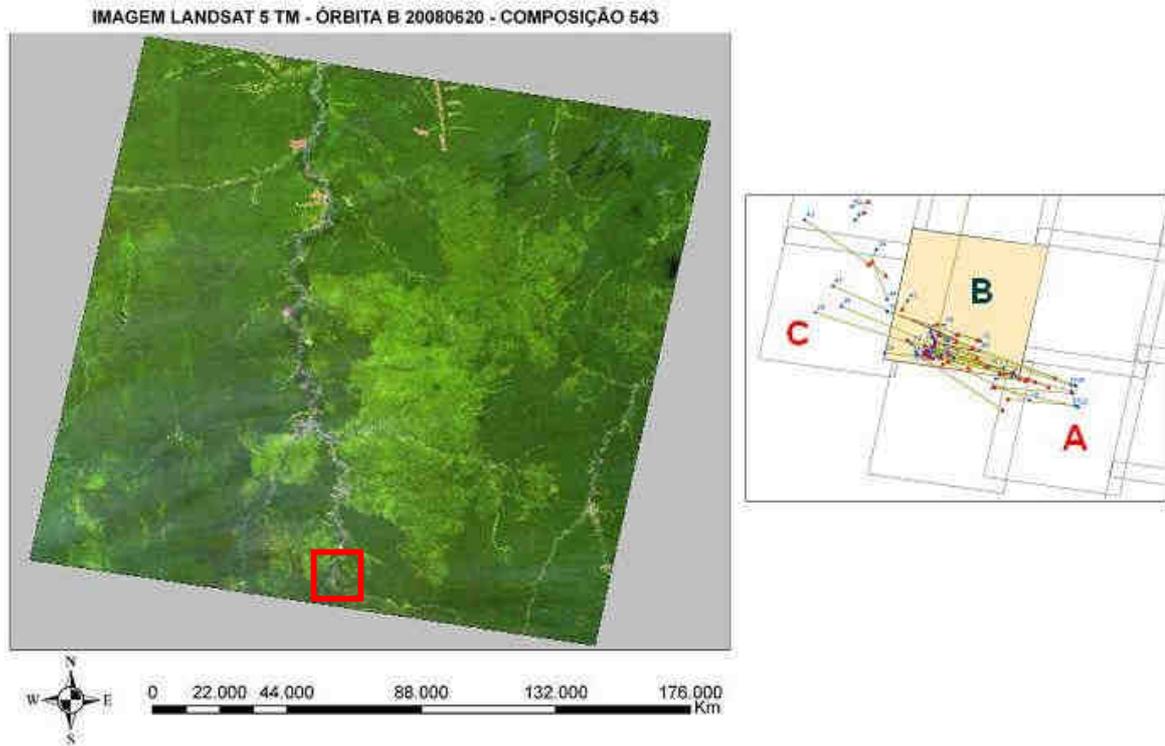


Figura 15 - Pista 02, de terra, encontrada ao sul da imagem. As imagens da esquerda são resultado de composição colorida RGB 543, as do centro são resultado do classificador supervisionado Maxver e as imagens da direita foram geradas a partir da aplicação do índice de vegetação NDVI.

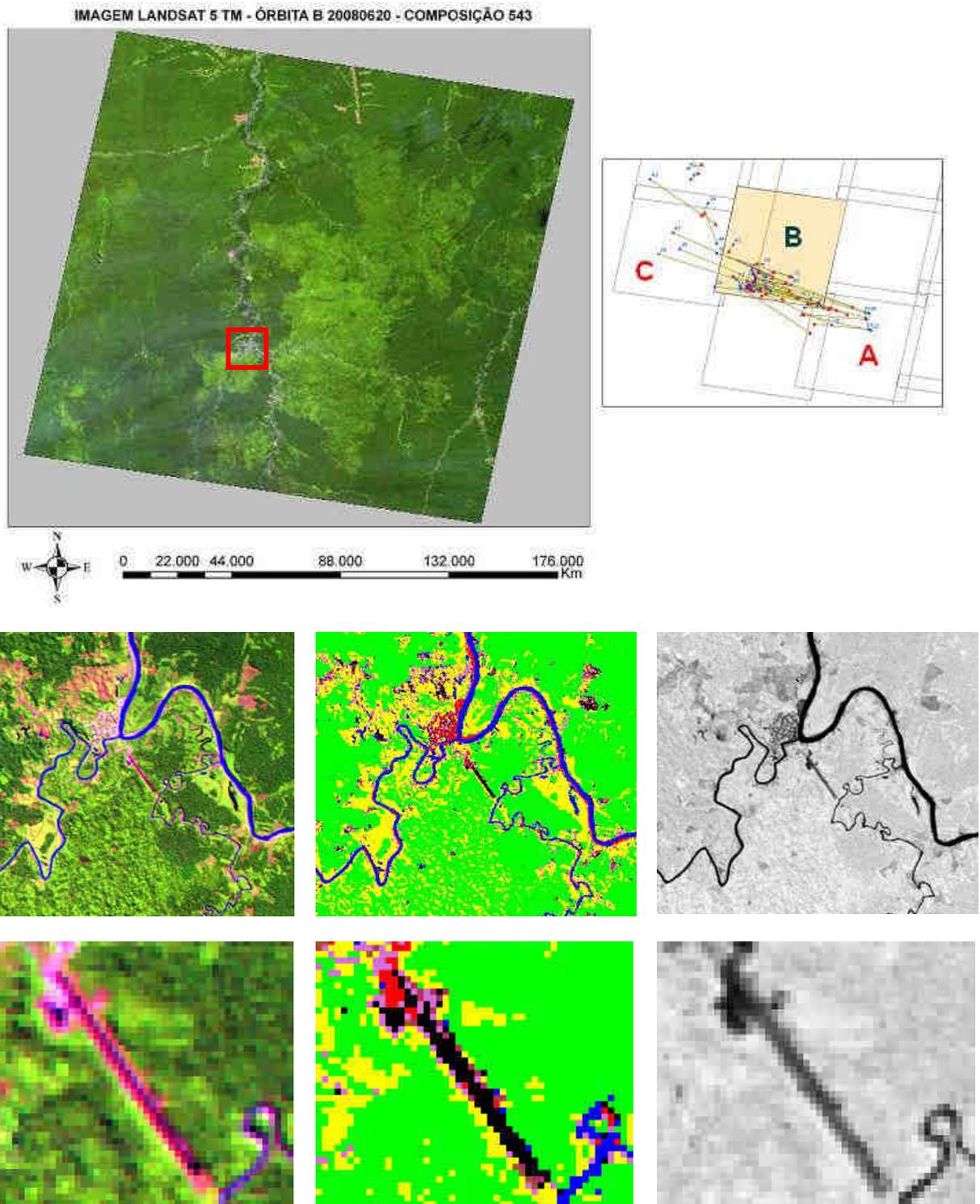


Figura 16 - Pista 03, pavimentada, encontrada no centro sul da imagem. As imagens da esquerda são resultado de composição colorida RGB 543, as do centro são resultado do classificador supervisionado Maxver e as imagens da direita foram geradas a partir da aplicação do índice de vegetação NDVI.

4 CONCLUSÃO

Praticamente todos os trabalhos existentes, que visem à localização de pistas de pouso e decolagem, empregam o processamento de imagens de radar, no entanto, essas imagens possuem um custo de aquisição alto, o que muitas vezes inviabiliza a realização desse tipo de projeto. Com este trabalho, foi possível demonstrar que é viável o uso de imagens compostas pelas bandas da faixa óptica e com resolução espacial de até 30 m, como aquelas geradas pelos sensores TM do satélite LANDSAT 5. As principais vantagens para a adoção dessas imagens, conforme já explanado, seriam as seguintes:

- baixo custo, sendo que na maioria dos casos essas imagens são gratuitas;
- facilidade de aquisição das imagens. Todas as que foram usadas neste trabalho foram baixadas da internet;
- boa resolução temporal, no caso do LANDSAT, conforme já mencionado, o tempo de revisita à mesma área é de 16 dias; e
- possui cobertura para todas as áreas do mundo, com disponibilidade de imagens para *download* no site do INPE para toda a América do Sul.

No que diz respeito à análise dos comportamentos dos tráfegos aéreos, fica evidente que é indispensável a sua execução, uma vez que a partir dela é que fica possível a definição de áreas suspeitas da existência de pistas e, dessa forma, ocorre um direcionamento para as buscas, evitando-se desperdício de recursos em explorações aleatórias ou desnecessárias. Conforme é observado nos resultados, a avaliação dos vetores representativos dos tráfegos aéreos permitiu uma análise que partiu do geral para o específico, quando, de uma área maior, composta por diversas órbitas/ponto do satélite, foi possível selecionar apenas uma, a qual continha de fato os alvos de interesse.

Quanto aos processamentos empregados, entende-se que a classificação através do método supervisionado Maxver é de grande utilidade para a criação de mapas de uso e ocupação, quando se quer mostrar e distinguir várias classes ao mesmo tempo em grandes áreas.

No entanto, foi verificado que o uso de imagens de média resolução espacial (de, pelo menos, 30 m), como as geradas pelo sensor TM do satélite LANDSAT 5, em conjunto com o

classificador Maxver, podem ser empregadas para auxiliar a identificação de pistas de pouso utilizando-se interpretação visual, considerando-se que as pistas estejam em um ambiente composto por materiais com resposta espectral contrastante. É o caso das pistas pavimentadas inseridas em ambientes de floresta, urbano ou descampado. O mesmo é válido para as pistas de terra em meio a um ambiente urbano ou composto por floresta. Não foram analisadas pistas de terra em ambiente descampado ou pistas de grama em regiões compostas por vegetação rasteira, sendo que nesses casos, não se sabe, ou não foram encontrados trabalhos que comprovem a viabilidade do classificador.

Adicionalmente, ficou evidente que o uso do classificador é indispensável, principalmente, em função da possibilidade de se definir os materiais componentes das pistas de pouso e decolagem.

O uso do índice de vegetação NDVI mostrou-se útil para auxiliar a discriminar as feições das pistas, tanto em ambiente de floresta quanto em ambiente urbano, quando são realizadas buscas visuais na imagem, tanto pela melhor definição de feições, quanto pela facilidade no seu uso. Também, as feições que definem áreas compostas por diferentes tipos de vegetação podem ser mais bem definidas com o índice de vegetação e, dessa forma, pode-se esperar que pistas de grama em áreas de vegetação possam ser discriminadas, conforme já explicado.

Sendo assim, todos os processamentos realizados nas imagens geraram produtos que se mostraram úteis como auxílios às interpretações, que resultaram na descoberta de três pistas na área suspeita. Da mesma forma, as imagens derivadas de composição colorida RGB também possuem sua validade, por permitirem o reconhecimento de alvos presentes nos arredores das pistas e que não ficam bem definidos com o uso das técnicas de processamento aqui utilizadas, como é o caso das áreas urbanas.

Todas as imagens geradas pelos processamentos descritos nesse trabalho visaram, conforme foi dito anteriormente, auxiliar o processo de interpretação visual das áreas de interesse. Seria oportuno para trabalhos futuros um estudo para o desenvolvimento de ferramentas computacionais para a automatização do reconhecimento de feições inerentes a pistas de pouso, correlacionando-as às respostas espectrais específicas de cada categoria de aeródromo conhecida.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Divisão de Geração de Imagens. Os Satélites LANDSAT 5 e 7. Disponível em: <http://www.dgi.inpe.br/Suporte/files/Cameras-LANDSAT57_PT.php>. Acesso em: 22 de novembro 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS (INPE). Manuais: tutorial de geoprocessamento. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/manuais.html>. Acesso em: 10 de novembro 2012.

MENESES, P R; ALMEIDA, T. Distorções e Correções dos Dados da Imagem. In: MENESES, P R; ALMEIDA, T. *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*, Brasília, 2012, capítulo 6.

MENESES, P R; ALMEIDA, T. Aritmética de Bandas. In: MENESES, P R; ALMEIDA, T. *Introdução ao Processamento de Imagens de Sensoriamento Remoto*, Brasília, 2012, capítulo 9.

JENSEN, John R. *Sensoriamento Remoto do Ambiente*. 2 Edição, São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009, 598 p.

MOREIRA, M A; *Fundamentos do Sensoriamento Remoto e Metodologias de Aplicação*. 2 edição, Viçosa: UFV, 2003, 307 p.