

**MINISTÉRIO DA EDUCAÇÃO
UNIVERSIDADE FEDERAL DE MATO GROSSO DO SUL
CENTRO DE CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLOGIA**

**ESTUDO DE CASO: UTILIZAÇÃO DO SATÉLITE CBERS 2 PARA
CARACTERIZAÇÃO DA COBERTURA DO SOLO NA BACIA HIDROGRÁFICA
DO RIO SERROTE, MS.**

MAURÍCIO STEFANES

Dissertação submetida ao Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia - CCET, como requisito parcial à obtenção do título de Mestre em Saneamento Ambiental e Recursos Hídricos.

Orientador: Prof. Dr. Antonio C. Paranhos F^o

CAMPO GRANDE – MS. Dezembro de 2005

U.F.M.S.

APRESENTAÇÃO

Este trabalho foi desenvolvido no Programa de Pós-graduação em Tecnologias Ambientais do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, sob orientação do Prof. Dr. Antonio Conceição Paranhos Filho do Departamento de Hidráulica e Transportes do Centro de Ciências Exatas e Tecnologia da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul.

AGRADECIMENTOS

A conclusão e o sucesso na realização de um trabalho depende, muito da determinação e superação dos obstáculos do dia-a-dia, bem como das contribuições dos mestres, amigos e familiares. E foram muitas e, de várias formas as contribuições para a realização deste estudo. Por isso e para não correr o risco de cometer injustiças, preferi não fazer citação nominal direta nestes meus sinceros agradecimentos.

A minha gratidão:

Às instituições SEMA/IMAP-MS e Idaterra-MS, pelo apoio estrutural, quando da realização deste trabalho;

Ao Projeto Base Digital da Bacia Hidrográfica do Rio Ivinhema – MS (IMAP-MS/MMA) do Programa Nacional do Meio Ambiente (PNMA II);

Aos colegas de trabalho do IMAP-MS pelas sugestões, apoio e subsídios em várias fases do estudo;

Aos recentes colegas estagiários, que além do trabalho árduo contribuíram com idéias críticas;

Aos meus professores, que cumpriram com afinco a sua missão de ensinar e instigar para o aprendizado;

Aos colegas de turma, que em muito me ajudaram, no cumprimento dos créditos e por terem tornando cada disciplina, em geral muito prazerosa.

Ao meu orientador neste trabalho, que foi mestre quando ensinava, cobrou quando avaliava e amigo quando eu precisava.

À minha família, que me realiza como filho e irmão.

À minha namorada pelo apoio e compreensão.

À minha sábia Mãe, primeira orientadora de vida.

SUMÁRIO

Lista de figuras	i
Lista de tabelas	ii
Resumo	iv
Abstract	v
1. INTRODUÇÃO	01
2. OBJETIVOS	04
3. ÁREA DE ESTUDO.....	05
4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	07
4.1. Histórico	07
4.2. Sistema de Informações Geográficas – SIG.....	08
4.3. Sensoriamento Remoto	09
4.3.1. As respostas espectrais do mesmo alvo	10
4.4. Descrição geral dos satélites	13
4.4.1. China-Brazil earth resources satellite - CBERS 2.....	13
4.4.2. Land remote sensing satellite – LANDSAT	16
4.4.3. Principais Aplicações do Landsat	16
4.5. Comparação de satélites comerciais.....	19
4.6. Legenda de Cobertura do Solo.....	20
4.6.1. Nomenclatura CORINE	21
4.6.2. Legenda de uso da terra IBGE e CORINE no Brasil	24
4.6.3. Exemplo de uso da quarta classe do CORINE.....	24
4.7. Conceituação de Geotecnologia.....	25
5. ASPECTOS LEGAIS AMBIENTAIS	26
5.1. Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997 (BRASIL, 1997)	26
5.2. Decreto federal 4.297, de 10 de julho de 2002 (BRASIL, 2002).....	26
5.3. Código Florestal Brasileiro (BRASIL, 2001)	27
5.3.1. Área de preservação permanente – APP (BRASIL, 2001)	28
5.3.2. Área de reserva legal – RL (BRASIL, 2001)	29
6. MATERIAIS E MÉTODOS.....	30
6.1. Montagem do Sistema de Informações Geográficas -SIG	30
6.1.1. O programa Arc View 3.2 (ESRI, 1998).....	30
6.2. O programa Erdas Imagine 8.6 (ERDAS, 2002).....	31
6.3. Composição e ajustes de cores das imagens	32
6.4. Georreferenciamento, Sistemas de Projeção, Coordenadas e Datum utilizados	33
6.5. Composição e georreferenciamento das cenas Landsat 7 e CBERS 2/CCD/IRMSS	32
6.6. Scanerizações da Base Cartográfica de referência	36
6.7. Dados Vetoriais da base Cartográfica de referência	38
6.8. Escolha e aquisição das imagens	39
6.9. Dados do Programa Geocover da NASA/USA (NASA, 2004)	42
6.10. Classificação das imagens de satélite.....	45
6.10.1. Classificação da imagem Landsat 7 ETM+ (LANDSAT, 2002)	45
6.10.2. Classificação da imagem CBERS 2/CCD (CBERS, 2004).....	46
6.10.3. Utilização de imagens do sensor CCD fusionadas às bandas IRMSS do CBERS 2	48
6.11. Legenda do projeto CORINE - Legenda utilizada	50
6.12. Imagens de radar utilizados como dados complementares	50
7. RESULTADOS E DISCUSSÕES	52
7.1. Imagem Landsat 7 utilizada como referência para análise das aplicações básicas do CBERS 2/CCD	52

7.2	Ruídos resultantes do imageamento.....	53
7.3	Comparação das assinaturas espectrais.....	55
7.4	Classificação da imagem CBERS 2/CCD pelo método não supervisionado	61
7.5	Classificação da imagem CBERS 2/CCD pelo método supervisionado	64
7.6	Classes de coberturas obtidas.....	71
7.7	Resolução Espacial	79
7.8	Resolução espectral.....	81
7.9	Análise de dados	83
8.	CONCLUSÕES	86
9.	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	90

Lista de figuras

Figura 1: Localização Geográfica da bacia hidrográfica do Rio Serrote.	06
Figura 2: Modelo para ilustração de assinaturas espectrais.....	11
Figura 3: Composição falsa cor com infravermelho.	12
Figura 4: Aplicações das bandas da Câmara CCD do satélite CBERS 2.....	15
Figura 5: Esquema teórico para a construção da Legenda CORINE.	22
Figura 6: botões e ferramentas adicionais (em vermelho) do Arc View 3.2.....	30
Figura 7: Barra de ferramentas do Erdas Imagine 8.6 (ERDAS 2002).	31
Figura 8: Deslocamento da banda pancromática.	34
Figura 9: Destaque da ferramenta <i>Band combinations</i>	36
Figura 10: <i>Subset</i> da bacia do Rio Serrote.....	38
Figura 11: Base vetorial cartográfica oficial (DSG, 2004) demonstrando vetores de rios e curvas de nível em formato vetorial.....	39
Figura 12: Tela de cadastramento da Divisão de Geração de Imagens.....	40
Figura 13: Tela do catálogo de imagens CBERS 2.	41
Figura 14: Imagem <i>Geocover</i> usada como base para georreferenciamento.	43
Figura 15: Visualização do <i>Geocover</i> usada como base para georreferenciamento.	44
Figura 16: Classificação não supervisionada de imagem Landsat 7 ETM+.	46
Figura 17: Reconhecimento, registro fotográfico e localização geográfica a campo de feições mapeáveis.....	47
Figura 18: Modelo digital de elevação (DEM).	51
Figura 19: Comparação entre imagens Landsat 7.	52
Figura 20: Bandas da faixa do visível do CBERS 2/CCD.	53
Figura 21: Bandas 4, 5 e 2 respectivamente, para canais RGB, evidenciando que é possível dirimir os ruídos.	54
Figura 22: Gráfico comparativo das respostas espectrais do Landsat 5 e CBERS 2.....	57
Figura 23: Composição CBERS 2/CCD RGB 4:3:2. e 4:5:2	58
Figura 24: Composição RGB 4:3:2 do Landsat 7 e composição RGB 4:5:3 falsa cor do Landsat 7 ETM+ destacando a vegetação nativa em vermelho intenso.	58

Figura 25: Comparação de imagens Landsat e CBERS 2 em composição RGB 3:4:2.....	59
Figura 26: (A) RGB 3:4:2 e 24 (B) RGB 5:4:2 ambas composições para cor natural do CBERS 2/CCD.....	60
Figura 27: Landsat 7 para RGB 3:4:5 e 22 (B): CBERS 2 para RGB 5:4:2.	60
Figura 28: A classificação não supervisionada da imagem CBERS 2/CCD.	62
Figura 29: Classificação não supervisionada de imagem CBERS 2/CCD.	63
Figura 30: Os histogramas C, D e E apresentam análises comparativas.....	65
Figura 31: Confusão espectral entre áreas queimadas e corpos d'água.	66
Figura 32: Os histogramas C, D e E apresentam análises da feição pastagens para as bandas 2, 4 e 5 respectivamente.	67
Figura 33: Os histogramas C, D e E apresentam análises da feição cerradão.	68
Figura 34: Ruídos na classificação da imagem CBERS 2/CCD	69
Figura 35: Região afetada por ruídos.	70
Figura 36: Imagem temática, resultado da classificação supervisionada e orientada por controle de campo.	71
Figura 37: Área gradeada como exemplo da classe 2.1.1.1	74
Figura 38 Áreas de pivôs de irrigação identificados na imagem.....	74
Figura 39: Pasto limpo que constitui a classe 2.3.1.1.	75
Figura 40: Pasto sujo que constitui a classe 2.3.1.2.	76
Figura 41: Vegetação porte florestal, classe 3.1.1	76
Figura 42: Rio Serrote a montante da foz do rio Vacaria.....	78
Figura 43: Uma lagoa como exemplo da classe 5.1.2.	78
Figura 44: Menor área mapeável.....	80
Figura 45: Ferramenta buffer do Arc View.....	81
Figura 46: IRMSS fusionadas à banda pan do CCD.	82
Figura 47: IRMSS fusionadas à banda pan do CCD.....	83
Figura 48: Ilustração do banco de dados em ambiente SIG.....	84
Figura 49: Dados raster e vetores relacionados em ambiente SIG.....	85

Lista de tabelas

Tabela 1: Radiações do espectro eletromagnético.....	10
Tabela 2: Resumo das características dos sensores levados a bordo do CBERS 2.....	14
Tabela 3: Descrição resumida dos Sensores TM do Landsat 5 e ETM+ do Landsat 7.....	17
Tabela 4: Descrição das principais aplicações do sensor TM do Landsat 5.....	18
Tabela 5: Resumo comparativo de alguns satélites comerciais.....	19
Tabela 6: Exemplo de hierarquização do U.S.G.S Classification System.	20
Tabela 7: Nomenclatura de Cobertura do Solo criada pelo Projeto CORINE.	23
Tabela 8: Exemplo de quarta classe CORINE	25
Tabela 9: Numeração das bandas dos sensores CCD e IRMSS do CBERS 2 e ETM+ do Landsat 7.	49
Tabela 10: Faixas espectrais de cada banda dos sensores CCD e IRMSS do CBERS 2 e RTM+ do Landsat 7.	56
Tabela 11: Classes identificadas pelo método supervisionado.....	72

RESUMO

Este trabalho foi desenvolvido na bacia hidrográfica do rio Serrote em Mato Grosso do Sul, com 94.578 hectares, inserida na sub-bacia do rio Ivinhema, pertencente à Bacia hidrográfica do Rio Paraná. Foram estudadas as potencialidades de uso da imagem do sensor CCD (Câmara de alta resolução) do satélite CBERS 2 (*China-Brazil Earth Resources Satellite*) para caracterização da cobertura do solo, avaliando ainda as Áreas de Preservação Permanente (APP) que objetivam a proteção dos recursos hídricos. Foram estudadas as assinaturas espectrais deste satélite para a caracterização da cobertura do solo e analisadas comparativamente às assinaturas espectrais do Landsat. Para desenvolvimento do trabalho, foram utilizados os *Softwares* Erdas Imagine (ERDAS, 2002) e Arc View (ESRI, 1998) no processamento e análise espacial das cartas topográficas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG), das imagens Landsat e principalmente, das imagens do satélite CBERS 2/CCD. Todo esse material e demais trabalhos e estudos de campo foram organizados em banco de dados por meio de um SIG - Sistema de Informações Geográficas, o que foi imprescindível e fundamental para alcançar os objetivos propostos inicialmente. Os vários problemas de ajuste, principalmente radiométricos, das imagens do CBERS 2/CCD puderam ser identificados e dirimidos. Desta forma as imagens do CBERS 2/CCD mostraram-se excelentes alternativas às imagens Landsat, constituindo-se, portanto, ótimos instrumentos para caracterização da cobertura do solo e análises ambientais.

Palavras chaves: Potencialidades do CBERS 2/CCD, Caracterização de cobertura do solo e Bacia hidrográfica do Rio Serrote-MS.

ABSTRACT

This work was developed in the Serrote River watershed in Mato Grosso do Sul, that has an area of 94,578 ha, and is inserted in the Ivinhema River sub-basin that it belongs Paraná River basin. Potential uses were studied of the images from the CCD (high resolution camera) sensor of the CBERS (China-Brazil earth resources satellite) in characterizing the land cover, as well as in evaluating the Permanent Preservation Areas - APP (which aim to protect the water resources). The spectral signatures of this satellite were studied in order to characterize the land cover, and LANDSAT spectral signatures analysed comparatively. In the development of this work, the Erdas Image (ERDAS, 2002) and Arc View (ESRI, 1998) software programmes were used in the processing and spatial analyses of the topographic maps of the Military Geographic Service Directorate (DSG), of the LANDSAT images and, principally, of the CBERS 2/CCD images. The organisation in a GIS (geographic information system) database of all this material, together with other works and field studies, was essential and basic to reaching the initial proposed objectives. It was possible to identify and nullify many adjustment problems, mainly radiometric, of the CBERS 2/CCD images. Thus, CBERS 2/CCD images were shown to be a very good alternative to LANDSAT images, consisting of excellent instruments for land cover characterization and environmental analysis.

Key words: Potentialities of CBERS 2/CCD, land cover characterization, Serrote River watershed-MS

1. INTRODUÇÃO

Mato Grosso do Sul carece de informações atualizadas sobre a utilização dos seus recursos naturais que possam subsidiar a gestão e tomada de decisões na otimização destes recursos para o desenvolvimento do Estado, tendo em vista que o Atlas Multirreferencial de Mato Grosso do Sul, mapeamento oficial estadual, foi elaborado pela Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral e publicado há mais de 15 anos (MATO GROSSO DO SUL, 1990).

As ferramentas geotecnológicas podem ser estruturadas em Sistemas de Informações Geográficas – SIG para caracterizar, avaliar e propor ações de controle de uso dos recursos naturais que visem à conservação da biodiversidade (SAUSEN, 2004). Entretanto pode-se constatar que não há controle efetivo da manutenção e recuperação da vegetação em Áreas de Preservação Permanente (APP), principalmente ao longo dos mananciais hídricos de Mato Grosso do Sul.

Isto se deve, em parte, a grande dimensão territorial do Estado, mas também devido à fiscalização ser realizada a campo e sem auxílio de geotecnologia desenvolvida para tal finalidade (POLIZER, 2002).

O Sensoriamento Remoto tem sido aplicado em estudos e projetos de recursos naturais há décadas no Brasil e, em geral, dependeu da importação de imagens de satélites estrangeiros. Estas são oferecidas ao mercado consumidor, nas mais variadas especificações, porém a preços geralmente elevados.

Entretanto, um programa de cooperação foi assinado entre a China e o Brasil para desenvolver satélites de observação da Terra. Assim o programa *China-Brasil Earth Resources Satellite* (CBERS) soma recursos financeiros e pessoal especializado dos dois países para estabelecer um sistema completo de sensoriamento remoto, compatível com o presente cenário internacional (INPE, 2004).

Estes produtos, apresentados sobre áreas específicas ou sobre um contexto mais regional, permitem diagnósticos eficientes, propõem soluções de baixo custo e criam

alternativas inteligentes para os desafios enfrentados face às mudanças aceleradas que observa-se em território nacional (SAUSEN, 2004).

Lançar mão de imagens de satélites de boa resolução espacial, tais como SPOT que possui *pixels* (resolução espacial) com 2,5 metros para canal pancromático e de 5 metros para canais MSS (*multispectral scanner*), IKONOS (*pixel* de 1 metro em pancromático e 4 m em MSS) ou outros, tornar-se-ia muito oneroso uma vez que o método proposto pressupõe a possibilidade de mapeamento de 100% da superfície de Mato Grosso do Sul e estas imagens são cotadas em Dólares e/ou Euros, apresentando alto valor para aquisição.

Os produtos Landsat: MSS (*multispectral scanner*), TM (*thematic mapper*) e ETM+ (*enhanced thematic mapper plus*) são largamente difundidos no Brasil, devido a sua boa qualidade e seu preço relativamente menor quando comparado ao de satélites semelhantes, porém o sensor MSS já está desligado, o ETM+ deixou de operar em maio de 2003 e o sensor TM vem apresentando problemas.

A resolução espacial (30 metros), além de dificultar a interpretação das áreas de APP que (na área estudada) são de 30 metros de cada lado do curso d'água (BRASIL, 1965), impõe um limite cartográfico para a escala máxima de 1:100.000, conforme estabelecido no DECRETO Nº 89.817, de 20 de junho de 1984 (BRASIL, 1984) e suas alterações por meio do Decreto nº 5.334 de 6 de janeiro de 2005 (BRASIL, 2005), que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional, por meio do PEC - Padrão de Exatidão Cartográfico.

Não obstante, o Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE está disponibilizando gratuitamente, para brasileiros, as imagens do satélite CBERS 2, onde o usuário pode optar entre três imageadores distintos: CBERS/WFI (*Wide Field Imager*) que é um Imageador de Amplo Campo de Visada, CBERS/IRMSS (*Infrared Multispectral Scanner*) que é um Imageador por Varredura de Média Resolução e CBERS/CCD (*High Resolution Camera*) que é uma Câmera Imageadora de Alta Resolução, cujo sensor apresenta resolução espacial de 20 metros, resolução temporal de 26 dias e resolução espectral com cinco bandas, incluindo o infravermelho próximo, indicado para estudo de cobertura vegetal (STEFFEN, 2004).

Neste trabalho, foram ainda utilizados os dados do Imageador por Varredura de Média Resolução (IRMSS), a fim de se obter informações adicionais sobre a cobertura do solo.

Ainda que sua especificação apresente-se como uma excelente alternativa ao similar Landsat, comparativamente, há ainda poucos trabalhos e estudos de caso que

comproem a eficiência do satélite Sino-Brasileiro, aplicado a caracterização de uso e cobertura do solo. Pretende-se neste trabalho contribuir para superação desta lacuna, sobretudo no Mato Grosso do Sul.

1. OBJETIVOS

O objetivo principal deste trabalho foi descrever potencialidades da utilização das imagens do satélite CBERS 2/CDD, para caracterização da cobertura do solo no Mato Grosso do Sul, a partir dos resultados obtidos na área piloto da bacia hidrográfica do Rio Serrote.

Secundariamente objetivou-se estabelecer uma relação entre as assinaturas espectrais dos satélites CBERS 2/CCD e LANDAST 7 ETM+, visando a caracterização dos diferentes tipos de cobertura do solo em MS.

Avaliar o uso de uma legenda de cobertura adequada a fiscalização ambiental em Mato Grosso do Sul.

Avaliar o potencial do uso do CBERS2/CCD na identificação da preservação de APPs ao longo dos curso d'água.

3. ÁREA DE ESTUDO

A política Nacional de Recursos Hídricos pauta-se pelo fundamento de que a bacia hidrográfica é a unidade territorial para implantação da Política Nacional de Recursos Hídricos e atuação do Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos Lei 9.433/97 (BRASIL, 1997).

A bacia hidrográfica é indicada como uma forma de organização territorial e no âmbito dos recursos hídricos, o impacto decorrente da alteração do uso do solo reflete-se em todos os componentes do ciclo hidrológico, como no escoamento superficial, na recarga dos aquíferos, na qualidade da água e no transporte de sedimentos (MENDES, 2001).

Em conformidade com a Lei Federal nº 9.433 de 08 de janeiro de 1997 (BRASIL, 1997), foi escolhida neste estudo a bacia hidrográfica do Rio Serrote, com 94.578 hectares (Figura 1), situada nos municípios de Sidrolândia e Rio Brilhante. O Rio Serrote deságua no Rio Vacaria que, por sua vez, é um dos formadores do Rio Brilhante, que se junta ao Rio Dourados para formar a sub-bacia do Rio Ivinhema.

Face ao exposto escolheu-se a bacia do Rio Serrote porque ela está inserida na sub-bacia do rio Ivinhema, a qual apresenta importância estratégica para Mato Grosso do Sul além de ser fácil o acesso e por conseguinte, menos dispendioso os trabalhos de campo.

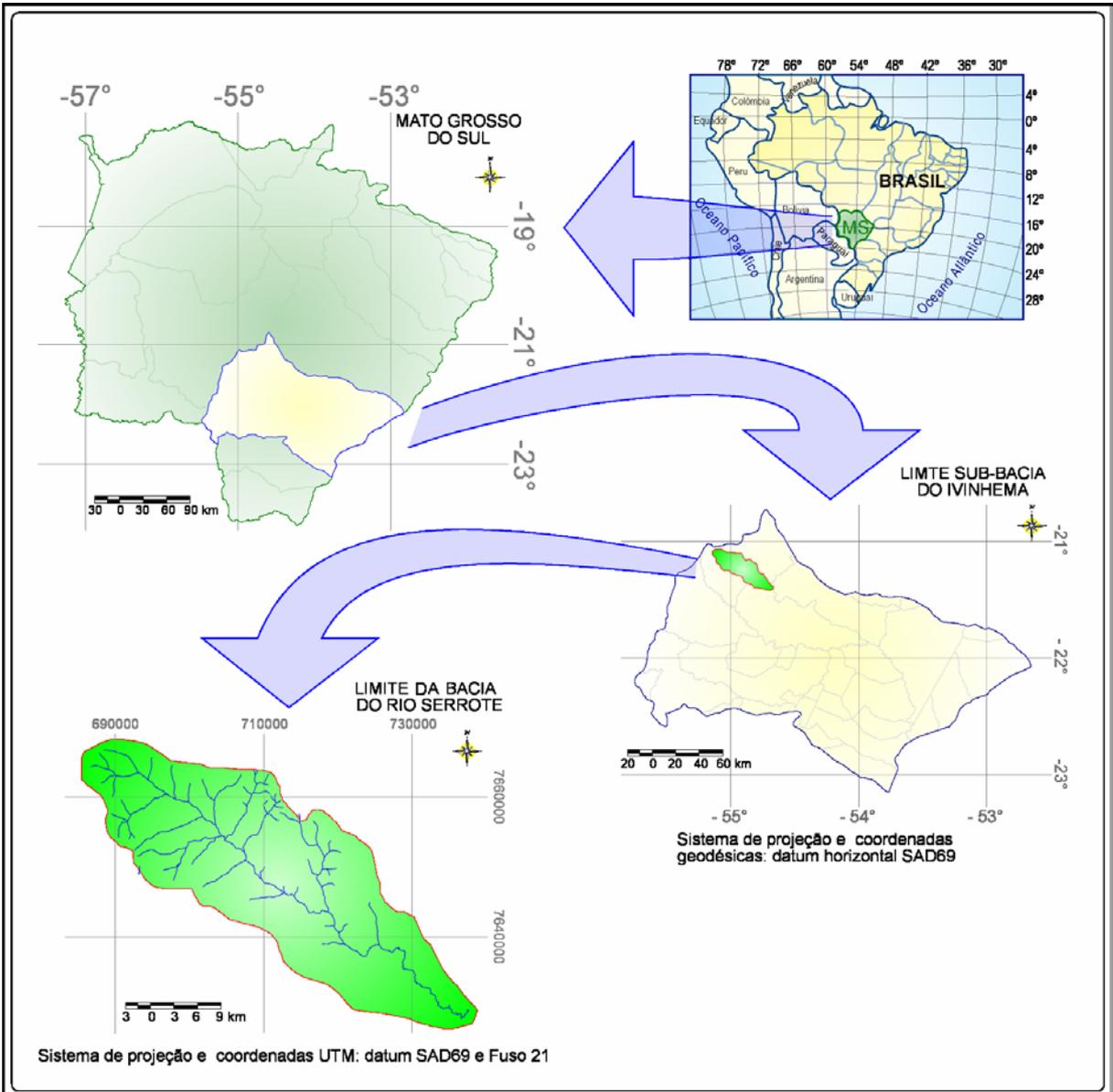


Figura 1: Localização Geográfica da bacia do Rio Serrote. No canto superior esquerdo está a sub-bacia do Ivinhema, no contexto do território Estadual e no canto inferior direito, a bacia do Rio Serrote está posicionada na porção noroeste da sub-bacia do Rio Ivinhema e no canto inferior esquerdo da Figura a bacia do Rio Serrote em destaque.

4. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Histórico

Segundo o Atlas Multirreferencial da Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral – SEPLAN (MATO GROSSO DO SUL, 1990) o Estado de Mato Grosso do Sul foi criado em 11 de outubro de 1977, sendo efetivamente implantado somente em 1º de janeiro de 1979 e seu território abrange uma área de 357.124,962 km² que correspondente a 18% da região Centro-Oeste, e a 4% do território brasileiro estabelecido através da Resolução nº 05 de 10 de Outubro de 2002 (IBGE, 2005).

A antropização no meio rural em algumas regiões de Mato Grosso do Sul tem provocado intensa pressão sobre os recursos naturais. Segundo PARANHOS Fº (2000), que trabalhou com Análise Geo-Ambiental e Multitemporal, são crescentes as descaracterizações e diminuição da vegetação natural da região de Coxim e Camapuã. Além da supressão da vegetação em Área de Preservação Permanente, o manejo inadequado de áreas agricultáveis e das pastagens tem agravado a situação.

O crescimento populacional, somado a indução do consumismo para provocar o aquecimento da economia, bem como desenvolvimento de novas tecnologias para extração de recursos materiais de satisfação humana, têm acarretado um aumento da pressão sobre o meio e ocasionado um crescente grau de degradação de tais recursos (ARCÂNGELO *et al*, 2003).

Se o modelo de utilização do solo atual não for alterado estima-se que o cerrado brasileiro deverá desaparecer no ano de 2030, pois os desmatamentos deste bioma chegam a uma média anual de 1,5 % ou seja, quase três milhões de hectares são desmatados ao ano no Brasil (MACHADO *et al*, 2004).

A utilização de tecnologias apropriadas não tem acompanhado o ritmo com que ocorre a antropização do meio físico. Os órgãos de controle ambiental nem sempre utilizam a geotecnologia disponível para promover um eficiente monitoramento da dinâmica de utilização dos recursos ambientais em Mato Grosso do Sul. A velocidade de degradação

ambiental tem sido maior do que a conscientização do homem para a necessidade de se fazer intervenções compatíveis com a capacidade do meio em manter-se em equilíbrio ambiental (POLIZER, 2002).

4.2 Sistema de Informações Geográficas – SIG

Segundo CÂMARA (1996) SIG - sistemas de informações geográficas são aqueles automatizados, usados para armazenar, analisar e manipular dados geográficos, ou seja, dados que representam objetos e fenômenos em que a localização geográfica é uma característica inerente à informação e indispensável para analisá-la.

Para PEDROSA (2002) os SIG são desenvolvidos a partir de suposições pré-estabelecidas quanto à homogeneidade, uniformidade e universalidade das propriedades de seus principais componentes, que incluem o espaço e as relações espaciais, o tempo e o modelo matemático que descreve o fenômeno.

No trabalho de SALOMÃO (2002) com Sistema de Informação Geográfica e planejamento de florestas nacionais no Pará, o SIG foi concebido como ferramenta para o armazenamento e atualização do conjunto de informações que compõem os Planos de Manejo das Florestas Nacionais de Carajás, do Tapirapé-Aquiri e de Saracá-Taquera, de forma que os mesmos possam ser consultados pelos envolvidos na administração e no uso das Unidades de Conservação. Neste SIG estão inseridas desde uma apresentação resumida das Florestas Nacionais, até um apanhado de todo o Plano de Manejo, que podem ser visualizados através de mapas, imagens, banco de dados, textos e fotos, ativados por botões e ferramentas adicionais. Tais ferramentas são utilizadas para manipulação e gerenciamento das informações armazenadas.

4.3 Sensoriamento Remoto

A evolução natural e as atividades humanas provocam mudanças contínuas no meio físico e biológico da Terra. Segundo SAUSEN (2004) para compreender o complexo inter-relacionamento dos fenômenos que causam estas mudanças é necessário fazer observações com uma grande gama de escalas temporais e espaciais. A maneira mais efetiva e econômica de coletar os dados necessários para monitorar e modelar estes fenômenos é por meio de satélites.

O sensoriamento remoto tem sido aplicado com diferentes graus de sucesso em estudos de recursos naturais e a observação da Terra por sensores orbitais e, é uma maneira eficiente de coletar dados para o desenvolvimento do País.

Os sensores instalados em satélites artificiais são o resultado da evolução da ciência e da tecnologia espacial, sendo então, o sensoriamento remoto uma tecnologia que permite, através destes sensores, a captação e registro da energia refletida ou emitida pela superfície terrestre e deste modo, possibilitam a obtenção de imagens e outros tipos de dados da superfície (FLORENZANO, 2002).

Para SAUSEN (2004) o uso de imagens de satélite é fundamental para o Zoneamento Ecológico e Econômico de regiões onde a ação antrópica ainda não aconteceu de forma intensa, como no caso da Amazônia. Pois os pesquisadores podem analisar uma área procurando identificar seus principais atributos físicos, a fim de conhecer a vocação natural das paisagens e seu nível de suporte para desenvolvimento ou preservação.

Através de *softwares* destinados ao tratamento de imagens, é possível gerar imagens com diferentes composições de cores, ampliações de partes das imagens e classificações temáticas dos objetos nelas identificados, obtendo-se assim produtos como mapas temáticos que são usados para estudos de geologia, vegetação, uso do solo, relevo, agricultura, conforme demonstrado por PARANHOS F^o (2003).

Para CÂMARA (1996) sensoriamento remoto é um conjunto de processos e técnicas usados para medir propriedades eletromagnéticas de uma superfície, ou de um objeto, sem que haja contato entre o objeto e o equipamento sensor.

Sensores a bordo de satélites são sistemas de imageamento físico destinados a captar imagens. Os sensores respondem proporcionalmente à quantidade de luz incidente e a resposta depende da quantidade e da frequência da luz. Portanto pode-se descrever a

característica de um sensor através de uma curva de resposta espectral, que fornece a intensidade da resposta para cada frequência que é denominada de comprimento de onda (STEFFEN, 2004).

4.3.1 As respostas espectrais do mesmo alvo

Conforme descrito por STEFFEN (2004) o sistema visual do homem e dos animais terrestres é sensível a uma pequena banda de radiações do espectro eletromagnético situada entre 400nm e 700 nm (nanômetro) e denominada luz visível. Dependendo do comprimento de onda, a luz produz as diferentes sensações de cor que percebemos conforme a Tabela 1.

Tabela 1: Radiações do espectro eletromagnético (Luz visível): na coluna esquerda tem-se os comprimentos de onda para a três bandas do visível com a sensação de cor correspondente na coluna à direita.

Bandas (visível)	sensações visuais
Entre 400nm até 500nm (B)	azul e cian
Entre 500nm e 600nm (G)	verde
600nm a 700 nm (R)	amarelo, laranja e vermelho

Fonte: (STEFFEN, 2004).

Pode-se medir a refletância de um objeto para cada tipo de radiação que compõe o espectro eletromagnético e então perceber, através dessa experiência, que a refletância de um mesmo objeto pode ser diferente para cada tipo de radiação que o atinge. A curva “a” da Figura 2, mostra como uma folha verde tem valores diferentes de refletância para cada comprimento de onda, desde o azul até o infravermelho próximo. Esse tipo de curva, que mostra como varia a refletância de um objeto para cada comprimento de onda, é denominada assinatura espectral e depende das propriedades do objeto (STEFFEN, 2004).

A análise da assinatura espectral da folha verde na Figura 2, explica as razões para as variações encontradas: na banda visível (B, G e R), a pequena refletância (maior absorvância) é produzida por pigmentos da folha (clorofila, xantofila e carotenos) enquanto que na banda infravermelha (IR), a maior refletância resulta da interação da radiação com a estrutura celular superficial da folha.

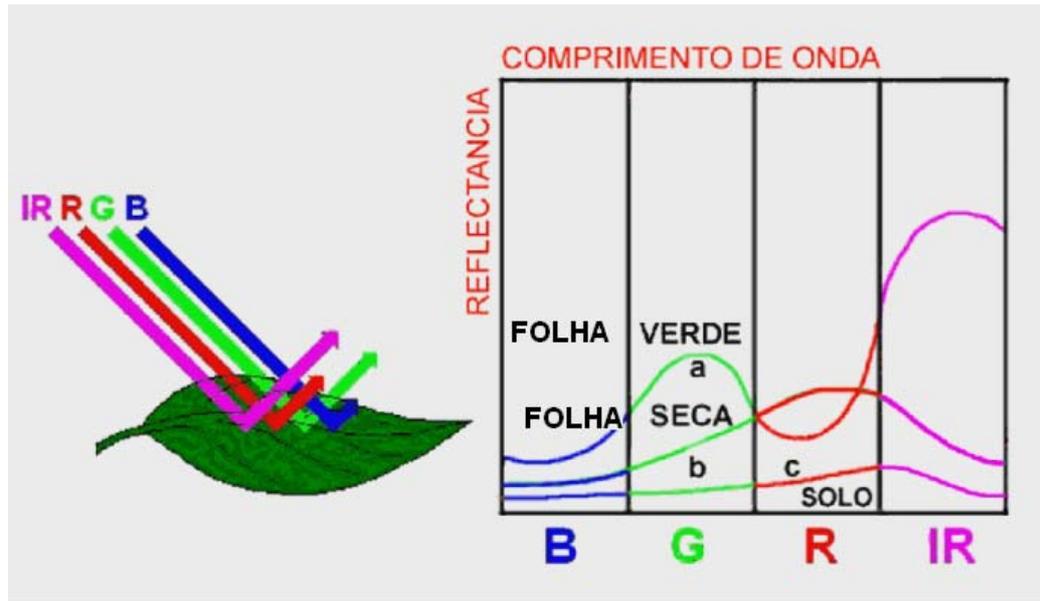


Figura 2: Modelo para ilustração de assinaturas espectrais (STEFFEN, 2004), sendo que B corresponde a faixa da azul, G a verde, R ao vermelho e IR está relacionado ao infravermelho enquanto as letras a, b e c representam a refletância de folha verde, seca e solo exposto respectivamente.

Duas características notáveis resultam dessa assinatura espectral:

(1º) a aparência verde da folha, e por extensão da vegetação, está relacionada com a sua maior refletância nessa banda (G) e é produzida pela clorofila (STEFFEN, 2004);

(2º) a elevada refletância na banda infravermelha (IR) está relacionada com os aspectos fisiológicos da folha e varia com o seu conteúdo de água na estrutura celular superficial; por isso é um forte indicador de sua natureza, estágio de desenvolvimento, sanidade, etc (STEFFEN, 2004).

Na curva “b” da Figura 2 a assinatura espectral de uma folha seca é comparada às respostas do solo e folha verde; onde se nota as diferenças da resposta espectral de cada alvo.

As imagens construídas com a banda infravermelha podem ter uma quantidade muito maior de informações temáticas que as convencionais (de cores naturais); entretanto, conforme discorreu PARANHOS Fº (2000), é importante ressaltar que o significado dessas cores e suas variações devem ser analisados com base no trabalho de campo e conhecimento das assinaturas espectrais dos objetos, para poder extrair informações corretas sobre as suas propriedades (Figura 3).

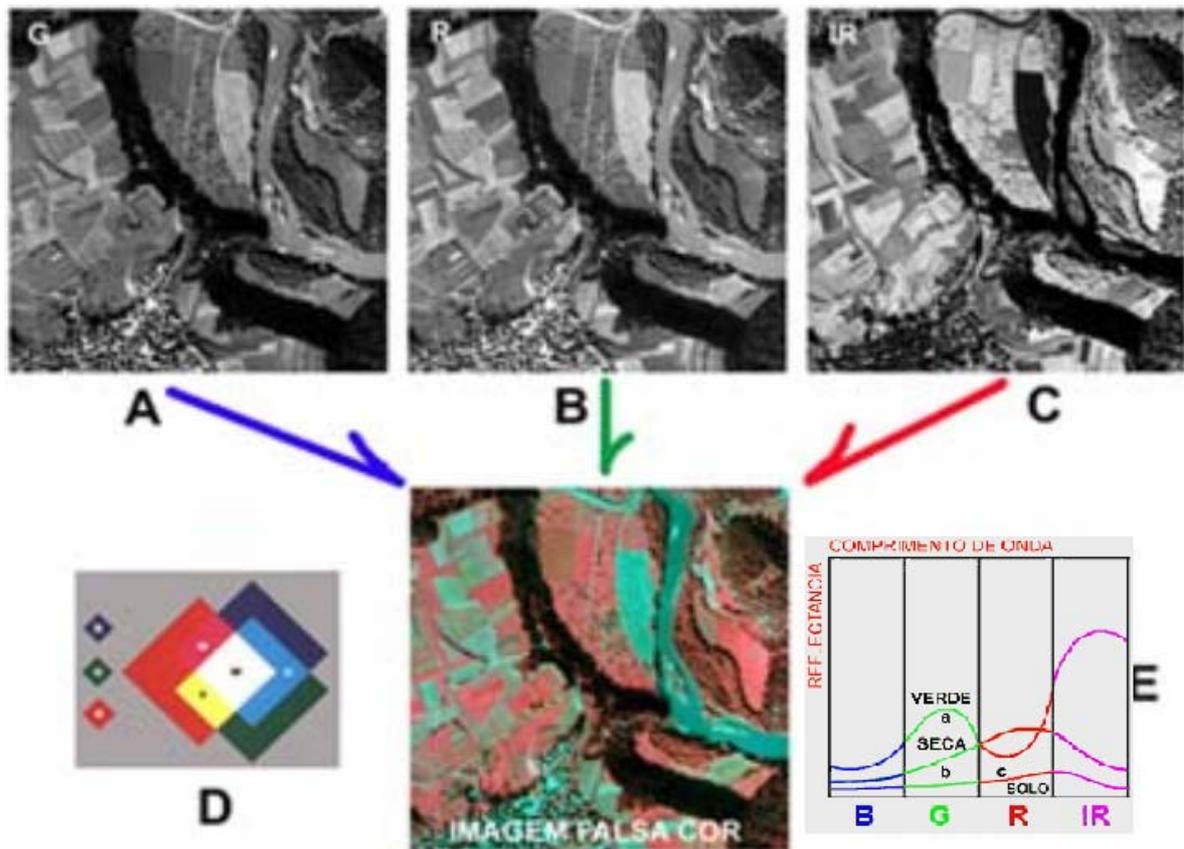


Figura 3: Composição falsa cor com infravermelho (STEFFEN, 2004). Nas imagens em tons de cinza, A é uma banda da faixa espectral do verde, B é do azul e C do infravermelho que compostas formam a imagem colorida ao centro.

Nesta composição a vegetação aparece em tonalidades de *magenta* e isso ocorre porque na assinatura espectral da vegetação predominam as refletâncias nas bandas verdes (B) e infravermelha (C), sendo esta última maior. Como estas bandas são representadas na imagem pelas cores azul e vermelha, a mistura destas gera as tonalidades de *magenta* com predominância de vermelho. Da mesma forma, a tonalidade *cian*, do solo resulta das refletâncias mais elevadas nas bandas vermelha e infravermelha. Observa-se na imagem “c” que a água do Rio tem refletância quase nula na banda infravermelha e por isso aparece na cor preta.

A seguir estão citadas algumas definições das propriedades básicas de um sensor:

Resolução espectral é dada pelo número de bandas do espectro eletromagnético capturadas pelos sensores (CÂMARA, 1996). O sensor CCD do CBERS 2, por exemplo, capta 3 faixas no visível (azul, verde e vermelho), uma faixa no infravermelho próximo, além de uma banda pancromática.

Resolução radiométrica é dada pela capacidade do sensor de diferenciar níveis de energia do alvo (quantização), pode-se definir também pela quantidade de níveis de cinza em cada banda (CÂMARA, 1996).

Resolução espacial é dada pela área espectralmente confiável da superfície terrestre observada instantaneamente por cada sensor. Também para STEFFEN (2004) resolução geométrica ou espacial é a qualidade da imagem relacionada com a sua capacidade de registrar detalhes de uma cena. Ou seja, é a capacidade que o sensor tem de distinguir objetos da superfície terrestre e é dada como menor elemento distinguível por um sensor; ex. o *pixel* 20 metros por 20 metros (400 m²) do CBERS 2 é a menor área identificável pelo sensor CCD. Porém objetos menores que a área do *pixel* pode até ser detectada se houver contraste com objetos vizinhos. Linhas de drenagens e rodovias são exemplos disso. O **Campo instantâneo de visão ou IFOV** (*instantaneous field of view*) nem sempre representa a mesma área para cada *pixel* e pode ser entendido como a medida de uma área visualizada pelo imageador em um dado instante (ERDAS, 1997).

Campo angular de visão corresponde à varredura completa de um sensor; enquanto o *field of view* (FOV) determina a área coberta pela imagem, de onde se determina uma órbita-ponto (SOBUE 2005).

Resolução temporal é dada pelo intervalo de tempo entre duas tomadas de imagens do mesmo ponto da superfície. O CBERS 2/CCD imagea a mesma área a cada 26 dias.

Muitos sensores são transportados em satélites em órbitas próximas dos pólos e sincronizados com o sol, pois cruzam o equador na mesma hora solar, a fim de abrangerem uma cobertura global e uma geometria de iluminação consistente e que permite a comparação das imagens de um mesmo satélite para um mesma região. Este é caso do Landsat 7, SPOT, NOAA/AVHRR e também do CBERS 2.

4.4 Descrição geral dos satélites

4.4.1 *China-Brazil Earth Resources Satellite - CBERS 2*

O conjunto de Satélites Sino-Brasileiros de Recursos Terrestres (CBERS) determinado em convênio assinado em julho de 1988, entre a China e o Brasil, é custeado com os recursos financeiros e de especialistas dos dois países, para estabelecer um sistema

completo de sensoriamento remoto, que é competitivo e compatível com o presente cenário internacional. O programa CBERS 2 foi concebido como modelo de cooperação horizontal e intercâmbio entre países em desenvolvimento (INPE, 2004).

Característica singular do CBERS 2 é sua carga útil de múltiplos sensores, com resoluções espaciais e frequências de observação variadas. Os três sensores imageadores a bordo são o imageador de visada larga (WFI), a câmara (CCD) de alta resolução e o varredor multiespectral infravermelho (IRMSS). O WFI tem uma visada de 900 km no solo, que dá uma visão sinótica com resolução espacial de 260 m e cobre o planeta em menos de 5 dias. Já os sensores CCD de alta resolução e IRMSS fornecem informações mais detalhadas, a cada 26 dias em uma visada mais estreita, de 113 Km e 120 km respectivamente (Tabela 2).

A câmara CCD de alta resolução tem a capacidade adicional de apontamento lateral de $\pm 32^\circ$, que dá frequência de observações aumentada ou visão estereoscópica para uma dada região. Os dados de múltiplos sensores são especialmente interessantes para acompanhar ecossistemas que requerem alta repetitividade (INPE, 2004).

Tabela 2 - Resumo das características dos sensores levados a bordo do CBERS 2.

CÂMARAS =	CCD	IRMSS	WFI
RESOLUÇÃO ESPACIAL	20 m	80 m (PAN) 80 m (SWIR) 160 m (TIR)	260 m
LARGURA DA FAIXA IMAGEADA	113 km	120 Km	890 Km
RESOLUÇÃO TEMPORAL	26 dias nadir 3 dias off-nadir visada oblíqua de 32°	26 dias	5 dias
FAIXAS ESPECTRAIS (μm)	1) 0,45 - 0,52 (B) 2) 0,52 - 0,59 (G) 3) 0,63 - 0,69 (R) 4) 0,77 - 0,89 (NIR) 5) 0,51 - 0,73 (PAN)	6) 0,50-1,10 (PAN) 7) 1,55-1,75 (SWIR) 8) 2,08-2,35 (SWIR) 9) 10,40 - 12,5 (TIR)	10) 0,63 - 0,69 (R) 11) 0,77 - 0,89 (NIR)

FONTE: (INPE, 2005).Obs: B= azul; G= verde e R = vermelho; NIR = infravermelho próximo; SWIR = infravermelho médio; TIR = infravermelho termal e PAN = pancromática.

SHIMABUKURO (2001) testou com sucesso as bandas da câmera de varredura no infravermelho (IRMSS), em estratificar a cobertura vegetal e desflorestamentos na Amazônia, e mesmo trabalhando com *pixels* de 80 m, pôde identificar perfeitamente os contornos das feições temáticas, de forma bem similar aos do Landsat TM (30 m de resolução).

Cada sensor a bordo dos satélites apresenta distintas bandas que operam em diferentes faixas do espectro eletromagnético, conhecendo o comportamento espectral dos

alvos na superfície terrestre é possível escolher as bandas mais adequadas para estudar os recursos naturais (STEFFEN, 2004) demonstrados na Figura 4.

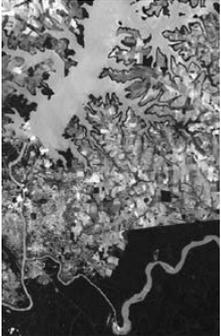
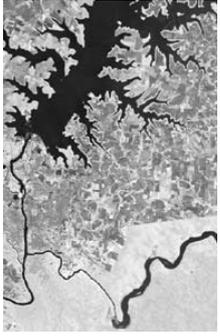
 <p>Banda 1 0,45-0,52 mm (azul)</p> <p>Mapeamento de águas costeiras; Diferenciação entre solo e vegetação; Diferenciação entre vegetação conífera e decídua.</p>	 <p>Banda 2 0,52-0,59 mm (verde)</p> <p>Mapeamento de vegetação; Qualidade d'água.</p>
 <p>Banda 3 0,63-0,69 mm (vermelho)</p> <p>Absorção de clorofila; Diferenciação de coberturas vegetais; Áreas urbanas, uso do solo; Qualidade da água.</p>	 <p>Banda 4 0,77-0,89 mm (infravermelho próximo)</p> <p>Delineamento de corpos d'água; Mapeamento geomorfológico; Mapeamento geológico; Áreas de queimadas.</p>

Figura 4: Aplicações das bandas da Câmara CCD do satélite CBERS 2 (STEFFEN, 2004).

Quando numa composição de bandas a cor azul for associada à banda 2 (visível), a cor verde à banda 3 (visível) e a cor vermelha à banda 4 (infravermelho próximo) a vegetação natural aparece na cor vermelho vivo/escuro. Esta combinação é chamada de falsacolor (RGB 4:3:2 para CCD do CBERS 2), porque os alvos aparecem na imagem em cores falsas e não como são vistos na natureza. Este tipo de combinação é muito usado para identificação de diferentes tipos de vegetação, ou diferenciar áreas de vegetação sadia das atacadas por enfermidades e ainda para destacar sedimentos em suspensão na água (SAUSEN, 2004).

Para se obter a combinação chamada cor natural, ou seja, a vegetação nativa em verde escuro e solo exposto em magenta deve ser utilizada a composição GRB 3:4:2 do CBER 2/CCD.

4.4.2 *Land Remote Sensing Satellite* – LANDSAT

A série LANDSAT - *Land Remote Sensing Satellite* foi iniciada no final da década de 60, a partir de um projeto desenvolvido pela Agência Espacial Americana - NASA dedicado exclusivamente à observação dos recursos naturais terrestres. O primeiro satélite da série começou a operar em 1972 e a última atualização ocorreu em 1999, com o lançamento do Landsat 7 (INPE, 2004).

Atualmente o único satélite em operação da série é o Landsat 5, que leva a bordo o sensor TM e contribui para o mapeamento temático da superfície terrestre. O Landsat 7 iniciou suas atividades em abril de 1999 e encerrou em maio de 2003, utilizando o sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*). Este instrumento foi capaz de ampliar as possibilidades de uso dos produtos Landsat (Tabela 3), porque manteve a alta resolução espectral (característica importante desse sistema) e conseguiu ampliar a resolução espacial da banda 6 (Infravermelho Termal) para 60 metros, além de inserir uma banda pancromática, permitindo composições coloridas com 15 metros de resolução (INPE, 2004).

4.4.3 Principais Aplicações Landsat

Conforme apresentado por BATISTELLA (2004), segue destacadas as principais aplicações de imagens Landsat.

- Acompanhamento do uso agrícola das terras;
- Apoio ao monitoramento de áreas de preservação;
- Atividades energético-mineradoras;
- Cartografia e atualização de mapas;
- Planejamento dos projetos de assentamentos rurais;
- Monitoramento de unidades de conservação e terras indígenas;
- Dinâmica da antropização do ambiente natural;
- Estimativas de fitomassa;

- Monitoramento da cobertura vegetal e desmatamentos;
- Queimadas, inundações e secas;
- Sedimentos em suspensão nos corpos hídricos entre outros.

O sensor TM do satélite Landsat 5 possui sete bandas, com numeração de 1 a 7, enquanto o sensor ETM+ do Landsat 7 apresenta as mesmas sete bandas acrescida de uma oitava banda (pancromática) de resolução 15 metros (Tabela 3). Cada banda representa uma faixa do espectro eletromagnético captada pelo satélite, que apresenta uma característica de repetitividade, isto é, imagea a mesma área a cada 16 dias.

Tabela 3: Descrição resumida dos Sensores TM do Landsat 5 e ETM+ do Landsat 7.

Sensor	Bandas Espectrais	Resolução Espectral	Resolução Espacial	Resolução Temporal	Faixa Imageada
TM	1	0,45 - 0,52 μm	30 m	16 dias	185 km
	2	0,50 - 0,60 μm			
	3	0,63 - 0,69 μm			
	4	0,76 - 0,90 μm			
	5	1,55 - 1,75 μm			
	6	10,4 - 12,5 μm	120 m		
	7	2,08 - 2,35 μm	30 m		
ETM+	1	0,45 - 0,52 μm	30 m	16 dias	185 km
	2	0,50 - 0,60 μm			
	3	0,63 - 0,69 μm			
	4	0,76 - 0,90 μm			
	5	1,55 - 1,75 μm			
	6	10,4 - 12,5 μm	60 m		
	7	2,08 - 2,35 μm	30 m		
	8	0,50 - 0,90 μm	15 m		

Fonte: Embrapa Monitoramento Por Satélite (EMBRAPA, 2004).

Uma imagem inteira deste satélite representa no solo uma área de abrangência de 185 x 185 km e a resolução espacial 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 0,09 ha). Para a banda 6, do sensor TM a resolução é de 120 m (cada *pixel* representa 1,4 ha) e a banda 6 do ETM+ possui resolução de 60 m (0,36 ha). A banda pancromática deste sensor tem *pixel* igual a 15 metros que representa uma área de 0,0225 ha.

A seguir será apresentada uma caracterização do sensor TM do satélite Landsat 5 considerando que o mesmo é o único em efetiva operação dentre a série Landsat, além de suas características serem praticamente as mesmas do Landsat 7.

Na Tabela 4 pode-se analisar a descrição das principais características e as aplicações do sensor TM do Landsat 5.

Tabela 4: Descrição das principais características e as aplicações do sensor TM Landsat 5.

Banda	Intervalo espectral (μm)	Principais características e aplicações das bandas TM do satélite Landsat 5
1	(0,45 - 0,52)	Apresenta grande penetração em corpos de água, com elevada transparência, permitindo estudos batimétricos. Sofre absorção pela clorofila e pigmentos fotossintéticos auxiliares (carotenóides). Apresenta sensibilidade a plumas de fumaça oriundas de queimadas ou atividade industrial. Pode apresentar atenuação pela atmosfera.
2	(0,52 - 0,60)	Apresenta grande sensibilidade à presença de sedimentos em suspensão, possibilitando sua análise em termos de quantidade e qualidade. Boa penetração em corpos de água.
3	(0,63 - 0,69)	As vegetações verdes, densas e uniformes, apresentam grande absorção, ficando escura, permitindo bom contraste entre as áreas ocupadas com vegetação (ex.: solo exposto, estradas e áreas urbanas). Apresenta bom contraste entre diferentes tipos de cobertura vegetal (ex.: campo, cerrado e floresta). É a banda mais utilizada para delimitar a mancha urbana, incluindo identificação de novos loteamentos. Permite a identificação de áreas agrícolas.
4	(0,76 - 0,90)	Os corpos de água absorvem muita energia nesta banda e ficam escuros, permitindo o mapeamento da rede de drenagem e delineamento de corpos de água. A vegetação verde, densa e uniforme, reflete muita energia nesta banda, aparecendo bem clara nas imagens. Apresenta sensibilidade à rugosidade da copa das florestas. 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. Serve para mapear áreas ocupadas com vegetação que foram queimadas. Permite a visualização de áreas ocupadas com macrófitas aquáticas (ex: aguapé). Permite a identificação de áreas agrícolas.
5	(1,55 - 1,75)	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.
6	(10,4 - 12,5)	Apresenta sensibilidade aos fenômenos relativos aos contrastes térmicos, servindo para detectar propriedades termais de rochas, solos, vegetação e água.
7	(2,08 - 2,35)	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.

Fonte: (INPE, 2004).

O mapeamento temático a partir de cada uma dessas bandas depende ainda das características da área em estudo (região plana ou acidentada) e da época do ano (seco ou úmido). Os trabalhos de interpretação das imagens tornam-se mais fáceis quando o fotointérprete tem conhecimento de campo (EMBRAPA, 2004).

4.5. Comparação de satélites comerciais

Um mesmo satélite pode produzir imagens de diferentes resoluções espaciais, temporais e espectrais e, por conseguinte, preços maiores para aquelas de melhor resolução. Entretanto, nesta comparação direta (Tabela 5) estão sendo consideradas, quando possível, as imagens de sensores semelhantes quanto as suas resoluções, entre um satélite e outro.

A área de recobrimento de cada satélite também varia em função do sensor, por isso para os satélites IKONOS e SPOT devem ser considerados os sensores de resolução espacial que mais se aproxime do sensor CCD do Satélite CBERS 2.

Tabela 5: Resumo comparativo de alguns satélites comerciais com cotação entre outubro de 2004 a novembro de 2005.

Especificação	IKONOS	SPOT	EOS AM-1 ASTER	Landsat 7 ETM+	CBERS 2 CCD
Resolução espacial em metros	1.0 a 4.0	2,5 5,0 10,0 20,0	15,0	30,0	20,0
Resolução temporal em dias	3 a 5	1 a 4	Não sistemático	16	26
Resolução espectral	5 bandas 4 multi_ espectrais 1 pancromática	5 bandas 4 multi_ espectrais 1 pancromática	15 m (VNIR) 30 m (SWIR) 90 m (TIR)	8 bandas 7 multi_ espectrais 1 Pancromática	5 bandas 4 multi_ espectrais 1 pancromática
Área de recobrimento em Km	13 x 13	60 x 60	60 x 60	185 x 185	113 x 113
Nº cenas para recobrir o MS	Não dimensionado	Não dimensionado	Não especificado	26	55
Escala indicada	Máxima 1:2.500	1:10.000 e 1:25.000.	1:25.000	1:100.000	1:100.000
Valor aproximado em U\$	44,00 KM ²	4.109,00 cena	Não disponível	400,00 cena	Gratuito

As informações contidas nesta tabela foram extraídas dos respectivos representantes comerciais de cada satélite. Os dados sobre IKONOS, SPOT e ASTER foram obtidos do site da EngeSat (ENGESAT, 2005). Enquanto Landsat e CBERS foram obtidos do site do INPE (INPE, 2005).

4.6 Legenda de Cobertura do Solo

O sistema de classificação de cobertura do solo usando dados de sensoriamento remoto vem sendo discutido, elaborado e implementado nos Estado Unidos desde o final da década de 60, conforme discorreu ANDERSON (1976) em seu trabalho *A Land Use And Land Cover Classification System For Use With Remote Sensor Data*. Este autor observou que durante muitos anos, várias agências governamentais produziram informações em diferentes níveis de forma independente e sem coordenação o que, conseqüentemente, levou a duplicação de esforços devido a falta de padronização.

O sistema criado pautou-se sobre uma lógica de hierarquização numérica das feições mapeadas, criando níveis e sub-níveis que poderiam ser representadas, ou não, em função da escala final do trabalho (ANDERSON, 1976). Assim estava criado o sistema de classificação do Serviço Geológico dos Estados Unidos (U.S.G.S) que promoveu a flexibilização e desenvolvimento de categorias em níveis mais detalhados.

Conforme destacado por ANDERSON (1976) o sistema pode ser adaptado a necessidade particular de cada mapeamento e ainda assim facilitar o intercâmbio de informação entre uma base de dados e outra. Na Tabela 6 a seguir ilustra o modelo de hierarquização proposto para o Serviço Geológico dos Estados Unidos.

Tabela 6: Legenda de Cobertura: Hierarquização do U.S.G.S *Classification System* (ANDERSON 1976).

<i>Nível I</i>	<i>Nível II</i>	<i>Nível III</i>
1. <i>Área urbana ou edificada</i>	11. <i>Área Residencial</i> 12. <i>Comercial e Serviços</i> 13. <i>Industrial</i>	111. <i>Conjunto de casas pequenas</i> 112. <i>Complexo residencial</i> 113. <i>Condomínios de prédios</i> 114. <i>Apart-hotel</i> 115. <i>Condomínio de casas</i> 116. <i>Hotel de transito</i> 117. <i>Outros</i>
2. <i>Solo agrícola</i>	21. <i>Solo arado e Pastagens</i>	211. <i>Solo arado</i> 212. <i>Pastagens</i>

4.6.1 Nomenclatura CORINE

O Projeto CORINE – “*Coordination Of Information On The Environment*” é um acordo realizado entre os países membros da Comunidade europeia em 27 de junho de 1985 (CORINE, 1992). Dentro do contexto deste Projeto, foi desenvolvido o Projeto de Cobertura dos Solos do CORINE, com o objetivo de fornecer uma base de informações geográficas localizadas, consistente, do tipo de cobertura dos solos dos Estados Membros da Comunidade Europeia. O Projeto de cobertura dos solos deveria prover o Projeto CORINE, e o maior número possível de usuários, com informações que deveriam ser homogêneas, completamente comparáveis por todos os países envolvidos e ser atualizáveis periodicamente (PARANHOS Fº, 2000).

Por estas características, em Mato Grosso do Sul, a legenda de cobertura de solos do CORINE (com as devidas adaptações) foi adotada por CARRIJO (2003), em contribuição à caracterização física do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari – MS.

Para HEYMANN *et al* (1994) há três elementos do Projeto de Cobertura dos Solos do CORINE que são determinados pela natureza da informação desejada:

- a escala de mapeamento usada;
- a definição da unidade de área e o tamanho da menor unidade mapeável;
- a nomenclatura de cobertura dos solos.

Conforme descrito por (HEYMANN *et al*, 1994) a estrutura lógica teórica sobre a qual foi desenvolvida a nomenclatura criada pelo Projeto de Cobertura do Solo do CORINE está representada na Figura 5 a seguir, e que engloba todos os tipos possíveis de cobertura do solo.



Figura 5: Esquema teórico para a construção da Legenda CORINE (HEYMANN *et al*, 1994).

A nomenclatura CORINE (Tabela 7) compreende três níveis:

- O primeiro, com cinco itens indica as categorias maiores de cobertura dos solos no planeta (resumidas em um maior ou menor grau).
- O segundo nível, com 15 itens é para o uso em escalas 1:500.000 e 1:1.000.000.
- O terceiro nível, com 44 itens é usado em escala 1:100.000.

Um quarto nível pode ser adicionado, para alguns, ou todos os itens, seguindo os seguintes pré-requisitos:

- Os itens adicionais devem incluir todos os tipos de cobertura do solo cobertos pelo item de nível três (códigos de quatro caracteres são usados somente por estes itens).
- Os novos itens criados não podem se relacionar com mais de um item nível três.
- O mapeamento de cobertura do solo tipo CORINE (que é nível três), deve ser finalizado antes de iniciar o mapeamento de nível quatro.

Tabela 7: Nomenclatura de Cobertura do Solo criada pelo Projeto CORINE.

Nível 1	Nível 2	Nível 3
1. Superfícies Artificiais	1.1. Padrão Urbano 1.2. Áreas Industriais, comerciais e de transporte 1.3. Mina, depósito de lixo e local de construção 1.4. Áreas vegetais, não agrícola, artificiais	1.1.1. Padrão Urbano Contínuo 1.1.2. Padrão Urbano Descontínuo 1.2.1. Unidades industriais ou comerciais 1.2.2. Rodovias, ferrovias e terrenos associados 1.2.3. Áreas portuárias 1.2.4. Aeroportos 1.3.1. Local de extração mineral 1.3.2. Áreas de descarga e depósitos de lixo 1.3.3. Locais em construção 1.4.1. Áreas verdes urbanas 1.4.2. Áreas de lazer e esporte
2. Áreas agrícolas	2.1. Terra arada 2.2. Culturas permanentes 2.3. Pastos 2.4. Áreas agrícolas heterogêneas	2.1.1. Terra arada não irrigada 2.1.2. Terra constantemente irrigada 2.1.3. Campos de arroz 2.2.1. Vinhas 2.2.2. Pomares e árvores frutíferas 2.2.3. Oliveiras 2.3.1. Pastagens 2.4.1. Culturas anuais associadas com culturas permanentes 2.4.2. Padrões de cultivo complexos 2.4.3. Terra ocupada principalmente por agricultura, com áreas significativas de vegetação natural 2.4.4. Área agro-florestais
3. Florestas e áreas seminaturais	3.1. Florestas 3.2. Arbustos e/ou vegetação herbácea associada 3.3. Espaços abertos com pouca ou nenhuma vegetação	3.1.1. Floresta Latifoliada 3.1.2. Floresta de Coníferas 3.1.3. Floresta Mista 3.2.1. Pradaria Natural 3.2.2. Vegetação Arbustiva (moors e heathland) 3.2.3. Vegetação esclerófito 3.2.4. Área com vegetação arbustiva em evolução 3.3.1. Praias, dunas e planícies arenosas 3.3.2. Rocha Nua 3.3.3. Área de vegetação esparsa 3.3.4. Área Queimada 3.3.5. Geleiras e neves perenes
4. Zonas úmidas	4.1. Zonas úmidas continentais 4.2. Zonas úmidas costeiras	4.1.1. Pântanos internos 4.1.2. Turfeira 4.2.1. Pântanos salgados 4.2.2. Salinas 4.2.3. Planície Intra-maré (Intertidal flats)
5. Corpos Aquosos	5.1. Águas continentais 5.2. Águas marinhas	5.1.1. Cursos de água 5.1.2. Corpos de água 5.2.1. Lagoas Costeiras 5.2.2. Estuários 5.2.3. Mares e oceanos

Fonte: (HEYMANN et al, 1994, adaptação de PARANHOS Fº, 2000).

Enfim, deve se ter atenção no sentido de que os itens criados sejam compatíveis com a escala, tamanho da menor área mapeável e as informações básicas (dados obtidos por satélite, por exemplo).

4.6.2 Legenda de uso da terra IBGE e CORINE no Brasil

No Brasil, ainda de forma incipiente, a lógica da legenda CORINE vinha sendo discutida pelos profissionais faz algum tempo. E recentemente, o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística-IBGE divulgou que o recobrimento do país, em termos da classificação dos tipos de uso, a análise dos impactos e a definição dos indicadores da qualidade ambiental compreendem atividades inerentes ao mapeamento sistemático do uso da terra (IBGE, 2005).

Segundo IBGE (2005) o desenvolvimento das atividades para elaboração da atual legenda teve como base as experiências adquiridas pelas equipes da Coordenação de Geociências, no âmbito dos diagnósticos ambientais e como referência internacional, o CORINE - Programa da CEE para compilação de dados sobre Uso e Cobertura da Terra e o monitoramento de mudanças.

4.6.3 Exemplo de uso da quarta classe do CORINE

No trabalho de CARRIJO (2003) a Legenda CORINE foi adaptada às peculiaridades da região do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari, onde o principal resultado foi a caracterização da cobertura do solo, através de sistema de informações geográficas, com distribuição espacial das classes expressas através de uma cobertura do solo.

Dentro da área de estudo, a autora apresentou em escala 1:50.000, nível de detalhamento até ao nível 4 da legenda CORINE, conforme Tabela 8 a seguir.

Tabela 8: Exemplo de quarta classe CORINE (CARRIJO, 2003.)

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível 4
2. Áreas agropecuárias	2.1. Terra agricultável 2.3. Pasto	2.1.1 Terra arável não irrigável 2.3.1. Pastagens	
3. Áreas com vegetação natural e semi-naturais	3.1. Fisionomia florestal	3.1.1. Classe constituída por Floresta Estacional Semidecidual e Savana Arbórea Densa (Cerradão)	
	3.2. Arbórea/arbustiva e/ou vegetação herbácea associada	3.2.1. Campos naturais 3.2.2. Cerrado	3.2.1.1. Campo de Cambaúva
	3.3. Espaços abertos com pouca ou nenhuma vegetação	3.3.2 Rocha nua	3.3.2.1.Voçorocamento
4.Zonas úmidas	4.1. Zonas úmidas continentais	4.1.1. Áreas úmidas	
5. Corpos aquosos	5.1. Águas continentais	5.1.2. Corpos de água	

4.7 Conceituação de Geotecnologia

Geotecnologia é uma denominação recente para o termo geoprocessamento e aqui serão tratados como sinônimos conforme discussão apresentada a seguir.

Para MENDES (2001), geoprocessamento é a estruturação simplificada da realidade que supostamente apresenta, de forma generalizada, características e relações importantes, através de dados espacializados. As geotecnologias são compostas por soluções em *hardware*, *software* e *peopleware* (pessoas treinadas em geotecnologias), que juntos se constituem em poderosas ferramentas para tomada de decisão.

São na verdade constituídas de um conjunto de tecnologias para coleta, processamento, análise e disponibilização de informação com referência geográfica.

Assim geotecnologia é conceitualmente abrangente e é, em geral, constituída por SIG - Sistemas de Informação Geográfica, Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto por satélites e/ou fotografias aéreas, Sistema de Posicionamento Global (GPS), Geodésia e Topografia Clássica, bem como sistemas de classificação de dados espaciais entre outros.

A geotecnologia é uma ferramenta tecnológica indispensável para estudos, diagnósticos e planejamentos quando o objeto de estudo precisar ser localizado e analisado sua relação com outros objetos e o ambiente onde está situado. Contudo, esta complexa ferramenta só terá êxito no funcionamento se houver computadores adequados, *softwares* apropriado ao que se pretende analisar e pessoal devidamente treinado para a atividade a ser desenvolvida.

5. ASPECTOS LEGAIS AMBIENTAIS

5.1 Resolução nº 237, de 19 de dezembro de 1997 (BRASIL, 1997)

Há uma crescente tendência em Mato Grosso do Sul de implantação de novos empreendimentos potencialmente poluidores e que necessitam via de regra, serem licenciados. Assim este trabalho poderá contribuir para desenvolvimento de um sistema de monitoramento ambiental das atividades licenciadas ou passíveis de licenciamento e ainda avaliar as condições dos locais de onde se planejam instalar novas atividades conforme prescrito no ANEXO I da Resolução 237 do CONAMA (BRASIL, 1997).

Definição legal de Licenciamento Ambiental:

“I - Licenciamento Ambiental: procedimento administrativo pelo qual o órgão ambiental competente licencia a localização, instalação, ampliação e a operação de empreendimentos e atividades utilizadoras de recursos ambientais, consideradas efetiva ou potencialmente poluidoras ou daquelas que, sob qualquer forma, possam causar degradação ambiental, considerando as disposições legais e regulamentares e as normas técnicas aplicáveis ao caso” (BRASIL, 1997).

5.2 Decreto federal 4.297, de 10 de julho de 2002

O Zoneamento Ecológico e Econômico – ZEE tem como objetivo principal subsidiar o planejamento estadual, visando um novo estilo de desenvolvimento sustentável. A elaboração e a implementação deste instrumento técnico-científico deve ser entendida como parte de um processo que implica em um conjunto de atividades técnicas e ações político-institucionais, conforme se pode notar pela redação de seus objetivos e princípios destacados no Decreto Nº 4.297, de 10 de julho de 2002 (BRASIL 2002).

Tendo em vista o disposto nos artigos 1º e 2º do Decreto Federal Nº 4.297/2002 (BRASIL, 2002) que trata do Zoneamento Ecológico e Econômico do Brasil - ZEE, a atualização dos dados a respeito da conservação dos recursos naturais necessita ser uma constante, haja vista que todo processo decisório de utilização, recuperação ou ocupação de uma área deve ser precedido de estudos de viabilidades econômicas e ambientais conforme preconizado pela proposta do ZEE. Em Mato Grosso do Sul o Zoneamento deverá ser desenvolvido pelo Governo do Estado através da Secretaria Estadual de Meio Ambiente em parceria com a Sociedade Civil e Instituições de Pesquisa (BRASIL, 2002).

Art. 1º - O Zoneamento Ecológico-Econômico do Brasil -ZEE, como instrumento da Política Nacional do Meio Ambiente, obedecerá aos critérios mínimos estabelecidos neste Decreto.

CAPITULO I

DOS OBJETIVOS E PRINCÍPIOS

Art. 2º - O ZEE, instrumento de organização do território a ser obrigatoriamente seguido na implantação de planos, obras e atividades públicas e privadas, estabelece medidas e padrões de proteção ambiental destinados a assegurar a qualidade ambiental, dos recursos hídricos e do solo e a conservação da biodiversidade, garantindo o desenvolvimento sustentável e a melhoria das condições de vida da população.

Art. 3º - O ZEE tem por objetivo geral organizar, de forma vinculada, as decisões dos agentes públicos e privados quanto a planos, programas, projetos e atividades que, direta ou indiretamente, utilizem recursos naturais, assegurando a plena manutenção do capital e dos serviços ambientais dos ecossistemas.

Parágrafo único. O ZEE, na distribuição espacial das atividades econômicas, levará em conta a importância ecológica, as limitações e as fragilidades dos ecossistemas, estabelecendo vedações, restrições e alternativas de exploração do território e determinando, quando for o caso, inclusive a realocação de atividades incompatíveis com suas diretrizes gerais.

5.3 Código Florestal Brasileiro

Para melhor objetividade desta proposta faz-se necessário destacar o que estabelece o Código Florestal Brasileiro, através de seus Artigos 2º e 16º da Lei 4.771 de 1965 (BRASIL, 1965) e alterações estabelecidas na Lei 7.803 de 18/07/1989 (BRASIL, 1989) e Medida Provisória 2.166-67 de agosto de 2001 (BRASIL, 2001), pois nestas normas é que está fundamentada a espacialização das áreas de proteção especial.

5.3.1 Área de preservação permanente – APP

Art. 2º Consideram-se de preservação permanente, pelo só efeito desta Lei, as florestas e demais formas de vegetação natural situadas:

a) ao longo dos Rios ou de qualquer curso d'água desde o seu nível mais alto em faixa marginal cuja largura mínima será:

1 - de 30 (trinta) metros para os cursos d'água de menos de 10 (dez) metros de largura;

2 - de 50 (cinquenta) metros para os cursos d'água que tenham de 10 (dez) a 50 (cinquenta) metros de largura;

3 - de 100 (cem) metros para os cursos d'água que tenham de 50 (cinquenta) a 200 (duzentos) metros de largura;

4 - de 200 (duzentos) metros para os cursos d'água que tenham de 200 (duzentos) a 600 (seiscentos) metros de largura);

5 - de 500 (quinhentos) metros para os cursos d'água que tenham largura superior a 600 (seiscentos) metros;

b) ao redor das lagoas, lagos ou reservatórios d'água naturais ou artificiais;

c) nas nascentes, ainda que intermitentes e nos chamados "olhos d'água", qualquer que seja a sua situação topográfica, num raio mínimo de 50 (cinquenta) metros de largura; d) no topo de morros, montes, montanhas e serras;

e) nas encostas ou partes destas, com declividade superior a 45°, equivalente a 100% na linha de maior declive;

f) nas restingas, como fixadoras de dunas ou estabilizadoras de mangues;

g) nas bordas dos tabuleiros ou chapadas, a partir da linha de ruptura do relevo, em faixa nunca inferior a 100 (cem) metros em projeções horizontais;

h) em altitude superior a 1.800 (mil e oitocentos) metros, qualquer que seja a vegetação;

i) —Parágrafo único. No caso de áreas urbanas, assim entendidas as compreendidas nos perímetros urbanos definidos por lei municipal, e nas regiões metropolitanas e aglomerações urbanas, em todo o território abrangido, observar-se-á o disposto nos respectivos planos diretores e leis de uso do solo, respeitados os princípios e limites a que se refere este artigo.

Art. 3º Consideram-se, ainda, de preservação permanente, quando assim declaradas por ato do Poder Público, as florestas e demais formas de vegetação natural destinadas:

a) a atenuar a erosão das terras;

b) a fixar as dunas;

c) a formar faixas de proteção ao longo de rodovias e ferrovias;

d) a auxiliar a defesa do território nacional a critério das autoridades militares;

e) a proteger sítios de excepcional beleza ou de valor científico ou histórico;

f) a asilar exemplares da fauna ou flora ameaçados de extinção;

g) a manter o ambiente necessário à vida das populações silvícolas;

h) a assegurar condições de bem-estar público.

§ 1º A supressão total ou parcial de florestas de preservação permanente só será admitida com prévia autorização do Poder Executivo Federal, quando for necessária à execução de obras, planos, atividades ou projetos de utilidade pública ou interesse social.

§ 2º As florestas que integram o Patrimônio Indígena ficam sujeitas ao regime de preservação permanente (letra g) pelo só efeito desta Lei.

Assim, neste trabalho quando for mencionada área de preservação permanente (APP), basicamente se está fazendo referência ao disposto nas alíneas a, b e c do artigo 2º da lei 4.771 (BRASIL, 1965) tendo em vista que as demais situações previstas na Lei não ocorrem na área estudada.

5.3.2 Área de Reserva Legal – RL

Art. 16. As florestas de domínio privado, não sujeitas ao regime de utilização limitada e ressalvadas as de preservação permanente, previstas nos artigos 2º e 3º desta lei, são suscetíveis de exploração, obedecidas as seguintes restrições: (Vide Medida Provisória nº 2.166-67, de 24 de agosto de 2001).

a) nas regiões Leste Meridional, Sul e Centro-Oeste, esta na parte sul, as derrubadas de florestas nativas, primitivas ou regeneradas, só serão permitidas, desde que seja, em qualquer caso, respeitado o limite mínimo de 20% da área de cada propriedade com cobertura arbórea localizada, a critério da autoridade competente;

§ 3º Aplica-se às áreas de cerrado a reserva legal de 20% (vinte por cento) para todos os efeitos legais (Parágrafo acrescentado pela Lei nº 7.803 de 18.7.1989).

O Código Florestal brasileiro sofreu uma grande inovação através da MP nº 2.166-67/01 que altera a Lei nº 4.771/65 (BRASIL, 1965) e suas modificações e versando no artigo 44 a figura da compensação de reserva legal. Tal novidade se apresenta como um grande desafio para a gestão do território brasileiro e, sobretudo das unidades federativas que deverão normalizar a nova Lei.

Art. 44. O proprietário ou possuidor de imóvel rural com área de floresta nativa, natural, primitiva ou regenerada ou outra forma de vegetação nativa em extensão inferior ao estabelecido nos incisos I, II, III e IV do art. 16, ressalvado o disposto nos seus §§ 5º e 6º, deve adotar as seguintes alternativas, isoladas ou conjuntamente:

I - recompor a reserva legal de sua propriedade mediante o plantio, a cada três anos, de no mínimo 1/10 da área total necessária à sua complementação, com espécies nativas, de acordo com critérios estabelecidos pelo órgão ambiental estadual competente;

II - conduzir a regeneração natural da reserva legal; e

III - compensar a reserva legal por outra área equivalente em importância ecológica e extensão, desde que pertença ao mesmo ecossistema e esteja localizada na mesma micro-bacia, conforme critérios estabelecidos em regulamento.

6 MATERIAIS E MÉTODOS

6.1 Montagem do Sistema de Informações Geográficas - SIG

6.1.1 O programa Arc View 3.2 (ESRI, 1998)

A fim de concatenar todas as informações adquiridas e geradas ao longo do estudo, foi montado um banco SIG. Inicialmente foram lançados os perímetros dos municípios de Sidrolândia e Rio Brillhante onde está situada a bacia do Rio Serrote e de Projetos de Assentamentos: Capão Bonito I, II e III, Vacaria, São Pedro e Geraldo Garcia. Além destes dados vetoriais, as imagens e cartas scanerizadas, que constituem dados rasters, foram também adicionadas em novas layers, proporcionando facilidades na geração e análises do dados.

Neste estudo foram utilizados o *software* Arc View (ESRI, 1998) e a extensão *Spatial Analyst* (ESRI, 1998) para o desenvolvimento do sistema de informação geográfica-SIG. O banco de dados relacional deste SIG apresenta diversas informações da bacia do Rio Serrote incluindo recortes de imagens Landsat 7 e CBERS 2, os dados temáticos oriundos da classificação de tais imagens, fotografias horizontais, vetores temáticos do tipo linha para hidrografia e estradas, vetores do tipo pontos para espacialização das fotos, polígonos dos limites municipais, da bacia, do retângulo envolvente e de projetos de assentamentos rurais (PAs) e pontos de controle de campo gerados por meio de GPS de navegação.

Todos os dados gerados constituíram subsídios fundamentais na elaboração do SIG, bem como para promover a caracterização da bacia estudada.

Foram trabalhadas as áreas de abrangência de duas cartas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG): as cartas Rio Serrote (DSG, 1980) e Piúva (DSG, 1977), as cenas do satélite Landsat, órbita 225 ponto 075 (LANDSAT, 2002) e as do CBERS 2/CCD, órbita 163 ponto 124 (INPE, 2004)

Há vários outros *softwares* para elaboração de SIGs, mas o Arc View (ESRI, 1998 Figura 6) foi escolhido devido sua facilidade de utilização e ao fato de que já estava disponível quando este trabalho iniciou.



Figura 6: Botões e ferramentas padronizadas e adicionais (em vermelho) do Arc View 3.2 (ESRI,1998).

6.2 O programa Erdas Imagine 8.6 (ERDAS, 2002)

São muitos os *softwares* aplicados no processamento digital de dados raster, tais como tratamento de imagens de satélites e fotos aéreas. O Erdas (ERDAS, 2002) possui a capacidade de realizar com eficiência todas as atividades propostas neste trabalho e sua escolha se deu devido a sua disponibilidade e sua boa interface com usuário. Na Figura 7 pode-se observar sua tela de apresentação e principais botões de comando.

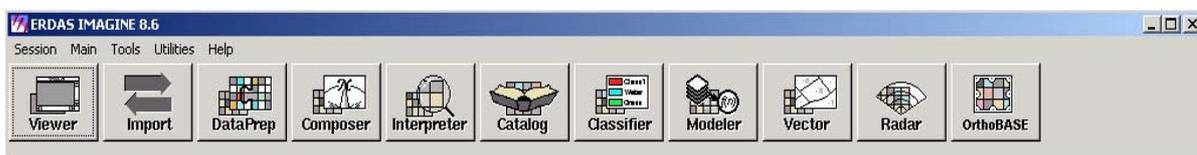


Figura 7: Barra de ferramentas principais do Erdas Imagine 8.6 (ERDAS 2002).

Utilizando o programa Erdas (ERDAS, 2002), foram feitas toda a composição, tratamento, reprojeções e correções geométricas das imagens dos satélites, cartas DSG e imagens do radar SRTM - *Shuttle Radar Topography Mission*.

Cabe destacar que a técnica consiste em aplicar todo e qualquer tratamento nas cenas por inteiro, ou seja toda a órbita ponto das imagens, bem como nas cartas topográficas que foram rasterizadas por completo. E somente após o tratamento e georreferenciamento foi realizado o recorte na área de interesse que é denominado de *subset*.

Desta forma os arquivos ficam menores e mais leves para serem processados durante a classificação e vetorização, quando são extraídas as feições de interesse, tais como Rios e estradas.

Os métodos de ajuste de contraste, filtragem e georreferenciamento, entre outros, comumente aplicados para imagens do Landsat, foram aplicados para o CBERS 2/CCD, mas

aplicando-se as devidas adaptações conforme o caso. Pois além de se tratar de sensores diferentes, as imagens do CBERS 2/CCD utilizadas apresenta-se em geral, sem um padrão único definido.

Pretendeu-se promover a adaptação dos usuais métodos já consagrados de tratamentos de imagens Landsat às novas Imagens do CBERS 2/CCD, a fim de averiguar as potencialidades e limitações da nova ferramenta para caracterização e monitoramento da qualidade e quantidade da cobertura do solo, com enfoque para a vegetação de proteção dos recursos hídricos (APPs) ao longo dos curso d'água. Assim o método de mapeamento da cobertura do solo, na bacia aqui estudada, poderá ser aplicado para outros mapeamentos no Estado.

6.3 Composição e ajustes de cores das imagens

A fim de possibilitar a análise de assinaturas espectrais para ambos os sensores as imagens CBERS e Landsat foram compostas com no mínimo 3 bandas e 6 bandas respectivamente. Estas imagens receberam tratamento de cor, contraste e filtragem a fim de eliminar ruídos atmosféricos na visualização.

Para desenvolvimento do trabalho proposto, foi utilizado o *software* Erdas (ERDAS, 2002) no geoprocessamento das cartas topográficas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército (DSG), das imagens Landsat ETM+, imagens do mosaico *Geocover* de 2000 (NASA, 2004) corrigidas e principalmente, das imagens CCD do satélite CBERS 2.

6.4 Base de dados, Georreferenciamento, Sistemas de Projeção e de Coordenadas e Datum utilizados

Neste trabalho foram utilizadas bases oriundas de diversas fontes, e, por conseguinte cada uma delas teve um processamento específico para ser utilizado neste estudo. Assim primeiramente são listadas as bases de dados e suas respectivas fontes.

- CBERS 2/CCD órbita 163 ponto 124 (INPE, 2004);
- CBERS 2/IRMSS órbita 163 ponto 124 (INPE, 2004);
- LANDSAT 7 ETM+ órbita 225 ponto 075 (LANDSAT, 2002);

- Mosaico Landsat *Geocover* de 2000 (NASA, 2004);
- Cartas topográficas do DSG Rio Serrote (DSG, 1980);
- Cartas topográficas do DSG Piúva (DSG, 1977);
- Base vetorial digital das cartas Rio Serrote e Piúva (DSG, 2004);
- Modelo digital de elevação (NASA, 2004).

A imagem LANDSAT 7 ETM+ órbita 225 ponto 075 (LANDSAT, 2002) objetiva balizar a análise das potencialidades das imagens CBERS 2.

As imagens foram registradas numa base cartográfica única, através do *software* Erdas (ERDAS, 2002). Para isso foi tomado como referência as cartas do DSG, georreferenciadas com 16 ou 17 pontos de ajuste, utilizando polinômio de 2º grau com erro máximo 12 metros e reamostradas conforme descrito por PARANHOS Fº (2000).

Estas cartas foram utilizadas como base cartográfica para correção geométrica da imagem Landsat ETM+ 225-075 (LANDSAT, 2002) e da Imagem CBERS/CCD 163-124 (INPE, 2004).

Foi ainda realizado o recorte (*subset*) do retângulo que envolve a bacia do Rio Serrote para facilitar a análise da área abrangente bem como o geoprocessamento das cartas DSG e das imagens.

Foram utilizados o sistema de projeção UTM, Datum horizontal SAD 69 e sistema de coordenadas planas, uma vez que toda a bacia se localiza no fuso 21 do Sistema UTM. Todos os dados cujas referências cartográficas se apresentaram diferentes das citadas, foram reprojctados visando a uniformidade da base de dados. Este Datum horizontal foi escolhido porque a base inicial de dados raster oferecida pelo INPE encontrava-se nele ajustada.

As imagens foram georreferenciadas, tomando-se pontos de controle distribuídos homogeneamente por toda a imagem, tomados das Cartas Topográficas 1:100.000. Na seqüência os sistemas de coordenadas foram comparados com as imagens *Geocover* e confrontadas com pontos de controle que foram coletados a campo com GPS de navegação a fim de conferir o ajustamento entre as distintas bases de dados utilizadas.

6.5 Composição e georreferenciamento e das cenas Landsat 7 e CBERS 2/CCD/IRMSS

Para a imagem do Landsat 7 foi feita a composição inicial com todas as bandas disponíveis (1, 2, 3, 4, 5 e 7), procedimento fundamental para realizar, posteriormente, comparação destas com a bandas do CBERS 2. A cena 225-75 do Landsat 7 (LANDSAT, 2002) foi georreferenciada, através do Erdas (ERDAS, 2002).

Entretanto para a cena 163-124 do CBERS 2/CCD (CBERS, 2004) foi necessário, antes de compô-la, analisar se havia ou não, algum deslocamento das bandas entre elas. O que pôde ser realizado através da ferramenta *Swipe*, localizada na barra *Utility*, do menu da *Viewer* do Erdas (ERDAS, 2002). As bandas 1,2, 3 e 4 não apresentaram deslocamento uma em relação a outra, porém a banda 5 (pan) apresentava-se deslocada em relação as demais. Tal deslocamento pode ser observado na Figura 8 abaixo. Por isso a banda 5 teve que ser georreferenciada em separado e somente depois disso, foi composta com as demais bandas.

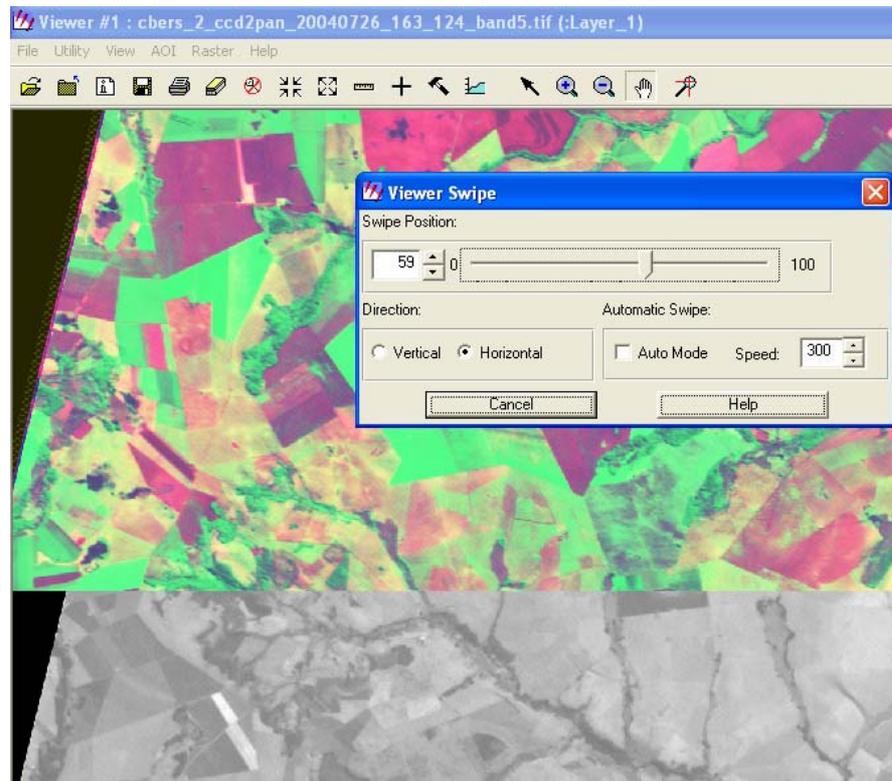


Figura 8: Deslocamento da banda pancromática em relação às bandas 2, 3 e 4 do CCD e a ferramenta *Swipe* (ERDAS, 2002) utilizada para realizar sobreposições dinâmicas.

A seguir destacamos a manifestação do INPE em relação ao problema verificado de deslocamento entre as bandas e a presença de ruídos que serão tratados nos próximos tópicos.

“Estamos cientes desses problemas das faixas e estamos procurando formas de minimizá-los. Por ora, procure usar a composição 2, 3 e 4 tendo assim um efeito menor. Fique atento ao usar a banda 5, pois ela encontra-se deslocada em relação às outras quatro e, para ser usada numa composição, precisa ser registrada manualmente” (INPE, 2005).

A Divisão de Geração de Imagens - DGI do INPE informou que o deslocamento observado ocorre porque a câmara CCD do CBERS 2 faz dois conjuntos de imageamentos, sendo que as bandas 2,3 e 4 fazem parte do primeiro. Já as bandas 1, 5 e uma repetição da 3 é imageada no segundo conjunto. Essa característica, aliada ao fato de qualquer desajuste na calibração dos imageadores podem contribuir para a ocorrência de deslocamento entre bandas dos diferentes conjuntos (INPE, 2005).

Para o georreferenciamento da imagem Landsat 7 foi adotado procedimento conforme descrito por PARANHOS Fº (2000), ou seja, foi feita a composição da cena incluindo todas as bandas disponíveis, seguido do georreferenciamento e posterior recorte (*subset*) do retângulo envolvente da bacia do Rio Serrote.

Para o georreferenciamento da imagem CBERS 2/CCD e IRMSS também foi adotado procedimento conforme descrito por PARANHOS Fº (2000). Porém, neste caso foram dois (2) georreferenciamentos para a mesma cena. No primeiro foram georreferenciadas as bandas 1, 2, 3 e 4 compostas num mesmo arquivo imagem. No segundo, a banda 5 foi georreferenciada sozinha em outro arquivo imagem. Depois disto, estes dois arquivos foram compostos em um único arquivo imagem final. Após o que foi recortado o retângulo (*subset*) envolvente da bacia do Rio Serrote.

Observou-se neste trabalho que para o georreferenciamento das bandas em separado, é conveniente usar os mesmos pontos de referência. Para isto basta apenas salvar a partir da caixa *GCP tools* os pontos de entrada (*input*) e os pontos de referência (*reference*).

Neste trabalho, quando do georreferenciamento da banda pan, a partir da mesma caixa *GCP Tools*, através da barra *file* selecionou-se os arquivos de pontos trabalhados anteriormente, ajustou-se ponto-a-ponto e verificou-se o erro máximo que não ultrapassou 1(um) *pixel*, ou seja no máximo 20 metros de deslocamento. O processo de georreferenciamento é finalizado de fato quando depois de reamostrado *pixel-a-pixel* a imagem é confrontada com a imagem de referência através da ferramenta *swipe* e não se

observa deslocamento significativo das feições analisadas. Desta forma economiza-se hora/máquina e pode-se garantir boa precisão e melhores resultados finais.

Através da ferramenta *Band Combinations* acessada na barra *Raster* do menu da *Viewer* no Erdas (ERDAS, 2002) foram feitas todas as combinações possíveis para os canais RGB, em cor natural e falsa cor (Figura 9).

Para cada um destes arranjos foram analisadas a presença de ruídos e qual banda era responsável pelo problema, que era então substituída por uma banda sem problemas, conforme orientação do INPE (INPE, 2005).

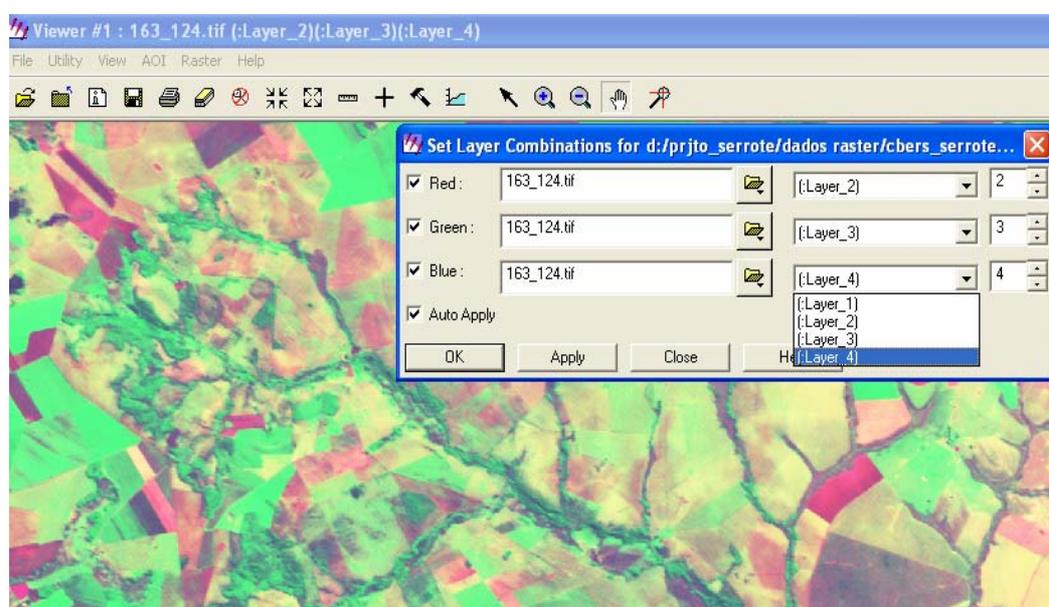


Figura 9: Destaque da ferramenta *Band Combinations* (ERDAS, 2002) para combinação de bandas; para o canal *Blue* (azul) estão relacionadas as quatro disponibilidades de utilização das bandas do arquivo imagem.

6.6 Scanerizações da Base Cartográfica de Referência

Foram escanerizadas as cartas topográficas da DSG Piúva (DSG, 1977) e Rio Serrote (DSG, 1980) na escala 1:100.000, em escaner colorido, a 200 pontos por polegada (DPI). Os arquivos resultantes do processo estão no formato TIFF e são do tipo raster. Utilizou-se a fórmula PARANHOS F° (2000) conforme demonstrado a seguir, para calcular o valor em metros de cada *pixel*:

$$D_{(m)} = \frac{2.54 \times 10^{-2} (m)}{DPI} \times De$$

D = Dimensão ao solo em metros

DPI = Resolução da imagem escanerizada

De = Denominador da escala

Assim, em função dos dados relacionados anteriormente chegou-se ao seguinte valor:

$$D_{(m)} = \frac{2.54 \times 10^{-2} (m)}{200} \times 100.000$$

$$D_{(m)} = 12,7 \text{ m}$$

Desta forma calculou-se a resolução espacial de uma carta escanerizada, ou seja, o valor do *pixel* foi de 12,7 metros para a carta rasterizada, o que foi imprescindível para realizar o georreferenciamento da mesma e daí tomá-la como referência e base cartográfica. Para isso o erro máximo admitido quando do georreferenciamento das cartas topográficas foi de até 1,8 *pixel* visando garantir que o erro não ultrapassasse 20 metros no solo que é representado por 0,2 milímetros, ou seja, não significativo na escala 1:100.000.

Estas cartas foram utilizadas como base cartográfica para correção geométrica das imagens Landsat ETM+ 225-075 (LANDSAT, 2002) e CBERS/CCD 163-124 (CBERS 2, 2004). Para a imagens o erro máximo no georreferenciamento foi de até 20 metros, o que corresponde a um (01) *pixel* do CBERS 2 e menos de um *pixel* (0.66) do LANDAT 7 e desta forma preservou-se a escala de 1:100.000.

Utilizando o *software* Erdas (ERDAS, 2002), foi realizado o mosaico das cartas Piúva (DSG, 1977) e Rio Serrote (DSG, 1980) haja vista que a bacia abrange estas duas cartas adjacentes.

Na seqüência foi ainda realizado o recorte (*subset*) do retângulo que envolve a bacia para facilitar a análise da área abrangente bem como o geoprocessamento das cartas DSG e das imagens. As cartas foram mosaicadas e recortadas no mesmo AOI (*areas of interest*) das imagens a fim de compor a base de dados do SIG.

A seguir o *subset* do retângulo que envolve parte da bacia (Figura 10).

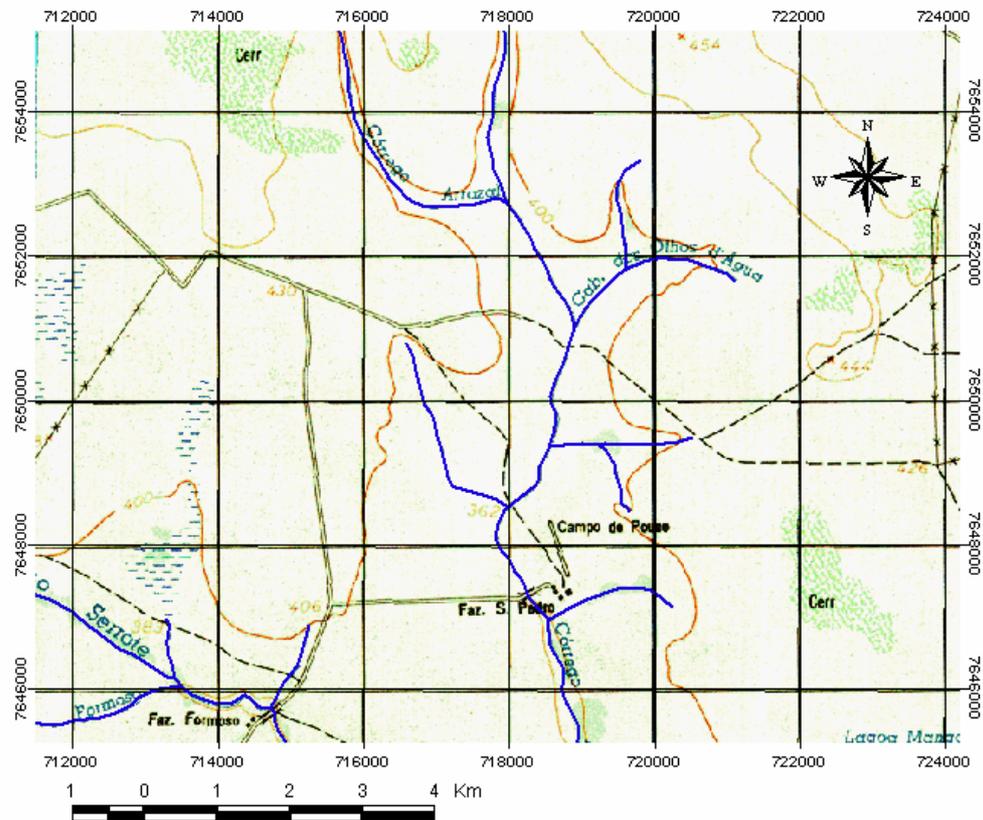


Figura 10: *Subset* da imagem raster da carta Rio Serrote (DSG, 1980), após escanerização e georreferenciamento, evidenciando o perfeito alinhamento do sistema de coordenadas (linhas pretas e coordenadas UTM) e das linhas de drenagens (linhas azuis) da base vetorial digital obtidos junto a DSG, (2004).

6.7 Dados Vetoriais da Base Cartográfica de Referência

Os dados vetoriais foram gerados pelo Centro de Imagens e Informações Geográficas do Exército - CIGEx, localizado em Brasília que é subordinado a Diretoria de Serviço Geográfico (DSG). Esta Diretoria é o órgão de apoio do Departamento de Ciência e Tecnologia para superintender os assuntos ligados à Cartografia (DSG, 2005). Ou seja, os vetores apresentados em formato digital das curvas de nível, linhas de drenagens, ferrovia, rodovias não pavimentadas e terras sujeitas a inundação (Figura 11) são também dados oficiais.

Os dados vetoriais facilitam a composição e análise de dados em ambiente de sistema de informação geográfica – SIG.

b) Imagem **nível 1**: imagem onde se procedeu a correção e calibração radiométrica a uma imagem nível 0.

c) Imagem **nível 2**: trata-se de uma imagem nível 1 à qual foi aplicado procedimento de correção geométrica de sistema, com uso de dados da plataforma e sem uso de pontos de controle. Trata-se da imagem básica disseminada pelo INPE, em formato geotiff. São imagens nível 2 do CBERS 2/CCD que serão discutidas na seqüência.

Para obter imagens CBERS 2 é necessário fazer um cadastramento diretamente no site do INPE por meio da Divisão de Geração de Imagens – DGI no seguinte endereço: <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>. Nesta página basta preencher o formulário conforme visualização na Figura 12.

Cadastro	
Nome completo	<input type="text"/>
Usuário	<input type="text"/>
Senha	<input type="text"/>
E-mail	<input type="text"/>
Telefone	(<input type="text"/>) <input type="text"/>
Logradouro	<input type="text"/> Número <input type="text"/>
CEP	<input type="text"/>
Cidade	<input type="text"/>
Estado	<input type="text" value="v"/>
País	Brazil <input type="text" value="v"/>
Organização	<input type="text"/>
Tipo de Organização	<input type="text" value="v"/>
Setor de Atividade	<input type="text" value="v"/>
<input type="button" value="Registrar"/> <input type="button" value="Atualizar"/>	

Figura 12: Tela de cadastramento da Divisão de Geração de Imagens (DGI/INPE) onde o internauta pode obter *log in* de usuário apto a solicitar e receber imagens CBERS 2.

Feito o cadastro o usuário poderá, no catálogo, escolher a imagem de seu interesse e solicitá-la colocando no “carrinho” conforme ilustrado na figura que segue.

Tendo enviado o pedido, o usuário receberá um e-mail de confirmação e na seqüência e geralmente antes de uma hora um novo e-mail indicando o link (endereço específico) de onde poderá se feito o *download* da imagem. As imagens CCD recebidas vêm separadas em 3, 4 ou 5 arquivos geotiff, onde cada arquivo corresponde às bandas disponíveis para a cena solicitada.

Para a escolha são oferecidas várias formas de pesquisa, tais como órbita ponto do satélite, o sensor ou mesmo o nome do município. O usuário poderá ainda verificar a ocorrência de nuvens na área de interesse bem como definir o percentual máximo aceitável de tal ocorrência (Figura 13).

The screenshot shows the INPE image catalog interface. On the left, there are several sections for search parameters:

- Parâmetros Básicos:** Satélite (CBERS 2), Instrumento (CCD), Intervalo de Tempo (Sazonal), De (01/2005) to Até (07/2005), Cobertura de Nuvens Máxima (Q1-Q4: 0%), Quick Look (Pequeno/Grande), Município (maracaju), Estado.
- Órbita:** De (163) to Até (163), De (124) to Até (124).
- Por Região:** Norte (10), Oeste (-90), Leste (-30), Sul (-40).
- Interface Gráfica:** Lat (-21.614), Lon (-55.168).

On the right, there is a list of technical parameters and a satellite image:

- Satélite: CB2
- Sensor: CCD
- Órbita: 163
- Ponto: 124
- Data de Passagem: 2005-06-03
- Revolução: 8485
- Latitude Norte: 20.89930
- Longitude Oeste: 55.19910
- Latitude Sul: 22.06270
- Longitude Leste: 54.35790
- Tempo Central(GMT): 13:46:43
- Orientação da Imagem: 8.50435
- Azimuth Solar: 32.7206
- Elevação Solar: 38.8885
- Perda de Bits
- Varreduras Perdidas
- Varreduras Perdidas (%)
- Perda de Sincronismo
- Cobertura de Nuvens:** Q1 0, Q2 0, Q3 0, Q4 0
- Método de Cobertura de Nuvem: M

The satellite image on the right shows a green landscape with some atmospheric interference visible on the left edge.

Figura 13: Tela do catálogo de imagens CBERS 2. Neste exemplo tem-se um amostra em tamanho grande da cena 163-124 CCD de 03 de junho de 2005. Na borda esquerda da imagem é possível notar interferência atmosférica provavelmente oriunda de nevoeiro.

Seguindo tais procedimentos, foram baixadas as seguintes bandas espectrais obtidas pelos sensores CCD do CBERS 2 da cena 163-124: azul (1) verde (2) vermelha (3) e infravermelho próximo (4) e a banda pancromática (5) da cena 163-124.

Quando se realizava a aquisição das imagens CBERS 2/CCD para este estudo, através do site da Divisão de Geração de Imagens –DGI/INPE (INPE, 2005) havia disponível várias cenas da órbita 163 ponto 124 que corresponde ao imageamento da área do estudo. Porém a mesma cena, para data distintas, apresenta-se em diferentes situações que são descritas a seguir:

1^a) 13 abril de 2004, apresenta nuvens sobre as nascentes do Rio Serrote e disponível com apenas três bandas (verde - 2, vermelha - 3 e infravermelho próximo - 4).

2ª) 30 de junho de 2004, o imageamento estava deslocado o suficiente para não abranger boa parte da bacia em estudo.

3ª) 26 de julho de 2004, sem nuvens sobre a área de interesse e possuindo as cinco bandas incluindo a banda pan.

Para esta mesma cena, foram obtidas as bandas: 1 pancromática; 2 infravermelho médio e 3 infravermelho distante e a banda 4 infravermelho termal do sensor IRMSS do CBERS 2. Esta imagem serviu para realizar a fusão com a imagem do sensor CCD sendo que o resultado disso será tratado mais adiante.

4ª) 12 de abril de 2005, apresenta nuvens sobre a área de interesse, não imageou parte da área da nascente do Rio Serrote e disponível com apenas três bandas (verde - 2, vermelha - 3 e infravermelho próximo - 4).

5ª) 06 de junho de 2005, apresenta nuvens sobre a área de interesse, não imageou parte da área da nascente do Rio Serrote e disponível com as bandas (azul - 1, verde - 2, vermelha - 3 e infravermelho próximo - 4).

6ª) 29 de agosto de 2005, apresenta nuvens densas sobre a área das nascentes do Rio Serrote.

Assim sendo, decidiu-se processar apenas a cena órbita 163, ponto 124, de 26 de julho de 2004, onde foi constatado o seguinte:

Todas as bandas da faixa do visível (1, 2 e 3) apresentaram algum nível de ruído, sendo que não foi notado ruído significativo na banda da faixa espectral infravermelho próximo - 4 e na banda 5 (pancromática).

6.9 Dados do Programa *Geocover* da NASA/USA (NASA, 2004)

Para MELLO (2005), mosaico *Geocover* pode servir no Brasil como base única de referência para georreferenciamento de imagens de satélites.

Conforme apresentado por STEFANES *et al* (2005) tal mosaico, foi utilizado com sucesso no georeferenciamento de imagens CBERS 2 na sub-bacia do Rio Ivinhema em MS.

As Cartas Topográficas da Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro - DSG constituíram a base cartográfica oficial utilizada neste trabalho, mas também foi utilizada a base de imagens do mosaico Landsat TM de 2000, denominado de *Geocover* e disponível no <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid> (NASA, 2004). Foi possível utilizar tal mosaico

como base de georreferenciamento após realizar controle de campo para aferição da acurácia do georreferenciamento desta base de dados.

Os dados *Geocover* da NASA/USA (NASA, 2004) possuem *pixels* reamostrados em 14.25 metros, são ortoretificados e georreferenciados para sistema de coordenadas planas, sistema de projeção UTM e datum WGS 84, sendo que sua precisão cartográfica satisfaz as necessidades deste estudo. Os pontos de controle a campo, colhidos com GPS de navegação com erro de localização de até 15 metros serviram para testar a adequação de tal mosaico, os quais podem ser visualizados como pontos amarelos/pretos na Figura 14 a seguir.

Foram confrontados também os vetores da rede de drenagem extraídos da base cartográfica oficial (DSG, 2004), os quais podem ser visualizados em azul na Figura 14.

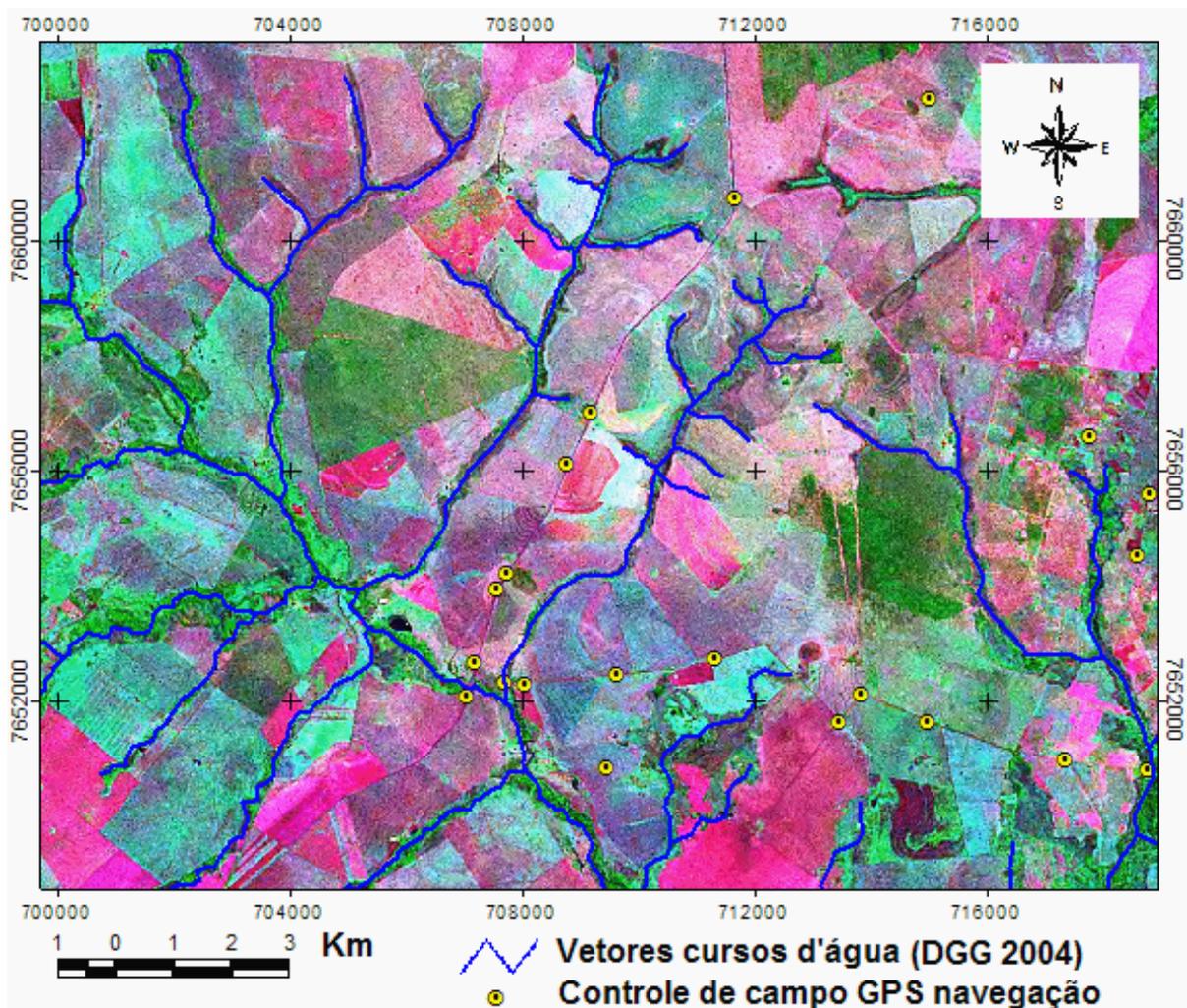


Figura 14: Imagem *Geocover* (NASA, 2004) correlacionada aos vetores (linhas azuis) do DSG, (2004) e aos pontos de controle de campo (pontos amarelos), mostrando a coincidência entre as feições das três diferentes fontes de dados.

Sabendo-se que as imagens CBERS 2/CCD possuem resolução espacial de 20 metros e o mosaico apresentado possui resolução espacial de 14,25 metros, admite-se que é possível identificar as feições em comum entre as imagens supracitadas mais facilmente do que na base DSG.

Na Figura 15 estão relacionados um recorte CBERS 2 a ser georreferenciado (B) em relação a duas bases para georreferenciamento: A carta topográfica da DSG de 1977 (C) e um recorte do mosaico *Geocover* (A).

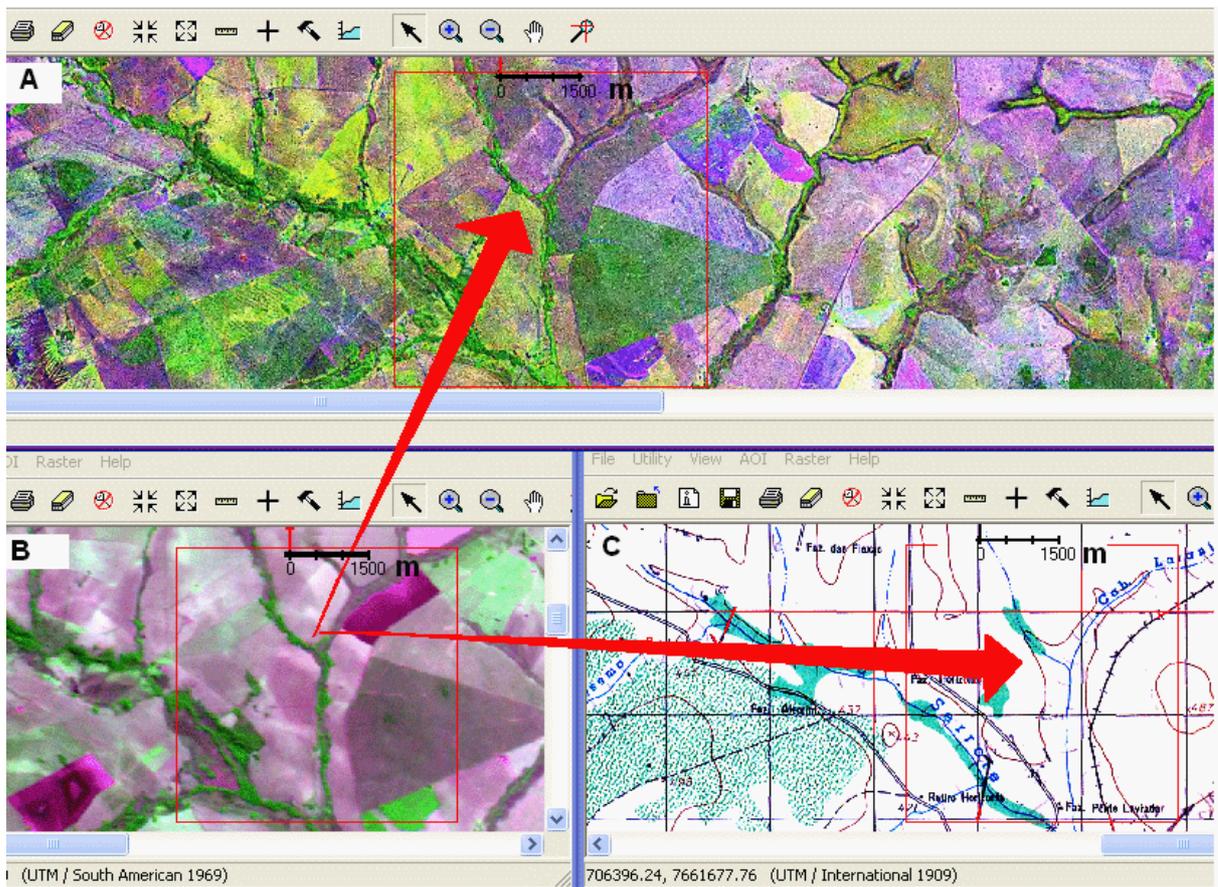


Figura 15: Justaposição de três janelas de visualização (viwer) do ERDAS 8.6 destacando o Mosaico *Geocover* como base para georreferenciamento de imagens CBERS 2. Estão relacionados em: (A) mosaico *Geocover*, (B) um recorte CBERS 2 e (C) o recorte DSG sendo que as áreas no retângulo vermelho e destacadas pelas setas são equivalentes e estão todas na mesma escala evidenciando que é mais fácil identificar as semelhanças entre (A) e (B) o que facilita a coleta de pontos para o georreferenciamento de imagens CBERS.

6.10 Classificação das imagens de satélite

A classificação de imagens é o agrupamento, baseado em semelhanças espectrais, das informações temáticas que podem ser mapeadas e depois analisadas. Esses agrupamentos são então designados em um tema denominado de classe.

Obtendo-se informações temáticas a partir de informações espectrais reduz-se o volume de dados e possibilita-se a análise das várias feições em uma imagem.

Tomando-se as imagens registradas como base de dados, foram feitas, via computador e controle de campo, a classificação do uso do solo.

Para tanto foram utilizadas as classificações não supervisionada e supervisionada, sendo que esta foi baseada nas classes de assinatura espectral propostas por PARANHOS F^o (2000). Para a classificação supervisionada foram utilizados nas duas imagens, Landsat (LANDSAT, 2002) e CBERS 2 (CBERS 2, 2004), praticamente as mesmas áreas de treinamento (AOIs) com o *software* Erdas (ERDAS, 2002), a fim de escolher as mesmas feições entre as diferentes imagens. Entretanto as AOIs utilizadas na classificação da imagem Landsat foram ajustados para as feições na imagem CBERS, principalmente quando houve alteração na ocupação do solo dentro da área de interesse analisada. Isso porque as imagens dos satélites Landsat (LANDSAT, 2002) e CBERS 2/CCD (CBERS 2, 2004) são de anos diferentes.

6.10.1 Classificação da imagem Landsat 7 ETM+ (LANDSAT, 2002)

Em geral todo procedimento metodológico foi aplicado às cenas de ambos os satélites. Inicialmente foram feitas as classificações não supervisionadas, separando-se aleatoriamente as feições em 16 classes, visando condensar todos os *pixels* da imagem original em apenas 16 agrupamentos. Isso torna mais fácil uma comparação entre imagens.

Neste método automático os *pixels* são agrupados em função das semelhanças de suas características espectrais. Neste procedimento não seria apropriado nomear as classes porque várias feições de uma mesma chave de classificação estão desagrupadas. Um exemplo disto é que as classes 14, 15 e 16 entre outras, constituem um único grupo denominado Pastagem. Já as classes 1 e 2 poderiam ser agrupadas numa chave para vegetação nativa e

subdividida em floresta aluvial e savana arbórea densa. Assim, na Figura 16 a legenda apresenta apenas as classes em ordem numérica.

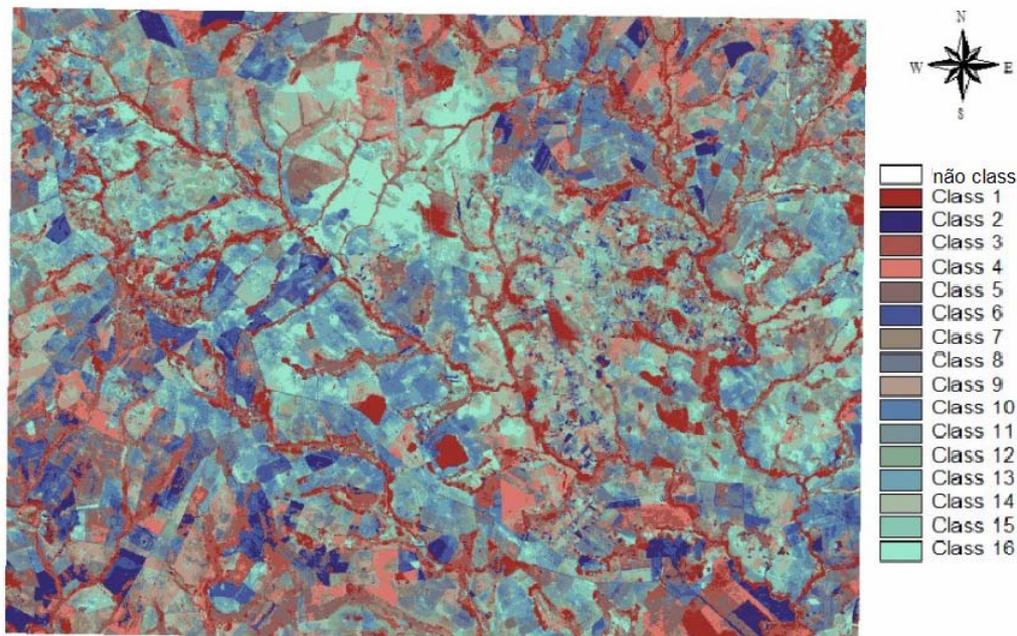


Figura 16: Classificação automática não supervisionada de imagem Landsat 7 ETM+ (LANDSAT, 2002) composição RGB 453.

A classificação automática não supervisionada prévia da imagem do Landsat 7 (LANDSAT, 2002), teve por objetivo nortear os procedimentos metodológicos de processamento para a imagem do CBERS 2/CCD. Assim não foi realizada a classificação supervisionada na imagem do Landsat 7, pois esta atividade já é amplamente discutida na literatura específica.

6.10.2 Classificação da imagem CBERS 2/CCD (CBERS, 2004)

O reconhecimento das potencialidades e definições de usos das imagens CBERS 2, bem como descrição de suas limitações, na identificação das feições naturais registradas pelo sensor CCD do CBERS 2 são produtos da análise da classificação supervisionada pelo método da classificação espectral utilizando a regra da Máxima Verossimilhança.

Antes de proceder a coleta das assinaturas espectrais das feições foram realizados trabalhos de campo para reconhecimento, registro fotográfico e localização geográfica com

apoio de GPS de navegação de amostras que seriam mapeadas. O resultado desta fase pode ser conferido na Figura 17 que segue.

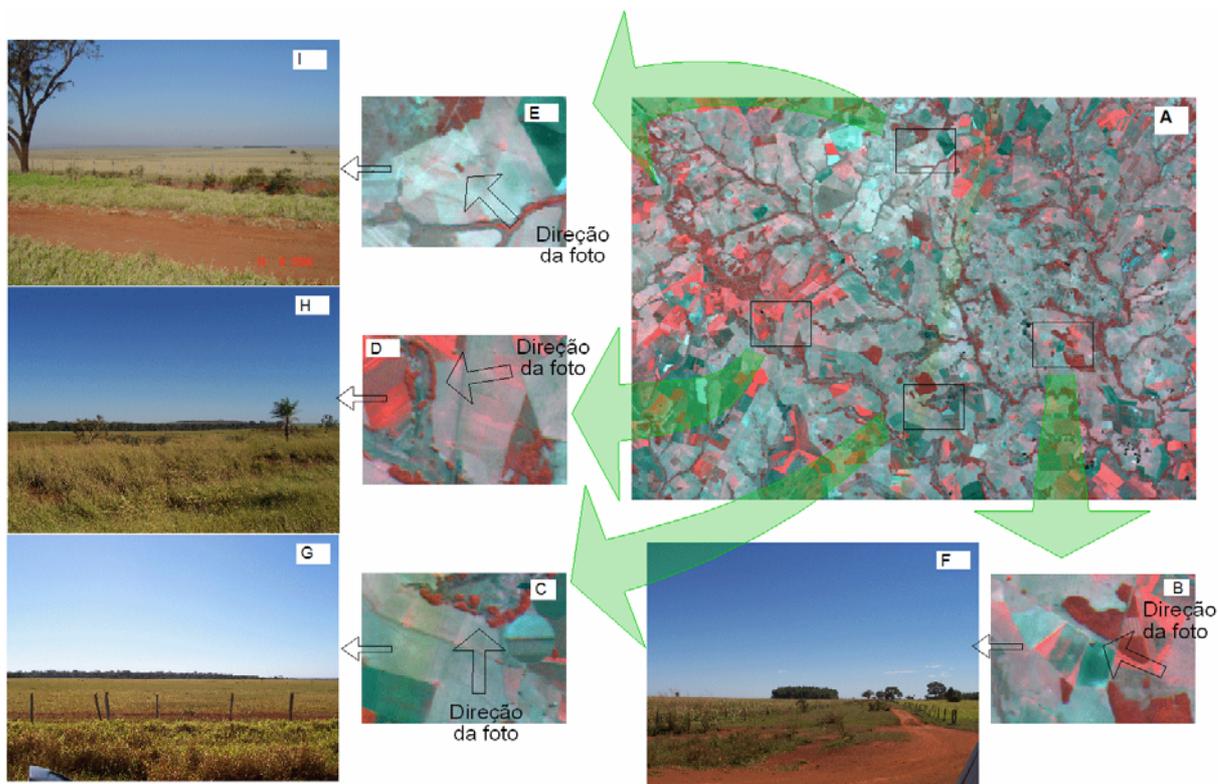


Figura 17: Reconhecimento, registro fotográfico e localização geográfica a campo de feições mapeáveis. Da Imagem (A) são recortados 4 retângulos (B, C, D e E) e ampliados o *zoom*, estes *subsets* estão relacionados respectivamente às fotos horizontais (F, G, H e I).

Tendo realizado o reconhecimento, registro fotográfico e localização geográfica a campo, procedeu-se, no laboratório a fase de seleção de no mínimo 06 amostras para cada assinatura espectral de cada uma das feições classificadas. A fim de evitar confusão espectral foi realizada avaliação das assinaturas no intuito de assegurar a representação de coberturas únicas do solo mapeado.

Para a definição das classes obtidas adotou-se como parâmetro, os conceitos apresentados por RIBEIRO & WALTER (1998), sendo que para este autor a vegetação do bioma Cerrado apresenta fisionomias que englobam formações florestais, savânicas e campestres. Em sentido fisionômico, floresta representa áreas com predominância de espécies arbóreas, onde há formação de dossel, contínuo ou descontínuo (GAMARRA, 2005).

O termo savana refere-se a áreas com árvores e arbustos espalhados sobre um estrato graminoso, sem a formação de dossel contínuo. Já o termo campo designa áreas com

predomínio de espécies herbáceo-arbustivas, com cobertura arbórea ausente ou sem destaque (RIBEIRO & WALTER, 1998).

A vegetação do Cerrado no sentido *latu sensu* é caracterizada por um estrato graminoso bem desenvolvido onde ocorre palmeiras, arbustos de aspecto tortuoso e árvores (12 a 15 metros). Tal vegetação reúne formações savânicas e campestres do bioma englobando de campo limpo até cerradão (RIBEIRO & WALTER, 1998).

Cerrado *stricto sensu* apresenta árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas em geral esparsas com estrato subarbustivo e herbáceo. Muitos indivíduos apresentam cortiça grossa e folhas coriáceas. O Cerrado denso apresenta uma formação arbórea de maior porte, com indivíduos que podem atingir de cinco a oito metros (RIBEIRO & WALTER, 1998).

Campo limpo e campo sujo são ambos caracterizados pela predominância de gramíneas e sendo que a flora do campo limpo não apresenta plantas lenhosas e o campo sujo apresenta alguns esparsos arbustos.

Cerrado ralo quando a camada lenhosa torna-se mais densa, com um aspecto mais fechado que o campo sujo com espécies que podem atingir de 3 a 6 metros de altura conforme descreveu RIBEIRO & WALTER, (1998).

6.10.3 Utilização de imagens do sensor CCD fusionadas às bandas IRMSS do CBERS 2

Uma comparação preliminar entre o resultado das classificações de imagens Landsat ETM+ e CBERS 2/CCD mostrou a necessidade de buscar uma melhor performance radiométrica deste Sensor, através do fusão entre bandas do CCD e IRMS do CBERS 2. O sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper Plus*) do Landsat 7 apresenta as bandas na faixa do visível (azul, verde e vermelho), infravermelho próximo, médio e distante, representadas respectivamente pelos números 1, 2, 3, 4, 5 e 7. Enquanto o sensor correspondente do CBERS 2, CCD (*Charge-Coupled Device*), apresenta apenas as faixas espectrais do azul, verde, vermelho e o infravermelho próximo, representados pelos números 1, 2, 3 e 4 respectivamente.

A falta de uma banda, no sensor CCD, que imageie (detecte) na faixa do infravermelho médio e distante tem limitado a identificação de várias feições na área da bacia estudada. Contudo, o CBERS 2 possui o sensor IRMSS (*Infrared Multispectral Scanner*

System) que imageia nas faixas do espectro infravermelho médio e distante (bandas 2, 3), e é possível afirmar que equivalem respectivamente as bandas 5 e 7 do Landsat, havendo uma pequena diferença no intervalo da faixa espectral captada (Tabela 9).

No intuito de melhorar a resolução espectral da imagem CCD foi realizada a fusão da banda pan do CCD às bandas 2 e 3 sensor IRMSS do CBERS 2. As bandas 2 e 3 fusionadas foram denominadas, neste trabalho, de bandas 5' e 7' respectivamente (Tabela 9).

A intenção foi verificar a separação de novas classes que somente com as bandas do CCD não são reveladas.

Tabela 9: Numeração correspondente entre as bandas dos sensores CCD e IRMSS do CBERS 2 e ETM+ do Landsat 7.

Número da banda para cada faixa do espectro eletromagnético dos sensores CCD e IRMSS do CBERS 2 e ETM+ do Landsat 7	Landsat ETM+	CBERS 2 IRMSS	CBERS 2 CCD	Fusão CCD IRMSS
Banda azul	1	Não tem	1	
Banda verde	2	Não tem	2	
Banda vermelho	3	Não tem	3	
Banda infravermelho próximo	4	Não tem	4	
Banda infravermelho médio	5	2	Não tem	5'
Banda infravermelho distante	7	3	Não tem	7'
Resolução espacial (m)	30	80	20	20

Fonte (INPE, 2005)

Assim, inicialmente inferiu-se que bastava associar as bandas do infravermelho médio e distante (2 e 3) do CBERS 2/IRMSS às bandas correspondentes no sensor ETM+ do Landsat 7 (5 e 7) e proceder conforme método de composição e tratamento de imagens descrito por (PARANHOS F^o, 2000) e a partir daí seria possível se obter dados confiáveis sobre a cobertura do solo extraídos das imagens CBERS 2/CCD fusionadas às CBERS 2/IRMSS.

Para isto foi realizado o georreferenciamento das bandas 2 e 3 do IRMSS, a seguir foi realizada uma composição padrão oferecida pelo *software* Erdas (Erdas, 2002) necessária à união destas bandas à banda pancromática do Sensor CCD. Assim as bandas 2 e 3 do IRMSS passaram a ter a mesma resolução espacial de 20 metros. Na seqüência foi realizado a composição final das bandas fusionadas com as bandas 2, 3, 4 e do CCD, quando então se obteve um arquivo imagem final com as bandas compostas na seguinte ordem: 2:3:4:5':7'.

6.11 Legenda do Projeto CORINE - Legenda utilizada

A Legenda CORINE tem sido adaptada com sucesso em diversos países; o IBGE adotou esta legenda como referência para mapeamento sistemático do uso da terra (IBGE, 2005). No trabalho *Contribuição à Caracterização Física do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari – MS CARRIJO* (2003), adaptou esta legenda à realidade das feições do norte do Mato Grosso do Sul.

Assim, no presente Trabalho a Legenda CORINE foi adequada às características da cobertura do solo e às especificidades da bacia do Rio Serrote, devido sua eficiência para trabalhos com SIG, Banco Dados relacional e dados obtidos por sensoriamento remoto.

6.12 Imagens de Radar utilizados como dados complementares

Conforme descrito pelo Centro de Ecologia da UFRGS (UFRGS, 2005) a missão do ônibus espacial de topografia por radar (SRTM) é um projeto internacional liderado pela Agência Nacional de Inteligência Geoespacial e pela *National Aeronautics and Space Administration of the United States of América* – NASA.

Executada pelo ônibus espacial Endeavour em 2000, os dados foram processados pela NASA e são distribuídos através do *United States Geological Survey's EROS Data Center* de acesso gratuito e a cobertura dos dados abrange a maior parte da superfície emersa da Terra entre as latitudes 60° Norte e 56° Sul (UFRGS, 2005).

Neste trabalho, os dados do modelo digital de elevação (DEM) do SRTM foram convertidos para o formato geotiff objetivando compatibilizar com os *softwares* adotados neste estudo. Utilizando o dado raster do SRTM no formato geotiff foi possível analisar os dados como demonstrado na Figura 18.

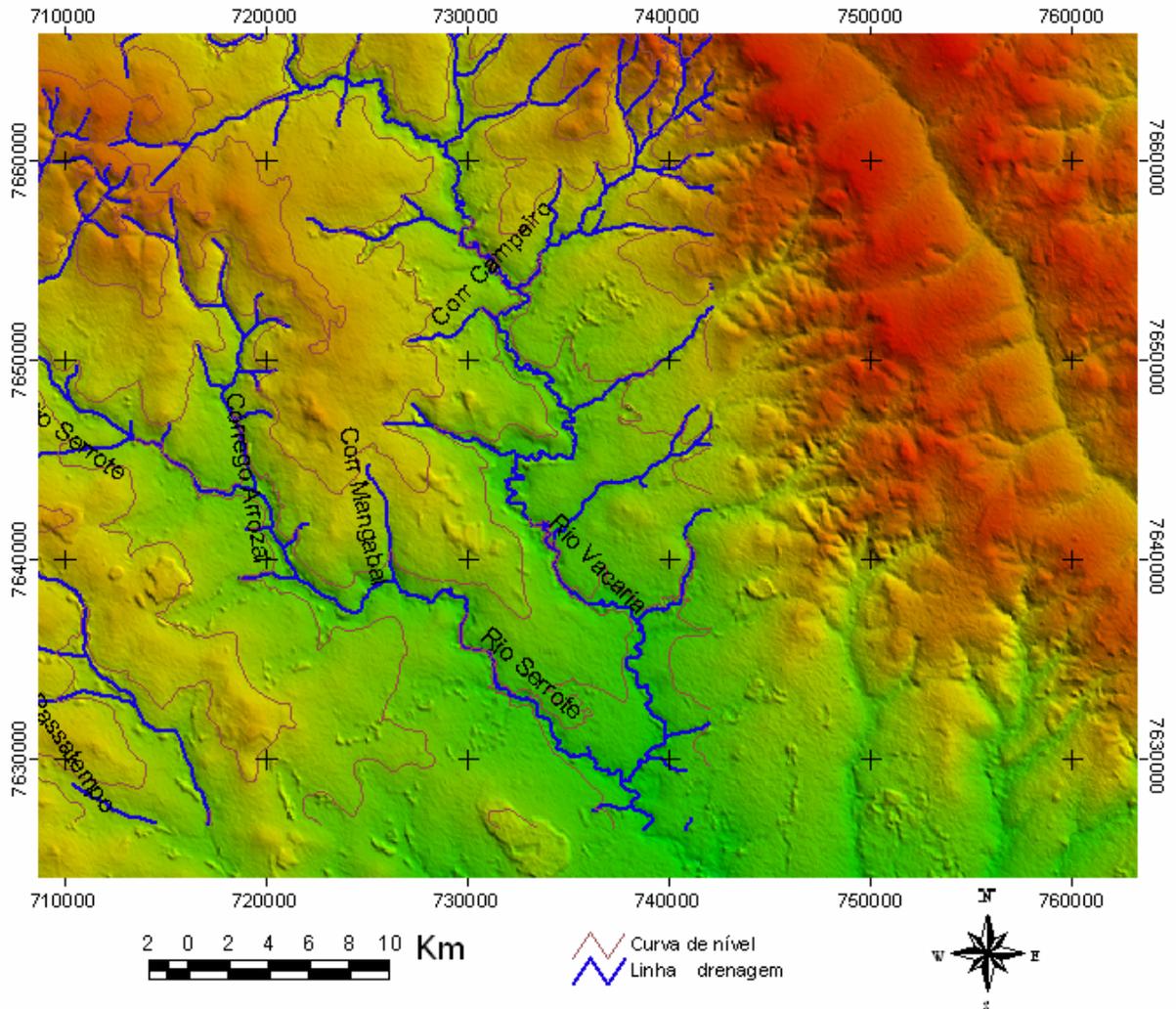


Figura 18: Modelo digital de elevação - DEM mostrando o correto posicionamento dos vetores digitalizados (azul) a partir da imagem CBERS 2 em relação aos fundos de vale visualizados no DEM (NASA, 2004).

Contudo estes dados complementares serviram para melhor análise das drenagens extraídas das imagens de satélite, que se observou bem encaixadas nos talwegues e que estão destacados em azul na Figura 18. Propositadamente o recorte do DEM extrapola a área estudada (lado direito da figura 18) apenas para evidenciar os detalhes do relevo que ficam mais evidentes sem a sobreposição dos vetores.

7 RESULTADOS E DISCUSSÕES

7.1 Imagem Landsat 7 utilizada como referência para análise das aplicações básicas do CBERS 2/CCD

Considerando que as imagens do Landsat 7 foram a referência para descrição da potencialidade das imagens do CBERS 2/CCD, a seguir é apresentada uma composição em cor natural do Landsat para os canais RGB: 3:4:5 demonstrada na Figura 19. É possível notar visualmente a riqueza de detalhes das feições presente na imagem.

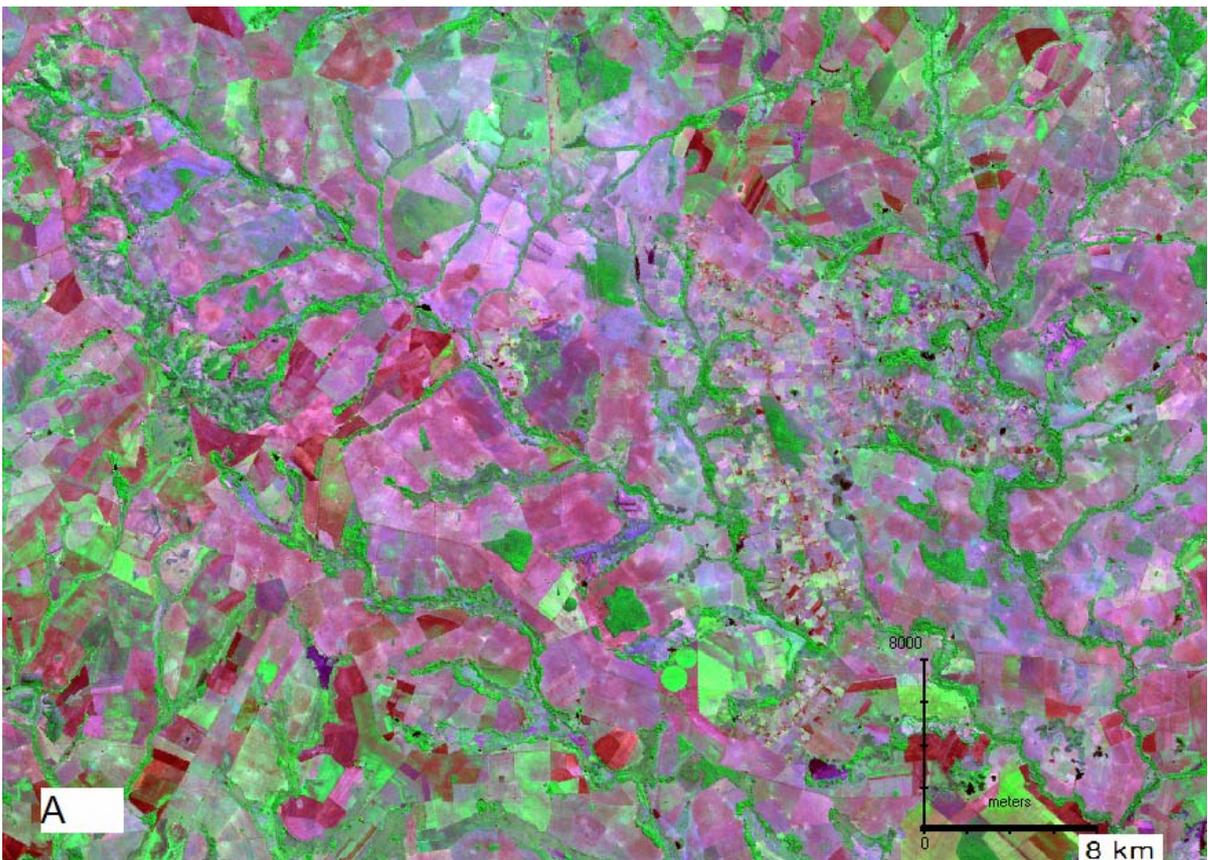


Figura 19: Imagem Landsat 7 de 2002 em composição RGB 3:4:5 onde se observa a riqueza de detalhes nas feições distinguíveis.

As imagens Landsat têm seu uso consagrado, em análises ambientais e neste trabalho atendeu a função de balizadora para avaliação de imagens CBERS 2. Para isto foi escolhida uma cena que possuísse todas as bandas, no intuito de garantir que as principais

aplicações do Landsat 7 pudessem referenciar as principais aplicações, possíveis para o CBERS 2/CCD no reconhecimento da cobertura do solo para fins de fiscalização ambiental.

7.2 Ruídos resultantes do imageamento

Na figura 20 são apresentados os recortes do retângulo envolvente da bacia do Rio Serrote, extraídos da cena de 26 de julho de 2004 do sensor CCD. Estão em destaque cada uma das bandas da faixa do visível com seus respectivos problemas de ruídos. Na Figura é ainda mostrada a imagem composta para os canais RGB 3:2:1 a partir destas três bandas apresentadas.

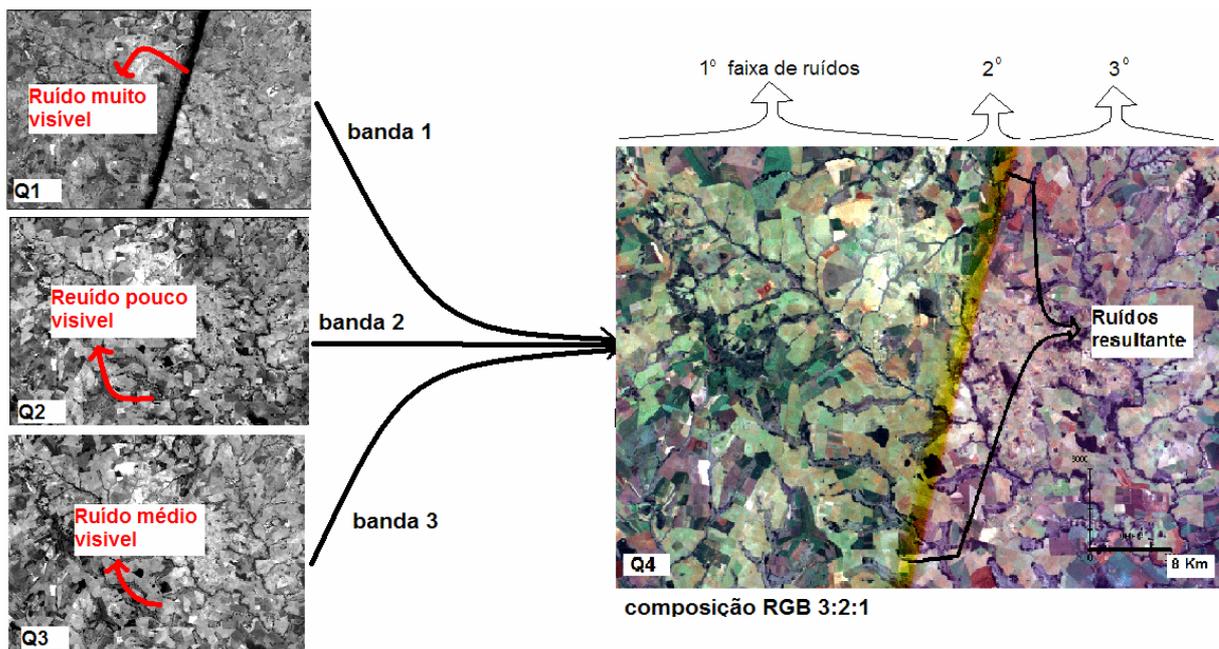


Figura 20: Estão destacadas as 3 bandas da faixa do visível do CBERS 2/CCD. Em Q1 tem-se a da banda 1 (azul) com ruídos muito visíveis; em Q2 a banda 2 (verde) com poucos ruídos visíveis; em Q3 ruídos medianamente visíveis na banda 3 (vermelho) e em Q4 a Composição das três bandas 3:2:1 (visível) para canais RGB onde é possível observar três faixas de ruídos resultante após a composição.

Nesta composição, destacada na figura 20 (em Q4), pode se notar os ruídos resultantes e intensos que são oriundos das bandas 1, 2 e 3. Na parte direita da composição em Q4 tem-se a ausência de informações principalmente da faixa do espectro azul, devido aos problemas da banda 1, o que não ocorre na parte esquerda desta composição. Na porção

central dos recortes é possível notar uma faixa diagonal com intensa concentração de ruídos que fica mais intenso na composição em Q4 da Figura 20. Os ruídos são amplificados pela somatória dos ruídos presentes nas três bandas.

Foi constatada a interferência de tais ruídos nos produtos da classificação da imagem e por isso as bandas 1 (azul) e 3 (vermelha) foram descartadas. A discussão de tais interferências será tratada no item sobre classificação.

As bandas 4 e 5 desta mesma cena apresentaram ruídos pouco significativos no âmbito deste trabalho e podem ser visualizadas na Figura 21 (Q1) (Q2), aonde é também apresentada a imagem composta (Q4) a partir das bandas 4, 5 e 2 respectivamente para os canais RGB.

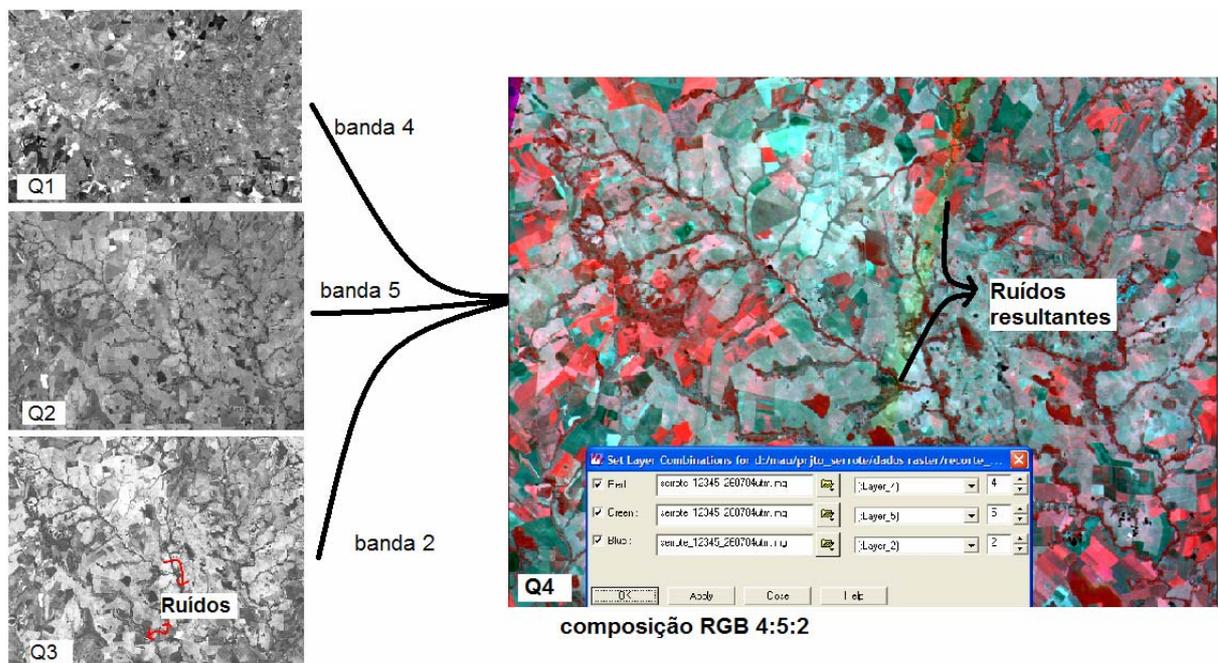


Figura 21: Em Q1, Q2, Q3 estão ordenadas as bandas 4, 5 e 2 respectivamente, sendo que somente na banda 2 foi notado ruído. O recorte Q4 é a composição 4:5:2 para canais RGB, evidenciando que é possível dirimir os ruídos para uma determinada composição. Em Q4 aparece na parte inferior do recorte, a janela da ferramenta *Band Combinations* do Erdas (ERDAS, 2002), utilizada para mudar a ordem das bandas quando necessário.

Para a composição 4:5:2 (Figura 21) os ruídos resultante são, em maior parte, oriundos apenas da banda 2 e por isso são menores que aqueles apresentados na composição 3:2:1 (Figura 20).

Por isso a composição final para extração das feições, por meio de classificação automática da imagem, teve que ocorrer apenas com as bandas: (2) verde, (4) infravermelho próximo e (5) pancromática.

Tais ruídos têm origem no fato de que, cada banda oriunda do CCD é constituída por 3 matrizes com centenas de detectores cada. Essas matrizes devem estar opticamente alinhadas entre si e seus detectores devem estar calibrados entre si e ajustados em relação às matrizes. Entretanto essa perfeita calibração nem sempre é possível conforme informou a Divisão de Geração de Imagens do INPE (INPE, 2005), que orientou para substituição de bandas que apresentarem muitos ruídos.

7.3 Comparação das assinaturas espectrais

Uma das dificuldades encontradas para comparar as imagens e suas respectivas assinaturas espectrais, foi o fato da imagem do Landsat 7 ser de 2002 e a Imagem CBERS 2/CCD de 2004. Isso não foi possível evitar porque não houve disponibilidade, neste projeto para as imagens do mesmo ano entre os dois satélites haja vista que o Landsat 7 parou de operar em 2003 e o CBERS 2 somente começou a disponibilizar imagens em 2004. Embora sejam de anos diferentes, ambas as imagens são de períodos de estiagem, para evitar nuvens, além do que este período coincide com a época de colheita e preparo do solo, o que geralmente torna mais fácil a classificação.

No intuito de fazer uma correlação, entre as assinaturas espectrais dos satélites Landsat 7 e CBERS 2 foram relacionadas as faixas espectrais de cada banda dos sensores CCD e IRMSS do satélite CBERS 2 e as faixas espectrais de cada banda do sensor ETM + do Landsat 7 (Tabela 10).

As bandas das faixas espectrais do azul, verde, vermelho e infravermelho próximo, são respectivamente numerados de 1, 2, 3 e 4 igualmente nas imagens do CCD do CBERS 2 e do ETM+ do Landsat 7.

Porém a banda pancromática do CBERS 2/CCD recebe o número 5 e sua correspondente do Landsat 7 recebe o número 8. É muito útil compreender isto porque o *software* Erdas (ERDAS, 2002) enumera automaticamente o arquivo em função da ordem de entrada quando da composição da cena.

Assim as bandas 5, 6 e 7 do ETM+ são equivalente aos intervalos espectrais das bandas 2, 4 e 3 do IRMSS respectivamente. Cabe destacar que o símbolo das bandas tem origem nas letras iniciais (em inglês) das cores correspondentes (Tabela 10).

A Tabela 10 mostra a similaridade das faixas espectrais imageadas, entre ambos os instrumentos, onde é possível constatar a similaridade das faixas espectrais correspondentes entre os satélites em questão.

Tabela 10: Faixas espectrais de cada banda dos sensores CCD e IRMSS do CBERS 2 e ETM+ do Landsat 7

Instrumento	Banda	Faixa espectral	Simbologia
CCD CBERS 2	1	0,45 - 0,52 μm (azul)	B
	2	0,52 - 0,59 μm (verde)	G
	3	0,63 - 0,69 μm (vermelho)	R
	4	0,77 - 0,89 μm (infravermelho próximo)	NIR
	5	0,51 - 0,73 μm (pancromática)	PAN
IRMSS CBERS 2	1	0,50 - 1,10 μm (pancromática)	
	2	1,55 - 1,75 μm (infravermelho médio)	
	3	2,08 - 2,35 μm (infravermelho médio)	
	4	10,40 - 12,50 μm (infravermelho termal)	
ETM+ Landsat 7	1	0,45 a 0,52 μm - azul	B
	2	0,52 a 0,60 μm - verde	G
	3	0,63 a 0,69 μm - vermelho	R
	4	0,76 a 0,90 μm - infravermelho próximo	NIR
	5	1,55 a 1,75 μm - infravermelho médio	SWIR
	6	10,4 a 12,5 μm - infravermelho termal	TIR
	7	2,08 a 2,35 μm - infravermelho distante	FAIR
	8	0,50 - 0,90 μm - pancromática	PAN

Fonte (INPE, 2004) e (EMBRAPA, 2004)

A similaridade entre os sensores discutida acima está demonstrada ainda na Figura 22, onde é possível constatar através do gráfico, a correspondência entre as faixas espectrais

capturadas por ambos os satélites para os alvos vegetação, água limpa e turva, bem como para solo arenoso e solo argiloso.

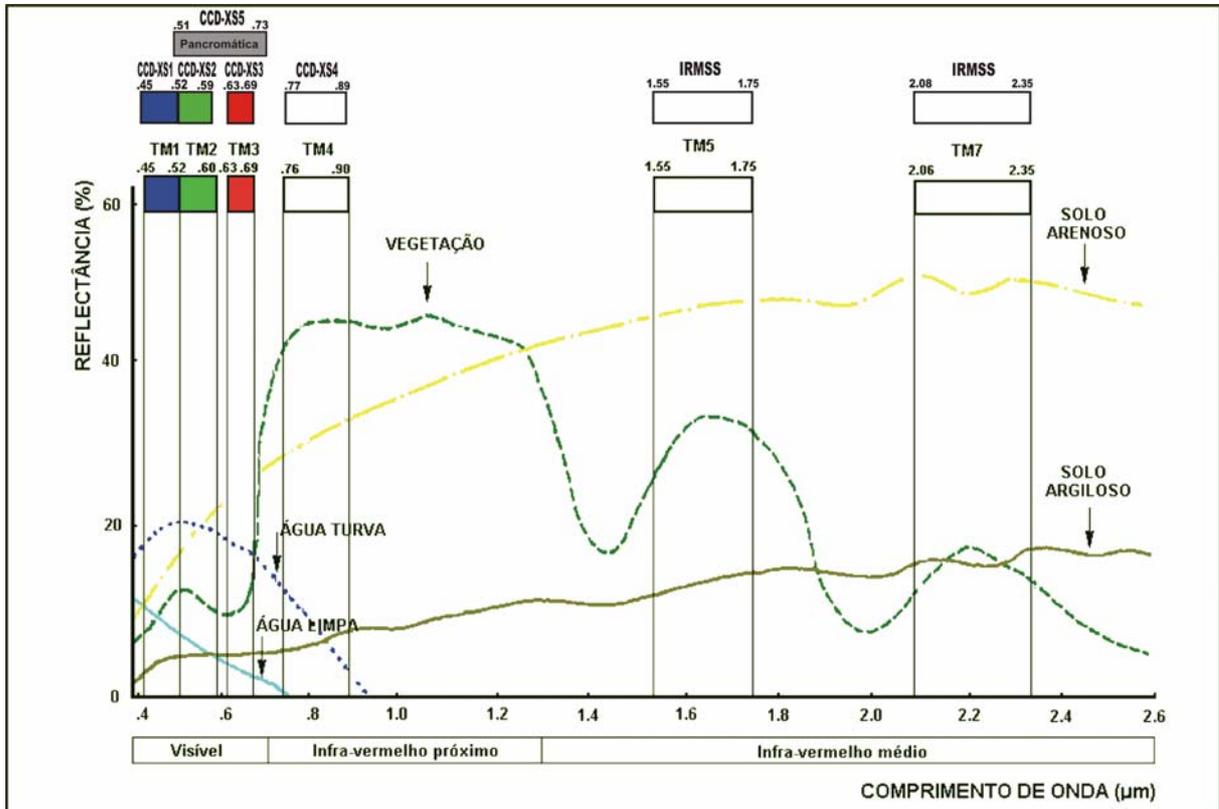


Figura 22: Gráfico comparativo das respostas espectrais do Landsat 5 e CBERS 2, nas barras superiores do gráfico estão representadas as cores correspondentes das faixas espectrais do sensor CCD e logo abaixo as barras representando o sensor TM. As barras em branco representam as faixas infravermelho. (SORIANI, inédito).

O gráfico da figura 22 comparou o sensor CCD do CBERS 2 ao TM do Landsat 5, o que não inviabiliza a análise tendo em vista que este sensor possui praticamente a mesma calibração das faixas espectrais do ETM+ do Landsat 7 (WENDE, 2004). Nos tópicos seguintes serão apresentados os resultados, nas imagens, da faixa espectral imageada em cada um dos satélites.

Para ilustrar, na Figura 23 (A), a imagem foi composta com as bandas 4:3:2 para os canais RGB, evidenciando ruídos oriundos da banda 2 e 3. Para evitar ruídos, excluiu-se a banda 3, que foi substituída pela pancromática. Esta composição final pode ser visualizada na Figura 23 (B).

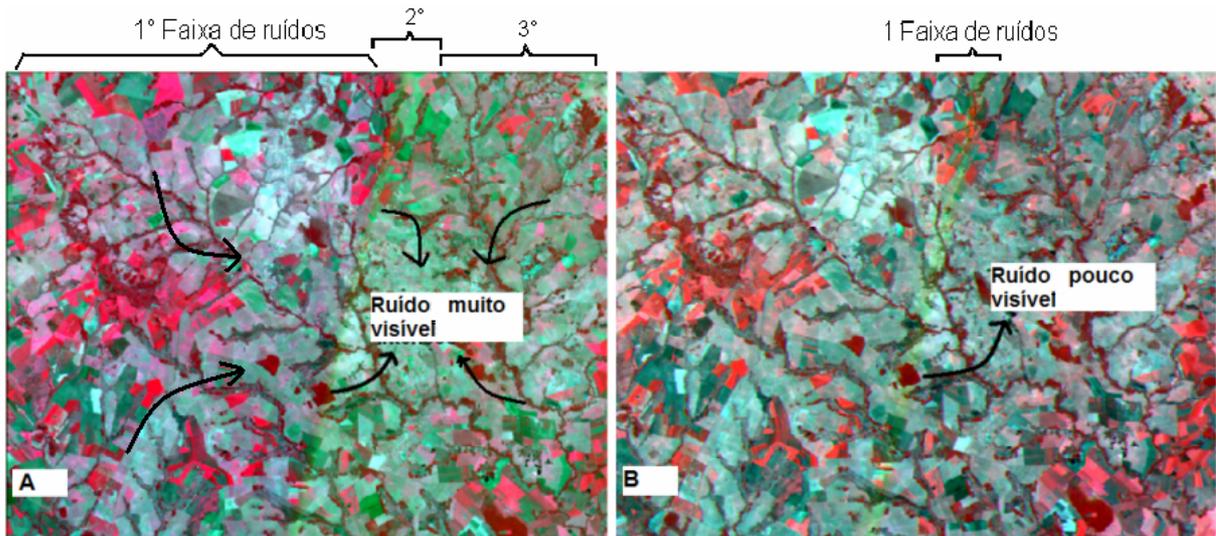


Figura 23: (A) Composição CBERS 2/CCD RGB 4:3:2 apresenta ruídos muito visíveis oriundos das bandas 2 e 3. (B) composição CBERS 2/CCD RGB 4:5:2, ruído pouco visível oriundo da banda 2.

Embora sejam equivalentes as faixas espectrais representadas na composição RGB 4:3:2 do CBERS 2 (Figura 23 A), às faixas espectrais da composição 4:3:2 da imagem Landsat 7 (Figura 24 A), visualmente elas se apresentam diferentes devido ao contraste desigual na exibição das imagens.

Na Figura 24 (B) é apresentada uma composição RGB 4:5:3 do Landsat 7, constituindo portanto falsa cor. Mas neste caso a banda 5 se refere ao infravermelho médio e não pancromática como a do CBERS 2/CCD.

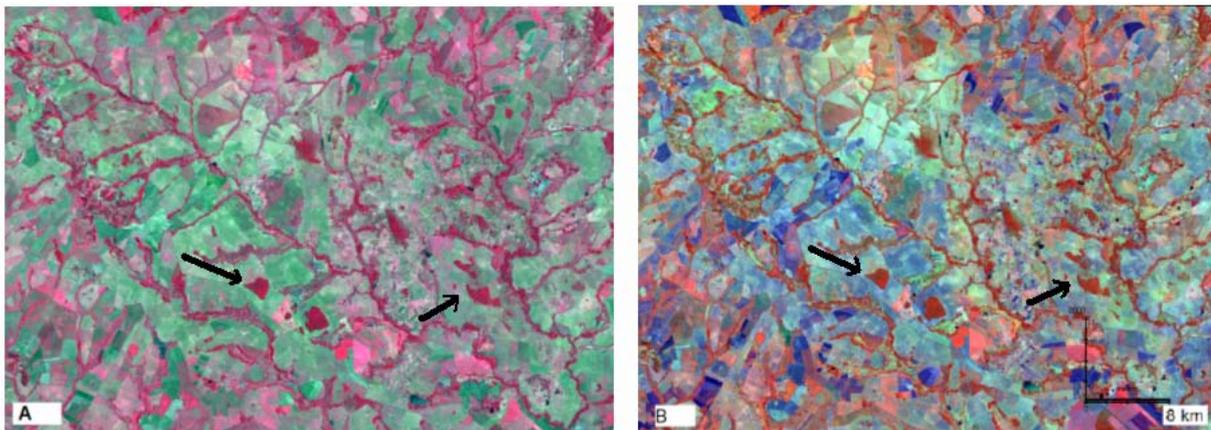


Figura 24: Composições falsa cor do Landsat 7 ETM+ em (A) tem-se uma composição em RGB 4:3:2 e (B) RGB 4:5:3 destacando a vegetação nativa em vermelho intenso destacados pelas setas.

Na composição falsa cor em RGB 4:5:3 é possível destacar a vegetação nativa em vermelho intenso, que inclusive encontra-se resumida a poucos remanescentes e áreas de vegetação ciliar.

É importante reafirmar que a imagem Landsat 7 ETM+ foi composta com todas as bandas disponíveis, ou seja 1, 2, 3, 4, 5, 7 e 8, para melhor caracterizar a comparação com a imagem CBERS 2/CCD.

Neste sentido, são apresentadas a seguir imagens do ETM+ do Landsat 7 e do CBERS2/CCD a fim de possibilitar comparação visual entre imagem compostas com bandas correspondentes na mesma faixa espectral (Figura 25).

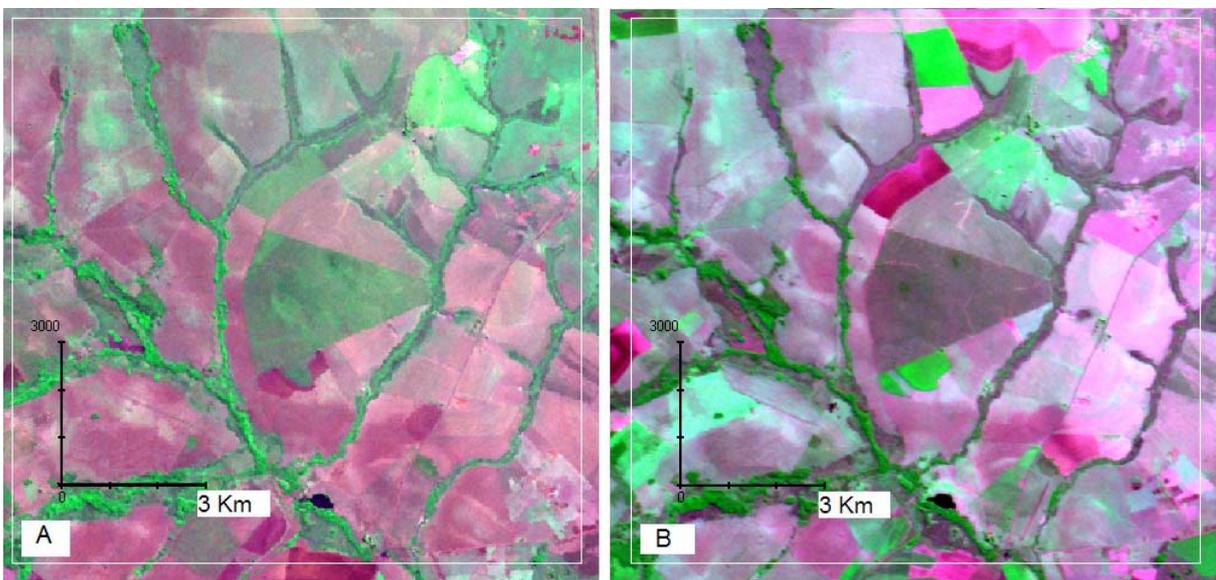


Figura 25: Em A e B são respectivamente as imagem Landsat 7 ETM+ e CBERS 2/CCD compostas com as bandas espectrais correspondentes entre ambos os sensores para os canais RGB 3:4:2

Neste caso em que foram compostas com as bandas correspondentes, visualmente a imagem CBERS 2/CCD possibilita identificar as mesmas feições que são possíveis de identificação na imagem ETM+ do Landsat 7.

As imagens estão em composições cor natural, o que possibilita a visualização da vegetação nativa em verde escuro enquanto o solo exposto aparece em tons de rosa claro.

Na seqüência, duas composições da imagem do CBERS 2/CCD, da cena 163- 124 de 26 de julho de 2004 (INPE, 2004), são comparáveis visualmente quando da substituição da banda 3 pela banda 5, haja vista que a banda 3, devido aos ruídos, não pôde ser utilizada. Assim na Figura 26 (A), a banda 3 foi substituída pela banda 5 (pancromática) na Figura 26 (B).

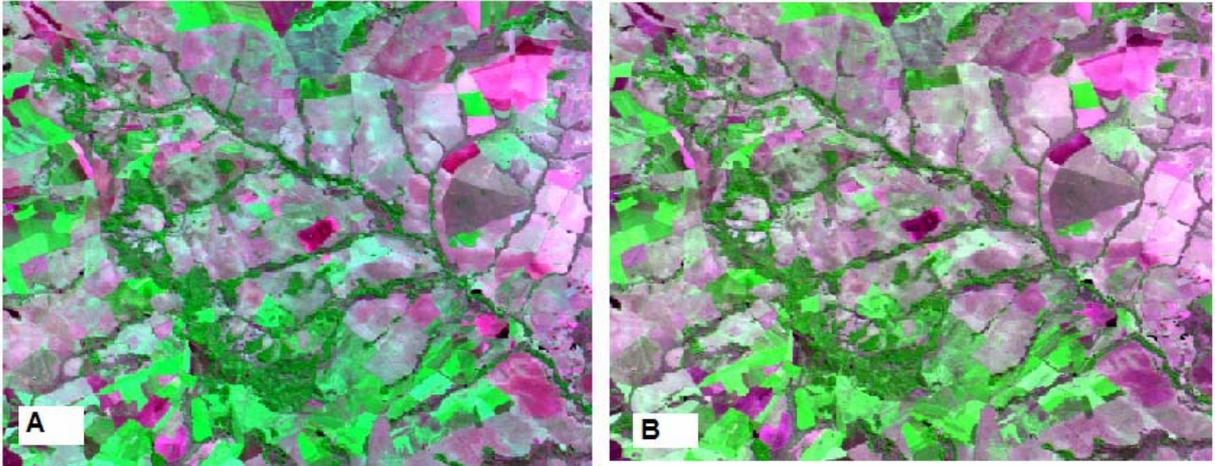


Figura 26: (A) RGB 3:4:2 e (B) RGB 5:4:2 ambas composições para cor natural do CBERS 2/CCD mostrando que é possível, visualmente, identificar as mesmas feições.

Comparando as Figuras 26 (A) e (B) acima, pode se notar pequena diferença na coloração de alguma feições dada pela ausência da banda 3 no recorte (B), principalmente de áreas vegetadas. Porém dada a necessidade, é possível substituí-la pela pancromática ainda que pareça haver perda na resolução radiométrica.

Assim denota-se mais uma função e importância da utilização da banda pancromática, ou seja, substituir eventualmente bandas que forem descartadas.

A seguir, na Figura 27 (A) e (B) estão justapostas uma composição da imagem Landsat 7 e CBERS 2/CCD para cor natural. Assim é possível, visualmente, comparar as imagens ETM+ e CCD respectivamente.

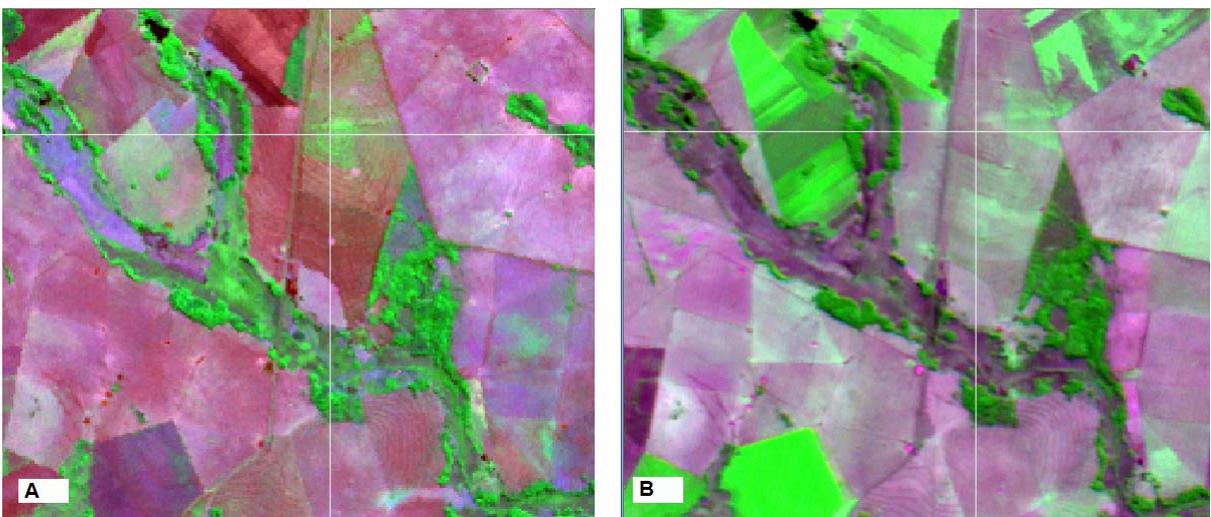


Figura 27: (A): Landsat 7 ETM+ em RGB 3:4:5 e (B): CBERS 2/CCD em RGB 5:4:2 onde apesar das diferenças espectrais, visualmente é possível identificar as feições em comum entre as imagens.

Assim foi possível reconhecer as feições em comum entre as imagens e desta forma a maioria do que foi identificado na imagem Landsat 7 ETM+ foi também identificado na imagem CBERS 2/CCD.

O fato de as imagens serem de anos diferentes interferiu na comparação, mas ainda assim foi possível constatar a semelhança na potencialidade para mapeamento da ocupação do solo entre as imagens comparadas.

Quando se estiver tratando de assinaturas espectrais e independentemente do sensor que tenha gerado a imagem, numa dada composição, dois aspectos devem ser considerados:

1º) a configuração do *software* nas preferências dos canais RGB;

2º) a ordem de seleção de cada banda quando da composição de uma cena. Neste caso pode se elaborar um arquivo texto para seguir anexado com informações principais do trabalho realizado na imagem.

Sem essa atenção, seria possível que o foto-intérprete inferisse erroneamente sobre a resposta espectral de um determinado alvo e a banda que melhor se aplica para analisá-lo. Assim, para evitar confusão na identificação de uma determinada composição, é imprescindível mencionar no texto referente da figura, a relação numérica e nominal de cada banda.

7.4 Classificação da imagem CBERS 2/CCD pelo método não supervisionado

A imagem CBERS 2/CCD foi classificada primeiramente pela forma não supervisionada. Em função da semelhança espectral dos *pixels*, foram gerados 16 grupamentos a fim de aglutinar as respostas espectrais de uma determinada feição.

Para analisar a interferência dos ruídos, discutidos anteriormente, foram feitas classificações a partir da composição RGB 2:3:4 onde se observou ruídos visivelmente fortes. Assim na Figura 28 pode se comparar visualmente e através do cálculo estatístico o resultado das feições classificadas.

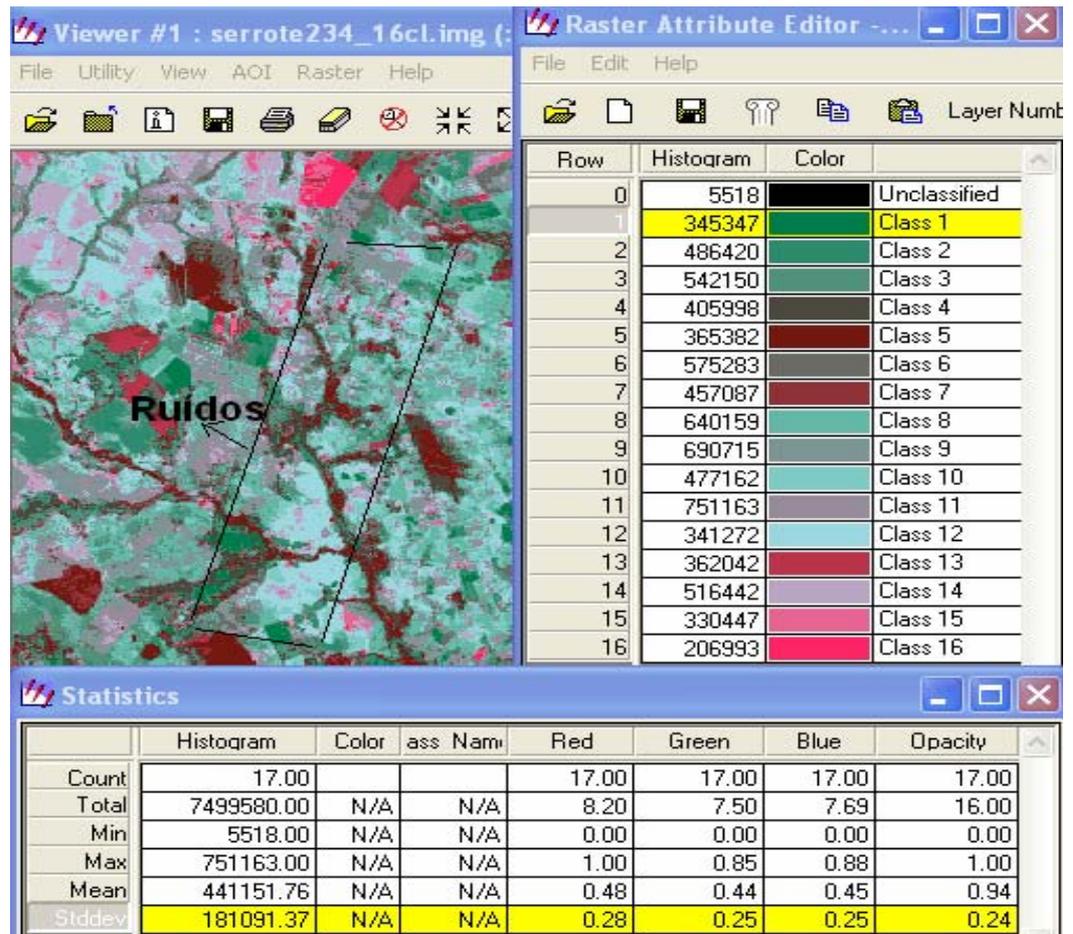


Figura 28: A classificação não supervisionada da imagem CBERS 2/CCD para composição RGB 2:3:4 apresenta ruídos que estão destacados no retângulo transversal no centro da imagem; na tabela a direita são apresentados os atributos de cada uma das classes e na tabela da borda inferior da figura, são apresentados cálculos estatísticos com destaque em amarelo para o desvio-padrão desta classificação.

A imagem na Figura 28 mostra que o produto da classificação não supervisionada sofreu interferência dos ruídos oriundos das bandas 2 e 3. Nesta Figura estão destacados também a tabela de atributos com a frequência dos *pixels* para cada classe gerada bem como o cálculo estatístico mostrando o número de classes selecionadas (*Count*), as frequências mínimas (*Min*) e máximas (*Max*), a média (*Mean*) e desvio-padrão (*Stddev*) dos atributos das classes.

Ainda nesta figura estão destacados em amarelo o desvio-padrão igual a 181091.37 e a classe 01 representada pela cor verde escura, apresentou uma frequência absoluta de 345347 *pixels*.

A imagem composta para os canais RGB 2:4:5, onde se observou poucos ruídos, também foi classificada pelo mesmo método não supervisionado.

Na classificação a seguir é possível observar que devido a eliminação da banda 3 (substituída pela banda pancromática), os ruídos resultantes ficaram menores. Entretanto, as classes separadas automaticamente pelo classificador apresentaram muita variação. Tanto que a classe 01 ficou representada pela cor preta e frequência absoluta de 184004 *pixels* conforme o histograma da Figura 29. Nesta classificação o desvio-padrão foi 169980.61, ou seja, menor que na anterior.

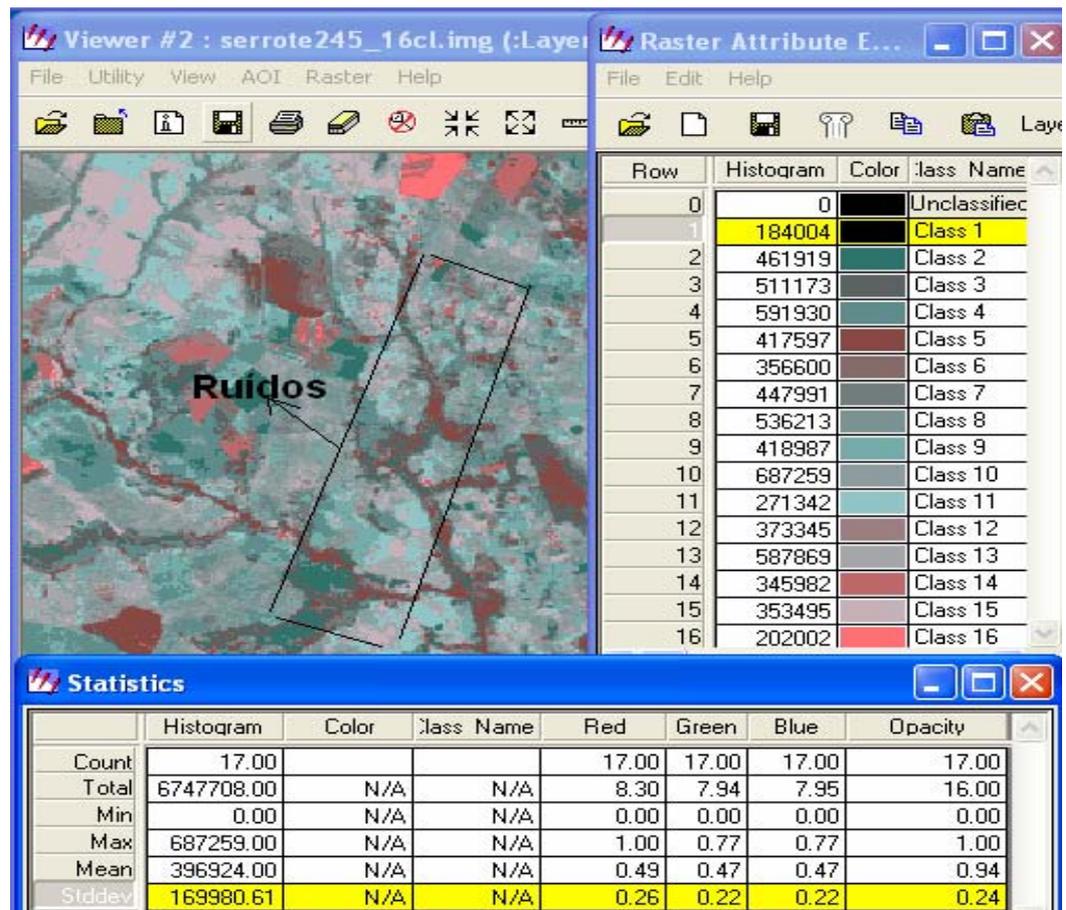


Figura 29: Classificação não supervisionada de imagem CBERS 2/CCD composição RGB 245 apresenta ruídos que estão destacados no retângulo transversal no centro da imagem; na tabela a direita são apresentados os atributos de cada uma das classes e na tabela da borda inferior da figura, são apresentados cálculos estatísticos com destaque em amarelo para o desvio-padrão desta classificação.

Pôde-se observar para a classificação RGB 2:4:5 (Figura 29) que o desvio-padrão do histograma das classes geradas foi quantitativamente menor que a anterior, entretanto não é possível dizer que isto é resultado unicamente da diminuição dos ruídos, mas também da própria diferença de bandas na composição da imagem. Nesta figura estão destacados em amarelo o desvio-padrão e a classe 01 que neste caso foi representada pela cor preta. Contudo

há uma relação direta de quanto mais bandas com ruídos, maiores serão as chances de interferências no resultado da classificação automática.

Assim quando ocorrer problemas dessa natureza seria possível inferir que o ideal é não realizar classificação não supervisionada para esta situação

7.5 Classificação da imagem CBERS 2/CCD pelo método supervisionado

Após seleção das áreas representativas das feições que se desejava classificar foram analisadas cada uma das amostras para assegurar resultados condizentes com a realidade observada em campo. Nos gráficos relacionados a seguir, quando o histograma for do tipo unimodal estará representando valores de assinaturas semelhantes ao redor dos valores médios e quando bimodal pode estar representando diferentes coberturas de solo.

Na Figura 30 a seguir foram selecionadas duas assinaturas distintas entre si: corpos d'água e solo exposto visando realizar uma avaliação comparativa.

Nos gráficos seguintes as bandas 2 (azul), 4 (infravermelho próximo) e 5 (pan) são automaticamente enumerados como 1, 2 e 3 respectivamente, mas representadas nos histogramas C, D e E nas Figuras 30 e 32.

Para o eixo das abscissas estão representados os números de bandas e para o eixo das ordenadas estão representados os valores médios das assinaturas espectrais de cada feição analisada.

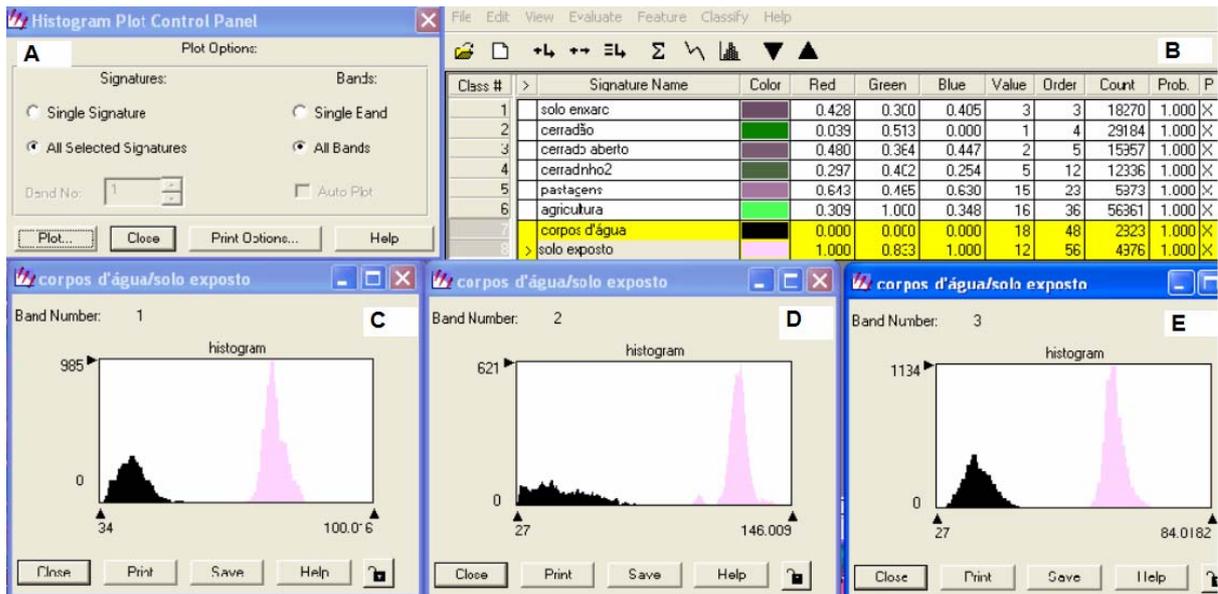


Figura 30: No painel de opções (A) foram selecionadas todas as 3 bandas para as 2 assinaturas selecionadas que estão destacadas em amarelo na tabela (B). Os histogramas C, D e E apresentam análises comparativas entre as classes solo exposto e corpos d'água para as bandas 2, 4 e 5 respectivamente.

Pode se observar uma resposta espectral bem distribuída de ambas as feições, solo exposto e corpos d'água nas bandas 2 (azul) e 5 (pan) nos histogramas C e E da Figura 30. Contudo no histograma D para análise da banda 4 (infravermelho), principalmente a assinatura espectral da água, apresentou uma desconformidade, o que seguramente pode levar a uma incorreta separação da feição de interesse. Isto provavelmente levou o classificador a promover a junção de áreas queimadas à classe corpos d'água que é demonstrado na Figura 31 a seguir.

Áreas queimadas foram classificadas como sendo corpos d'água, ou seja, foram agrupadas feições do tipo lagoas, açudes e demais corpos d'água juntamente com queimadas em um único agrupamento (Figura 31).

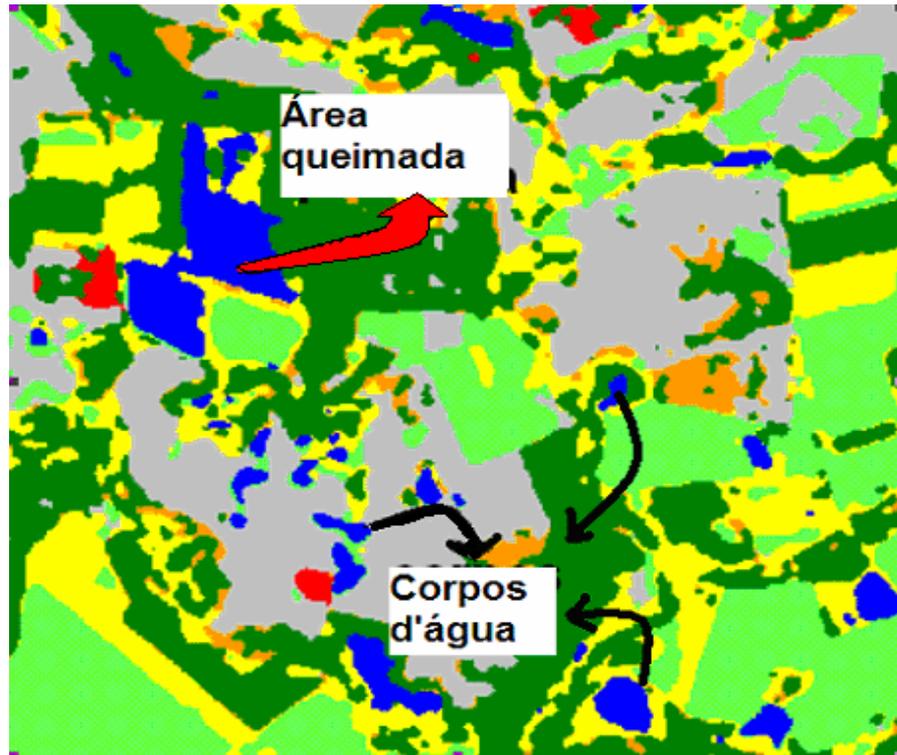


Figura 31: Confusão espectral entre áreas queimadas e corpos d'água; A feição grande, de limites retilíneos em azul destacado pela seta vermelha na parte superior da figura é uma área queimada que o classificador automático agrupou na classe corpos d'água, estes estão distribuídos principalmente na parte inferior da figura e destacados pelas setas pretas.

O fato de certos tipos de queimadas apresentarem comprimentos de onda semelhantes às de áreas úmidas pode ter sido a causa para esta confusão espectral, onde o classificador agrupou erroneamente corpos d'água e queimadas.

Nos histogramas a seguir são realizadas análises da distribuição das assinaturas espectrais para a classe pastagens. Assim na Figura 32 os histogramas C, D e E apresentam a distribuição da assinatura espectral da feição pastagens para as bandas 2, 4 e 5 respectivamente.

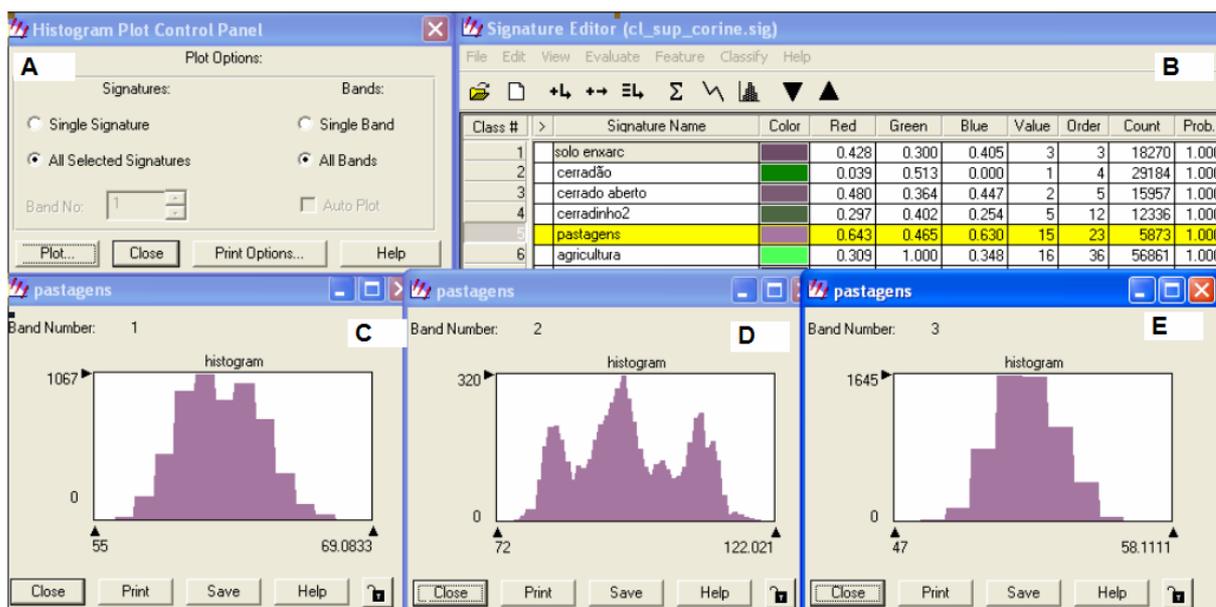


Figura 32: Os histogramas C, D e E apresentam análises da feição pastagens para as bandas 2, 4 e 5 respectivamente. No painel de opções (A) foram selecionadas todas as 3 bandas para a assinatura selecionada que esta destacada em amarelo na tabela (B).

Nota-se claramente a confusão espectral na assinatura de pastagens na banda 4 (histograma D), principal responsável por registrar as ondas eletromagnéticas refletidas pela vegetação. Assim no histograma D tem-se um histograma trimodal o que está relacionado a grande variação da resposta espectral das amostras. Haja vista que esse tipo de cobertura apresenta uma grande variação da biomassa vegetal, pois há pastos com pouquíssima cobertura vegetal, podendo ocorrer em alguns casos, pastagens degradadas e erosões laminares. E na mesma região, há várias áreas com pastagens bem formadas e densas (pasto bom) e em alguns casos, ocorre um aumento da biomassa vegetal devido a regeneração do cerrado (pasto sujo). Ou seja, a confusão espectral pode ter sido ocasionada principalmente devido a grande variação no manejo do pasto, além da influência da umidade do solo.

Seria possível, em algum estudo de manejo de pastagem, utilizar imagens CBERS 2/CCD para separar os diversos tipos de uso. Pois a variação observada ocorre sempre entre um talhão e outro. Neste trabalho, entretanto, não foi necessário separá-los e por isso foram todos agrupados na mesma classe pastagens.

Essa mesma confusão espectral aparece para o agrupamento agricultura, pois o solo pode estar sendo preparado para o plantio e assim apresentar-se como solo exposto, ou então apresentar vegetação. Mas como são muitas as culturas na região, sendo a maioria perene tais como: soja, milho, milho e sorgo entre outras, fica difícil para o classificador, por melhor que seja a calibração do *software*, colocar toda essa variedade no mesmo

agrupamento. Mesmo sem levar em conta os estágios de desenvolvimento de cada uma das culturas e sem considerar a umidade do solo, a resposta espectral é sempre muito variável nestes casos.

Visualmente um foto-intérprete poderia distinguir cada uma das feições pela forma, padrão espacial e textura. Porém o classificador automático utilizado não se orienta pelo objeto, mas apenas pela resposta espectral do alvo. Assim seria conveniente realizar sucessivas classificações, ajustando a calibração até se chegar em a uma condição aceitável do agrupamento das classes de interesse.

Nos gráficos da Figura 33 abaixo onde é apresentada a avaliação das amostras para a cobertura vegetal nativa ocorre histogramas do tipo unimodal. O que remete a similaridade entre as amostras colhidas para esta feição.

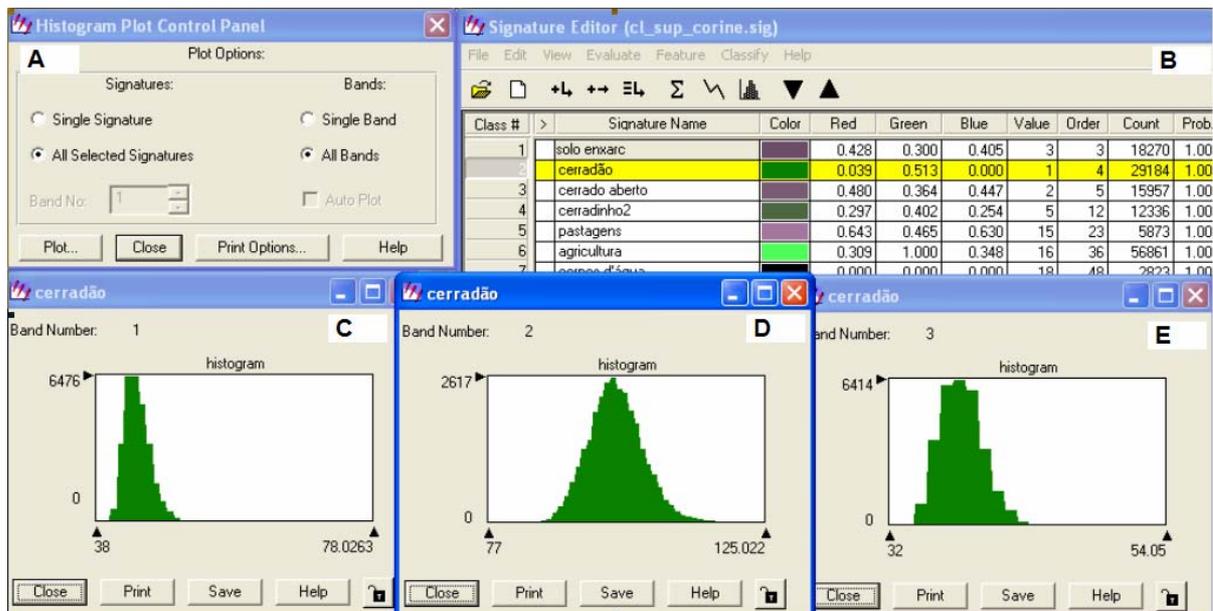


Figura 33: Os histogramas C, D e E apresentam análises da feição cerradão (vegetação porte florestal) para as bandas 2, 4 e 5 respectivamente. No painel de opções (A) foram selecionadas todas as 3 bandas para a assinatura selecionada que esta destacada em amarelo na tabela (B)

É possível notar, principalmente para a banda 4 representada pelo histograma D a uniformidade das amostras para vegetação nativa de porte florestal.

Neste trabalho foi adotada uma regra paramétrica baseada na probabilidade de que o *pixel* pertença a uma classe em particular. Assim a regra da Máxima Verossimilhança calcula a probabilidade estatística de um *pixel* pertencer a uma assinatura específica. Todas essas análises de assinaturas foram realizadas para cena com as 3 bandas selecionadas, mas

também com cenas de 5 bandas e com combinações diversas. Não se constatou diferenças nos histogramas quando destas alterações.

A classificação supervisionada da imagem CBERS 2/CCD (Figura 34) também apresentou em seu resultado o mesmo tipo de ruído diagonalmente disposto na imagem original.

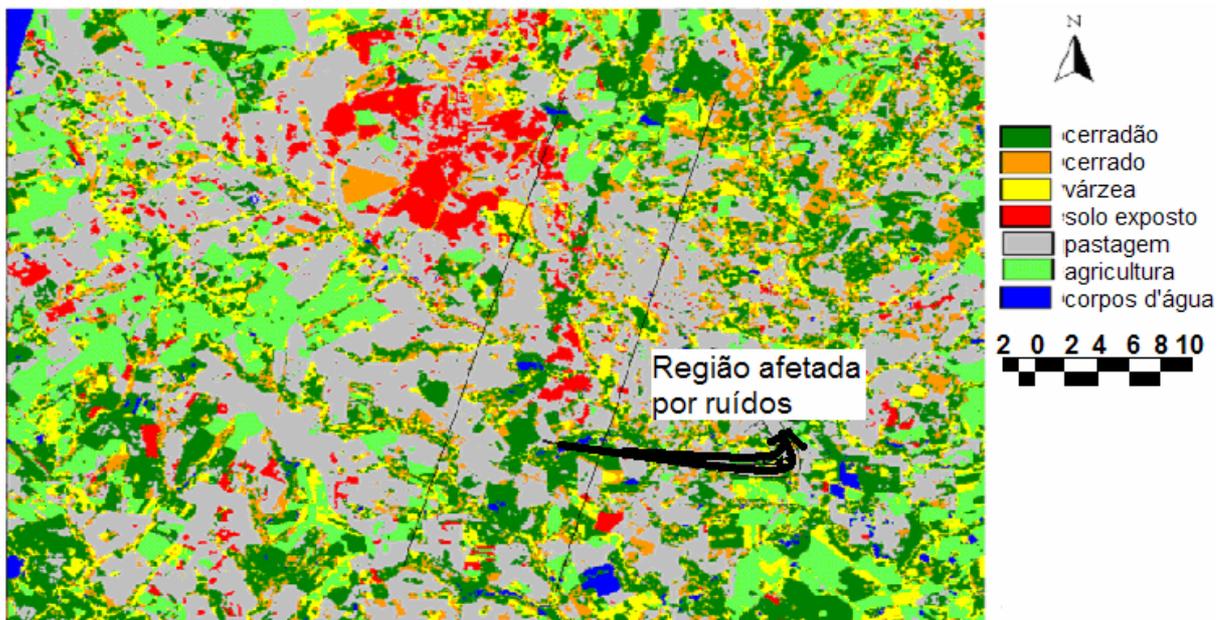


Figura 34: Ruídos na classificação da imagem CBERS 2/CCD; na parte central e disposta diagonalmente na imagem temática tem-se uma região que sofreu interferência de ruídos.

Em outra classificação, utilizando os mesmos parâmetros por este método de classificação, algumas feições não foram identificadas em sua totalidade pelo classificador,. Pois quando não foram coletadas amostras sob a região afetada por ruídos, os resultados ficaram muito alterados.

No Exemplo da Figura 34 abaixo foi coletada AOI (área de interesse) da amostra do remanescente de vegetação de porte florestal que aparece em verde escuro no resultado da classificação em (B), enquanto no recorte (C) da mesma figura, onde não foi coletada a amostra não aparece o remanescente presente na imagem original em (A). Esta área está sob influência de uma faixa diagonal de ruídos da imagem CBERS 2/CCD não classificada (A).

No recorte C da Figura 35 mais da metade da feição da vegetação de porte florestal não apareceu após a classificação sendo que a mesma feição aparece em verde escuro nos recorte A e B.

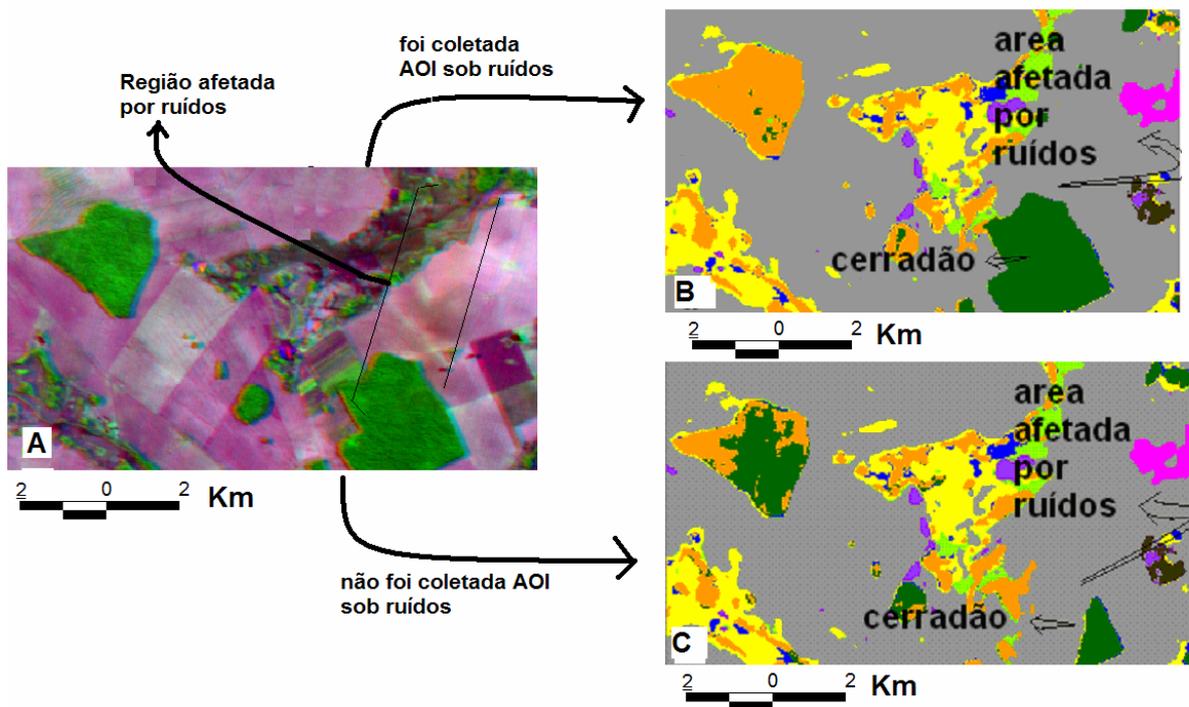


Figura 35: Em (A) no recorte da imagem a ser classificada está em destaque a região afetada por ruídos; em (B) o resultado da classificação quando foi coletado AOI sob a região de interferência do ruído; em (C) está em destaque na parte inferior do recorte a falha na classificação supervisionada que não coletou amostras sob a região de interferência do ruído.

Devido a isso, novas classificações foram feitas pelo método supervisionado e pela mesma regra da Máxima Verossimilhança, sendo que foram coletadas no mínimo 6 amostras de cada feição de interesse, mas incluindo amostras sob a mancha do ruído presente na imagem original. O resultado desta nova classificação pode ser constatado na Figura 36.

Como se pode notar na Figura 36, a presença dos ruídos foram diminuídos em relação a classificação anterior. Também houve uma melhor separação das classes amostradas. Ainda permanece certa confusão espectral, conforme já discutido anteriormente neste tópico, mas essa confusão espectral poderia ser diminuída ainda mais ao se treinar o classificador para mais assinaturas, ou utilizando-se outro classificador que fosse capaz de orientar-se pelo objeto a ser mapeado.

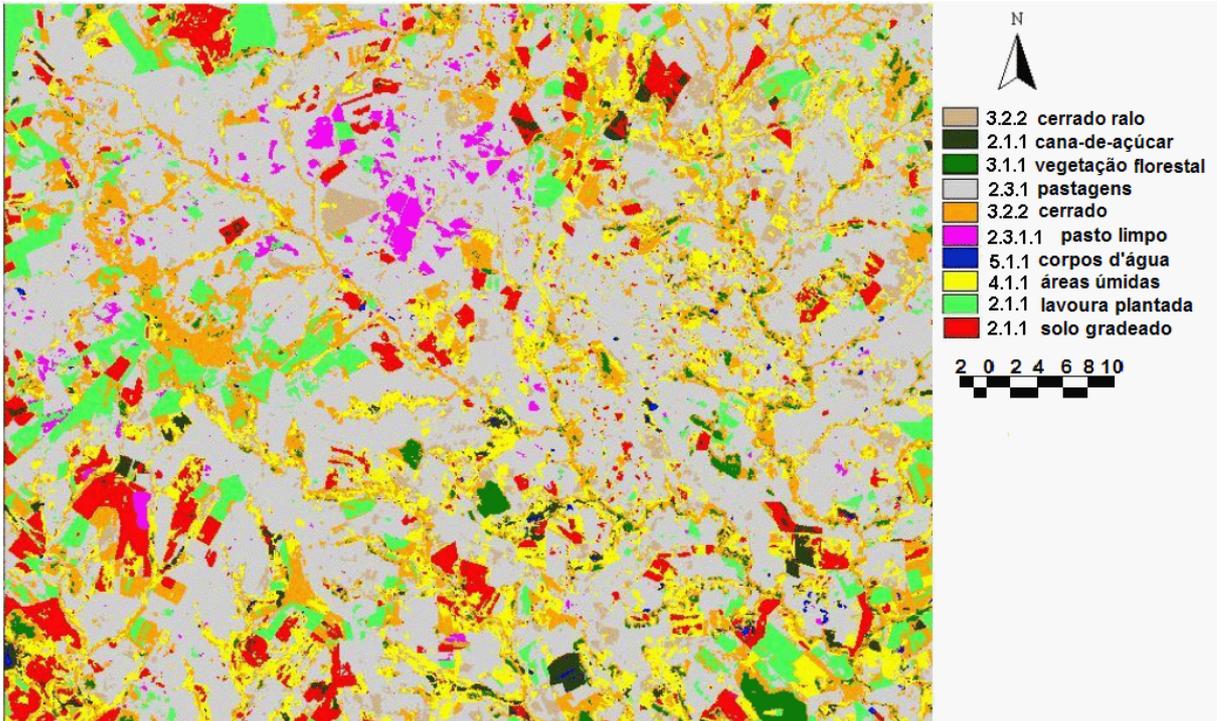


Figura 36: Imagem temática, resultado da classificação supervisionada e orientada por controle de campo, através de fotografias panorâmicas e GPS, indicando que é possível diminuir a interferência dos ruídos no produto da classificação supervisionada.

Devido a estes problemas discutidos, os projetos que utilizarão imagens do CBERS 2 deverão considerar todas as características destas imagens disponibilizadas pelo INPE, a fim de se prever tempo a ser gasto com ajustamento e geoprocessamento das imagens, recursos de *hardware e softwares* a serem utilizados e treinamento de pessoal como parte do planejamento do trabalho. Haja vista que tais características não invalidam as imagens, mas apenas impõe a necessidade de processá-las com mais cautela do usualmente se faz com imagens Landsat.

7.6 Classes de coberturas obtidas

Buscou-se neste tópico apresentar classes das diversas coberturas que ocupavam o solo quando da passagem, em 2004, do satélite sobre a área da bacia do Rio Serrote.

O ideal seria determinar o exato uso do solo por meio de uma análise multitemporal, mas através da observação criteriosa *in loco*, localização geográfica por meio GPS de navegação e registro fotográfico foram realizadas várias classificações e ajustes metodológicos para apresentar agrupamentos das feições de cada classe bem próximos do que

foi observado a campo. Ou seja, as classes apresentadas a seguir, não foram exclusivamente extraídas da imagem, mas também por meio dos trabalhos de campo e conhecimento das práticas usuais de manejo agropecuário na região.

O classificador automático separou as principais classes passíveis de mapeamento para a escala proposta (1:100.000), mas também foram previstas e relacionadas na Tabela 11, algumas classes que o classificador não separou mas que estão presentes nesta e em outras áreas de Mato Grosso do Sul.

Tabela 11: Classes identificadas pelo método supervisionado

Nível 1	Nível 2	Nível 3	Nível
1. Superfícies artificiais	1.1. Padrão urbano	1.1.1. Padrão urbano Continuo 1.1.2. Padrão urbano descontínuo	
2. Áreas agropecuárias	2.1. Terra agricultável	2.1.1. Terra arável não irrigada	
		2.1.2. Terra arável constantemente irrigada	
	2.3. Pasto	2.3.1. Pastagens	2.3.1.1. Pasto limpo 2.3.1.2. Pasto sujo 2.3.1.3. Queimada em pastagens
3. Áreas com vegetação natural e seminaturais	3.1. Fisionomia florestal	3.1.1. Vegetação de porte florestal	
	3.2. Arbórea/arbustiva e/ou vegetação herbácea associada	3.2.2. Savana arbórea (Cerrado)	
4. Zonas úmidas	4.1. Zonas úmidas Continentais	4.1.1. Áreas úmidas	
5. Corpos aquosos	5.1. Águas continentais	5.1.1. Cursos de água	
		5.1.2. Corpos de água	

As classes nível 3 obtidas a partir de imagens CCD do CBERS 2 são referenciadas na descrição de RIBEIRO & WALTER (1998), que balizou todo o trabalho de definição das classes apresentadas neste nível. Outras novas classes mais detalhadas, no nível 4, que são sugestões das possibilidades em função do domínio fisionômico-ecológico apresentado por POLIZER, (2002).

Classe 1.1.1: Padrão urbano contínuo e 1.1.2: Padrão urbano descontínuo

Estas duas classes não ocorrem na área de estudo, mas estão previstas porque se pretende, neste trabalho, definir uma Legenda de cobertura que seja capaz de representar todas as feições passíveis de mapeamento na escala 1:100.000 do território de Mato Grosso do Sul para fins de fiscalização e monitoramento ambiental. A classe 1.1.1 Padrão urbano contínuo seria para representar superfícies urbanas que sofreram efetiva modificação antrópica em áreas que seja igual ou maior que 80 % da unidade mapeada, tais como terraplanagem, construções diversas com solo impermeabilizados ou não (Grandes centros urbanos).

A classe 1.1.2 Padrão urbano descontínuo foi prevista no nível 3 para representar feições de superfícies não impermeabilizadas (jardim, parques, áreas plantadas e naturais) que se alternam em edificações, rodovias e superfícies artificiais que cobrem de 50 até 80% da superfície total da unidade classificada (cidades).

Esta classe não inclui as habitações e estruturas agrícolas dispersas em áreas naturais e agrícolas. Embora tenham sido observados a campo e visualizados na imagem, a formação de agrovilas em áreas de assentamentos rurais, que estão representados no SIG por meio de polígonos e seus respectivos atributos de localização geográfica e identificações gerais, tais como o nome do assentamento, data de criação, número de famílias etc.

As rodovias e a ferrovia que incidem sobre a área da bacia não apresentam área mínima mapeável (01 ha) e por isso estão representados no SIG, por vetores do tipo linha respeitando os limites cartográficos deste mapeamento.

Classe 2.1.1: Terra arável não irrigada

Nesta classe 2.1.1 terra arável não irrigada para o nível 3, (Figura 37) representa áreas observadas a campo de solo gradeado, lavouras diversas plantadas inclusive de cana-de-açúcar. Neste caso quando se observou manejo pelo fogo, foi distinguido de pastagem queimada, pois a prática de manejo de queimadas sobre pastagens é classe 2.3.1.3 conforme preconizou POLIZER (2002) e por isso não está incluído na classe 2.1.1.

Entretanto a confusão espectral entre os dois tipos de queimadas não é significativo para o objetivo principal deste estudo, e não imputa nenhum prejuízo para este trabalho, pois tal confusão se dá entre áreas sob direta ação antrópica.



Figura 37: Área gradeada como exemplo da classe 2.1.1. Terra arável não irrigada.
Foto de 05 de outubro de 2005.

Classe 2.1.2 Terra constantemente irrigada

A classe 2.1.2 Terra constantemente irrigada não aparece na legenda da imagem temática, embora os pivôs de irrigação apareçam claramente na imagem (Figura 38). Neste caso a resposta espectral desta feição se assemelha às das classes solo gradeado ou lavoura plantada conforme o caso. Por isso foi prevista no nível 3 na Tabela 11 das classes obtidas.

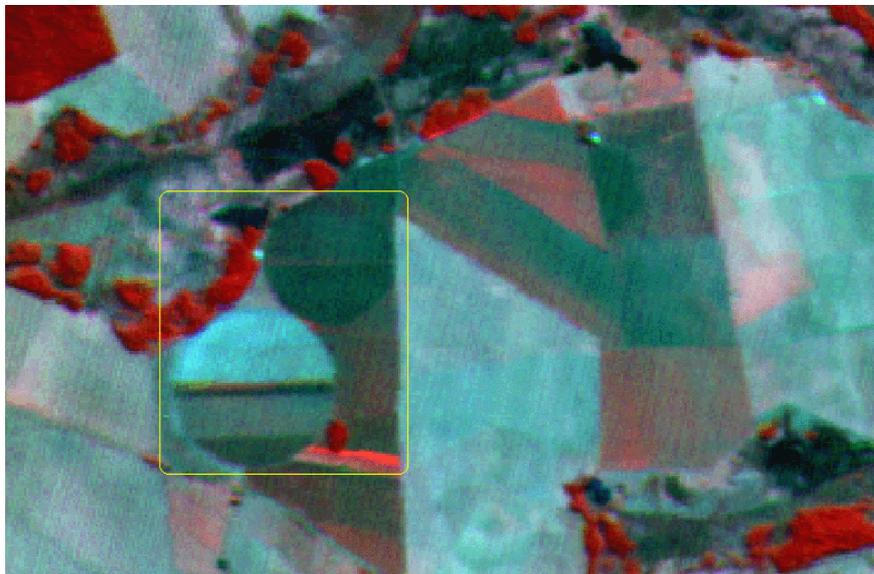


Figura 38: *Subset* da imagem CBERS 2 composição para RGB 4:5:2 destacando no retângulo amarelo duas áreas circulares de pivôs de irrigação, sendo que em sua maior parte, no momento de obtenção da imagem, o solo estava exposto.

Neste caso a identificação da feição não pode se limitar aos agrupamentos realizado pelo classificador automático, mas é necessário levar em conta o conhecimento que o foto-intérprete possui acerca da realidade de campo e das práticas agrícolas, haja vista que os pivôs de irrigação aparecem em forma circular bem definida na imagem de satélite.

Classe 2.3.1: Pastagens

Nesta classe estão agrupados os pastos em seus vários níveis de utilização que inclui, predominantemente, pastagens em bom estado de conservação. Na imagem temática a maior parte dos pastos não foram separados e mantiveram-se na legenda da Figura 35 como pastagens (nível 3 da Legenda CORINE). Para a classe 2.3.1 estão previstas três sub-divisões: 2.3.1.1 Pasto limpo (Figura 39), 2.3.1.2 Pasto sujo (Figura 40) e 2.3.1.3 Queimadas sobre pastagens. Esta última classe não foi individualizada na imagem, mas foi prevista devido as constantes práticas de queima utilizada como forma de manejo do pasto.

Em função do manejo, as pastagens apresentam respostas espectrais diferenciadas para cada situação. Por isso, foi necessário reagrupar os vários temas do mesmo grupo que foram gerados automaticamente pelo classificador. Este reagrupamento foi auxiliado pelo controle de campo e estão apresentados na Tabela 11 das classes obtidas.

Na classe 2.3.1 estão incluídas ainda pastagens com possíveis sobre-pastoreio, cuja resposta espectral se aproxima à do solo exposto, o que é fácil observar na imagem de estação seca. Cabe destacar que em áreas de pastagens onde a resposta espectral assemelha-se ao de solo exposto não, necessariamente, se trata de pasto degradado, mas apenas pastejo excessivo que pode ser observado na Figura 39.



Figura 39: Pasto limpo que constitui a classe 2.3.1.1. ao fundo tem-se um remanescente de cerrado (Classe 3.2.2).

Foto de 05 de outubro de 2005.



Figura 40: Pasto sujo que constituí a classe 2.3.1.2.
Foto de 05 de outubro de 2005.

Classe 3.1.1: Vegetação de porte florestal

Nesta classe foram agrupadas a fitofisionomias florestadas sem que houvesse separação das regiões dos vários domínios de florestas que são apresentadas no Atlas Multirreferencial (MATO GROSSO DO SUL, 1990).

Na área de estudo constatou-se pelas observações de campo que grande parte dos remanescentes florestados (possíveis áreas de Reserva Legal das propriedades) são do tipo Cerradão que juntamente com demais tipos vegetais de porte florestal constituem a Classe 3.1.1 da Legenda CORINE (Figura 41).

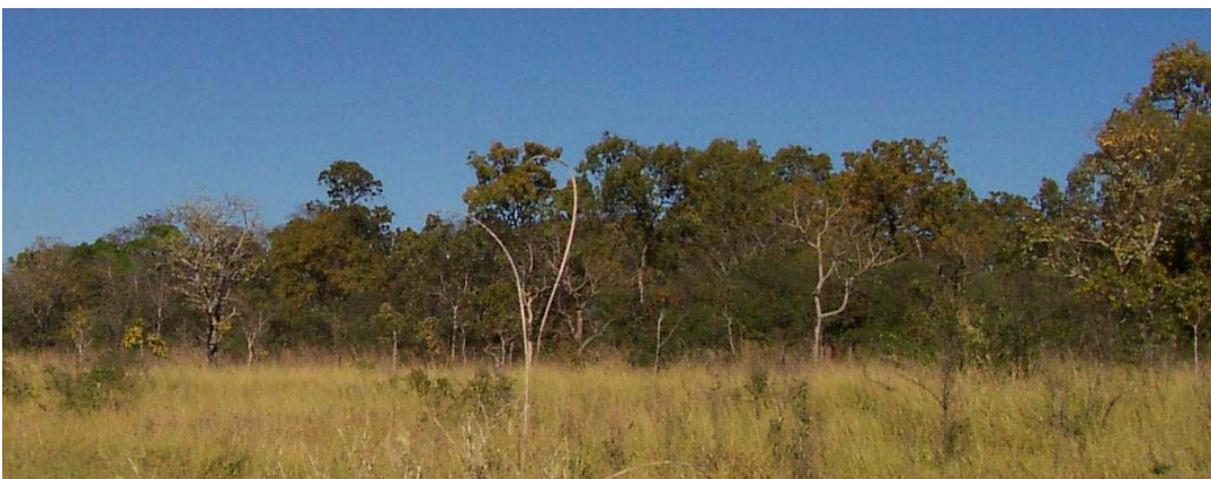


Figura 41: Cerradão que juntamente com demais tipos vegetais de porte florestal constituem a Classe 3.1.1 da Legenda CORINE.
Foto de 05 de outubro de 2005.

Classe 3.2.2 Savana Arbórea (Cerrado)

A classe Savana arbórea é ordenada no nível 3 da legenda CORINE e representa o cerrado *latu senso*. Não se objetivou separar as variações de cerrado que ocorrem na região, embora o classificador tenha promovido a individualização de um remanescente de Cerrado ralo destacando uma forma de agrupamento único.

Classe 4.1.1 Áreas Úmidas

Áreas de várzeas, nascentes e veredas são feições que constituem esta classe 4.1.1 áreas úmidas. Entretanto, há um considerável grau de confusão espectral quando do agrupamentos destas feições, porque são diferentes em sua fitofisionomia e apresentam distintas respostas espectrais, embora tenham em comum, o solo geralmente encharcado. Nem sempre estas feições possuem dimensão espacial para ser registrado pelo sensor e quando aparecem podem ser erroneamente agrupados em outras classes, automaticamente, pelo classificador. Contudo, o foto-intérprete pode facilmente com auxílio de cartas topográficas, controle de campo ou fotografias aéreas reagrupar essas feições em sua classe de abrangência para áreas úmidas.

Classe 5.1.1 Cursos d'água e 5.1.2 Corpos d'água

Os Rios, córregos e nascentes apesar de não aparecerem na imagem temática por não apresentarem dimensão espacial compatível com a resolução do sensor CCD, deve ser prevista a classe 5.1.1 (Figura 42), porque a Legenda utilizada prevê largura mínima de 100 metros para os cursos d'água, situação que é constatada nos grandes Rios que banham o Estado. No SIG , entretanto estas feições são representadas por vetores do tipo linha.



Figura 42: Rio Serrote a montante da foz do Rio Vacaria como exemplo da classe 5.1.1.
Foto de 14 de agosto de 2004.

Já os corpos d'água foram individualizados na imagem temática, pois as represas, açudes e tanques apresentam dimensões compatíveis para serem representadas proporcionalmente na escala de trabalho adotada 1:100.000 e constituem a classe 5.1.2 (Figura 43).

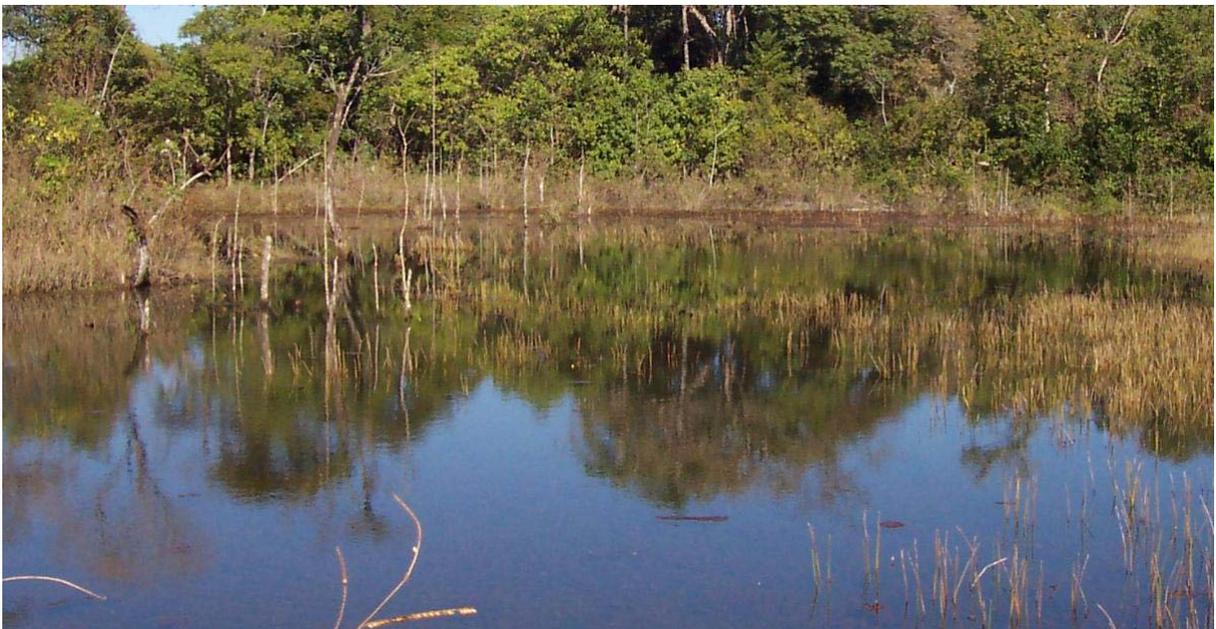


Figura 43: Uma lagoa como exemplo da classe 5.1.2.
Foto de 05 de outubro de 2005.

As classes apresentadas aqui, podem ser ajustadas a outras terminologias em função da legenda de cobertura que for adotada, para ampliação da escala ou por meio de detalhamento florístico em novos trabalhos.

7.7 Resolução Espacial

Tanto para imagens da série Landsat (MSS, TM e ETM+) quanto para o CBERS 2/CCD a resolução espacial não fornece, suficientemente, detalhes para a caracterização da maioria das áreas de preservação permanente (APP) ao longo dos cursos d'água no sentido do que dispõe o Padrão de Exatidão Cartográfica (BRASIL, 2005). Ainda assim, para algumas feições diminutas, o sensor CCD tem se mostrado capaz de individualizá-las. Um exemplo foi um talhão de eucalipto plantado somar quase um hectare e, nesse conjunto de 5x5 *pixels* (correspondente a 01 hectare), foi possível distinguir a feição individualizada na imagem. Mas isso depende do conjunto de *pixels* que circundam a feição analisada. Com auxílio do controle de campo foi possível, inclusive, determinar a tipologia vegetal da feição analisada (Figura 44).

Visando avaliar a menor feição mapeável para imagem CCD do CBERS 2 são apresentados dois exemplos encontrados na área de estudo.

A figura a seguir demonstra a relação entre duas feições de aproximadamente um (01) e quatro (04) hectares, que foram individualizadas pelo sensor. Na porção esquerda/superior da Figura 44 a seguir, há 01 hectare de eucalipto envolto por lavoura de milho indicado pela seta que o relaciona à fotografia horizontal. Há ainda um quadrante de cerrado com aproximadamente 04 hectares na porção inferior direita da Figura 44.

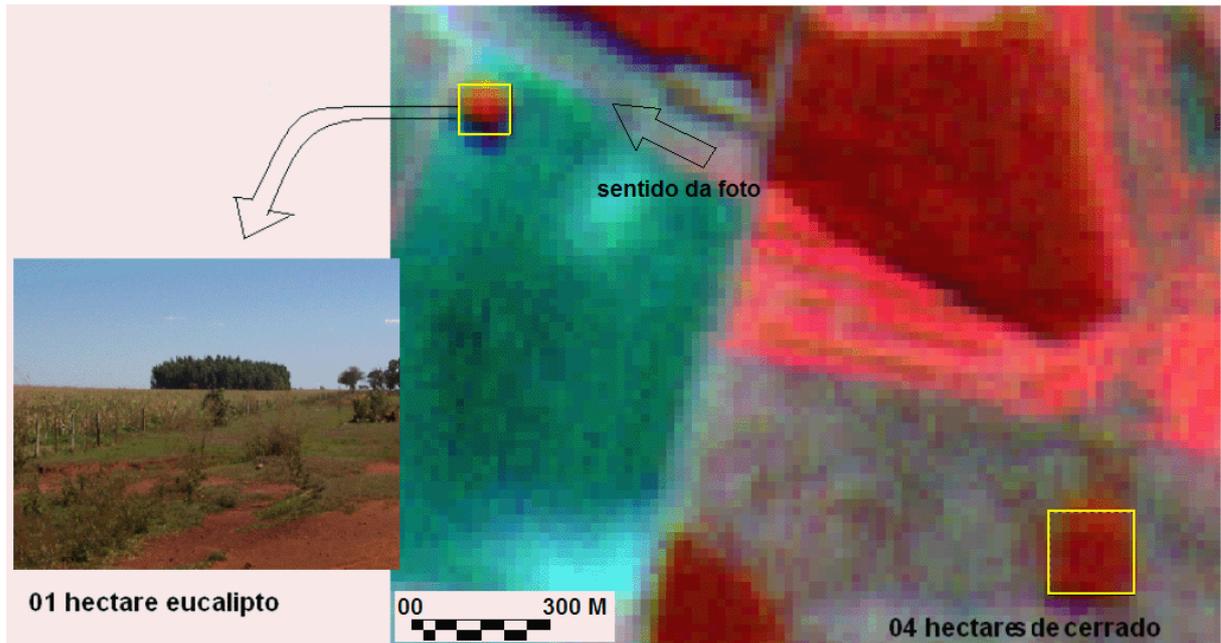


Figura 44: Na porção superior/esquerda, há 01 hectare de eucalipto envolto por lavoura de milho indicado, pela seta que o relaciona à fotografia horizontal a esquerda; na porção inferior direita há um remanescente de cerrado com aproximadamente 04 hectares. Os quadros amarelos sobre as feições têm exatamente um e quatro hectares.

Ainda é possível através da ferramenta *buffer* do Arc View (ESRI,1998), desenhar automaticamente um contorno em uma dada feição definida pelo operador do SIG. Assim pode-se delimitar uma faixa de 30 metros de cada lado de um curso d'água de até 10 metros e mapear aquelas que apresentam vegetação nativa identificável na imagem.

Um exemplo de utilização prática seria a identificação de áreas na imagem em que fosse possível identificar a presença de vegetação ao longo dos cursos d'água. Estas APP vegetadas seriam então excluídas das vistorias a campo. Assim os órgãos de fiscalização concentrariam esforços em áreas suspeitas de estarem degradadas. Isso otimizaria tempo e recursos públicos.

Esta tática pode obter melhor êxito quando auxiliada pela composição RGB em falsa cor utilizando a banda infravermelho-próximo, que destacou pequenas manchas de antropização na vegetação das APPs.

Na Figura 45 há um exemplo desta aplicação do *buffer* (contorno de 30 metros de cada lado) destacando as áreas de preservação permanente.

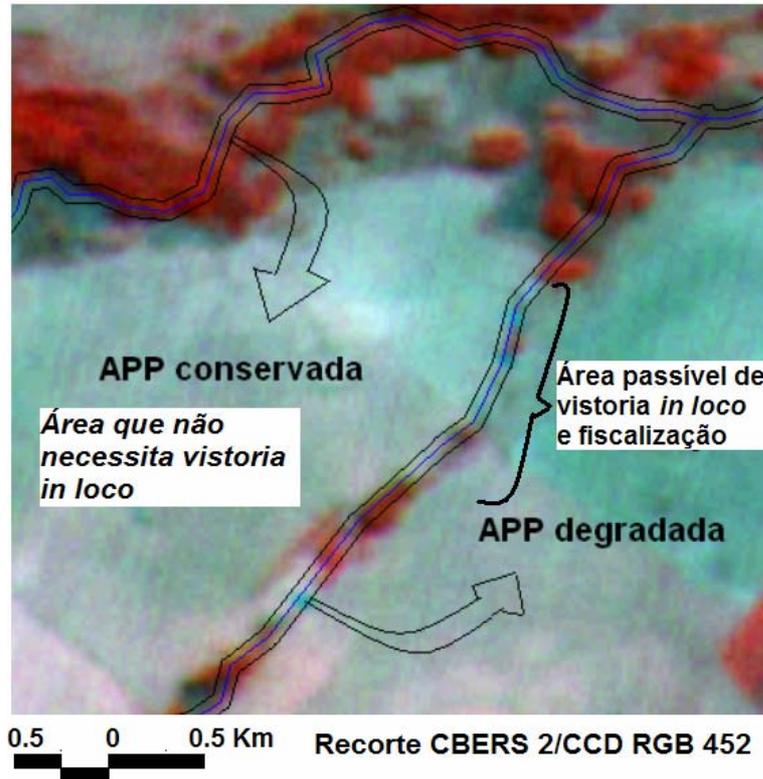


Figura 45: Ferramenta *buffer* do Arc View (Contorno de 60 metros total) para de APP; na parte superior da imagem há APPs visivelmente vegetadas e na porção inferior estão em destaque regiões de APPs possivelmente antropizadas.

Conforme demonstrado, é possível identificar as APPs onde seria dispensada fiscalização que envolva vistorias realizadas a campo, porque onde caracteriza-se APP com vegetação nativa através da imagem, seguramente assim o será no solo. Mas onde se caracterizar, através da imagem, APP sem cobertura vegetal nativa ou possivelmente degradada, poderá *in loco* se constatar que ocorre APP coberta com vegetação nativa, que atende os preceitos legais, mas com área não suficiente para ser registrado pelo imageador e ser visualizada na imagem. Neste caso somente com vistorias a campo seria imputado a ações legais conforme o caso. Assim o sensoriamento remoto pode orientar os locais, em campo, onde é necessária a vistoria do órgão ambiental.

7.8 Resolução espectral

No sensor CCD inexistem bandas que imageiam na faixa do infravermelho médio e distante, o que é uma desvantagem em relação ao ETM+ do Landsat 7. Estas faixas espectrais

são imageadas somente no sensor IRMSS do CBERS 2, porém este sensor apresenta uma resolução espacial de 80 metros, o que implica a necessidade de adoção de técnicas de fusionamento de imagens e isto remete a investigações específicas para esta finalidade.

Entretanto, no intuito de melhorar a resolução espectral da imagem gerada pelo CCD foi realizada a fusão das bandas 2 e 3 do sensor IRMSS do CBERS 2, onde se constatou a separação de uma nova classes que somente com as bandas do CCD não havia sido revelada. Na Figura 46 uma comparação entre as imagens, (A) CBERS 2 CCD e (B) CBERS-2 CCD + IRMSS. Nesta figura está em destaque uma área que só foi possível separar após a fusão.

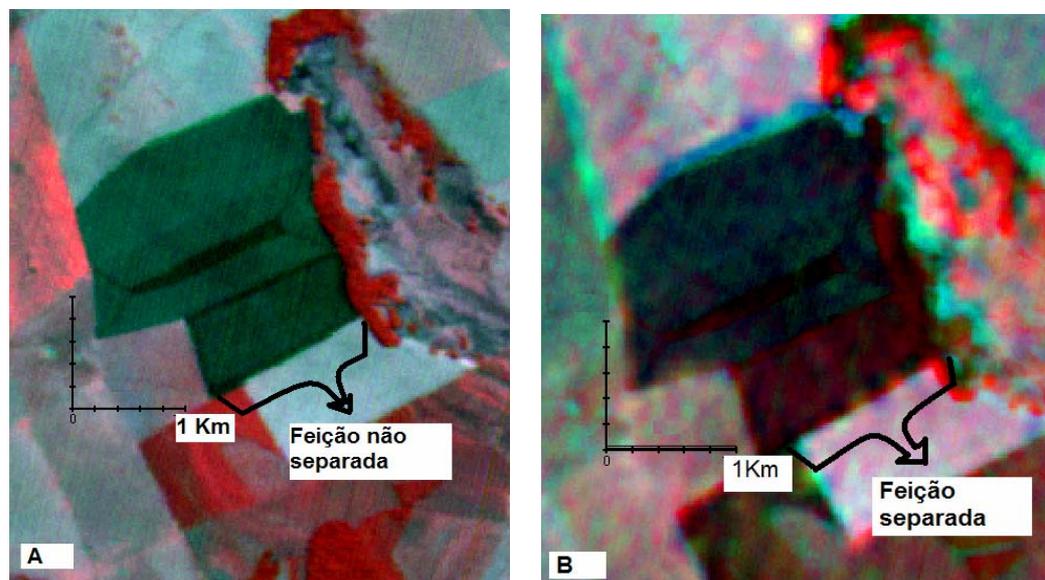


Figura 46: Imagens A e B do imageamento 163-124 de 26 de julho de 2004 onde no recorte A é apresentado uma composição com somente bandas CCD (4:5:2) enquanto no recorte B as bandas (5' e 7' do IRMSS foram compostas à banda 2 do CCD) e estão em RGB 7':5':2.

A fusão entre as imagens do sensor CCD e IRMS do CBERS-2 possibilitou separar pequenas áreas que não apareciam na composição CCD o que sugere a possibilidade de encontrar classes que não são reveladas pelas bandas do sensor CCD. Parece ser possível fornecer uma imagem com maior potencialidade espectral para o reconhecimento de novas feições de cobertura do solo, conforme Figuras 46 e 47, onde são apresentadas comparações entre as imagens, de um mesmo imageamento de uma mesma área.

Na Figura 47 é apresentada uma pequena área que só foi possível separá-la após o fusinamento de bandas CCD às bandas IRMSS.

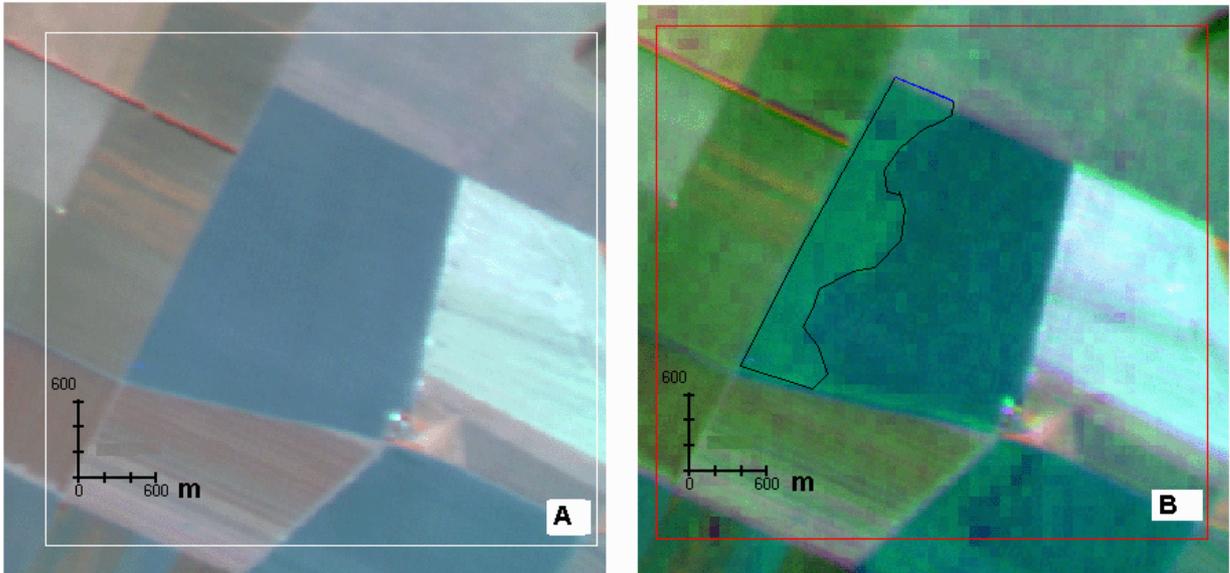


Figura 47: Imagens A e B do imageamento 163-124 de 26 de julho de 2004 onde o recorte A é composto em RGB 4:2:3 do CCD enquanto o recorte B é composto com as bandas 4:5':3 (neste caso 5' é IRMSS fusionado a banda pan) de onde é possível visualizar uma feição (destacada pelo polígono irregular em preto) que não aparece na composição com somente as bandas do CCD em A.

7.9 Análise de dados

O resultado da obtenção dos dados espaciais foi a constituição de um banco de dados SIG construído no Arc View (ESRI,1998), o que possibilitou o cruzamento das muitas informações discutidas no presente estudo. Nas Figuras 48 e 49 a seguir são apresentados alguns dados presentes no SIG da bacia do Rio Serrote.

Cabe destacar que os dados apresentavam origens diferentes e, por conseguinte, sistemas de projeção e coordenadas distintas, mas foram todos reprojatados para sistema UTM, coordenadas planas, com Datum e Esferóide SAD 69. Isto demonstra a possibilidade de cruzamentos de informações espaciais diversas a fim de proceder análises em função do objeto de estudo.

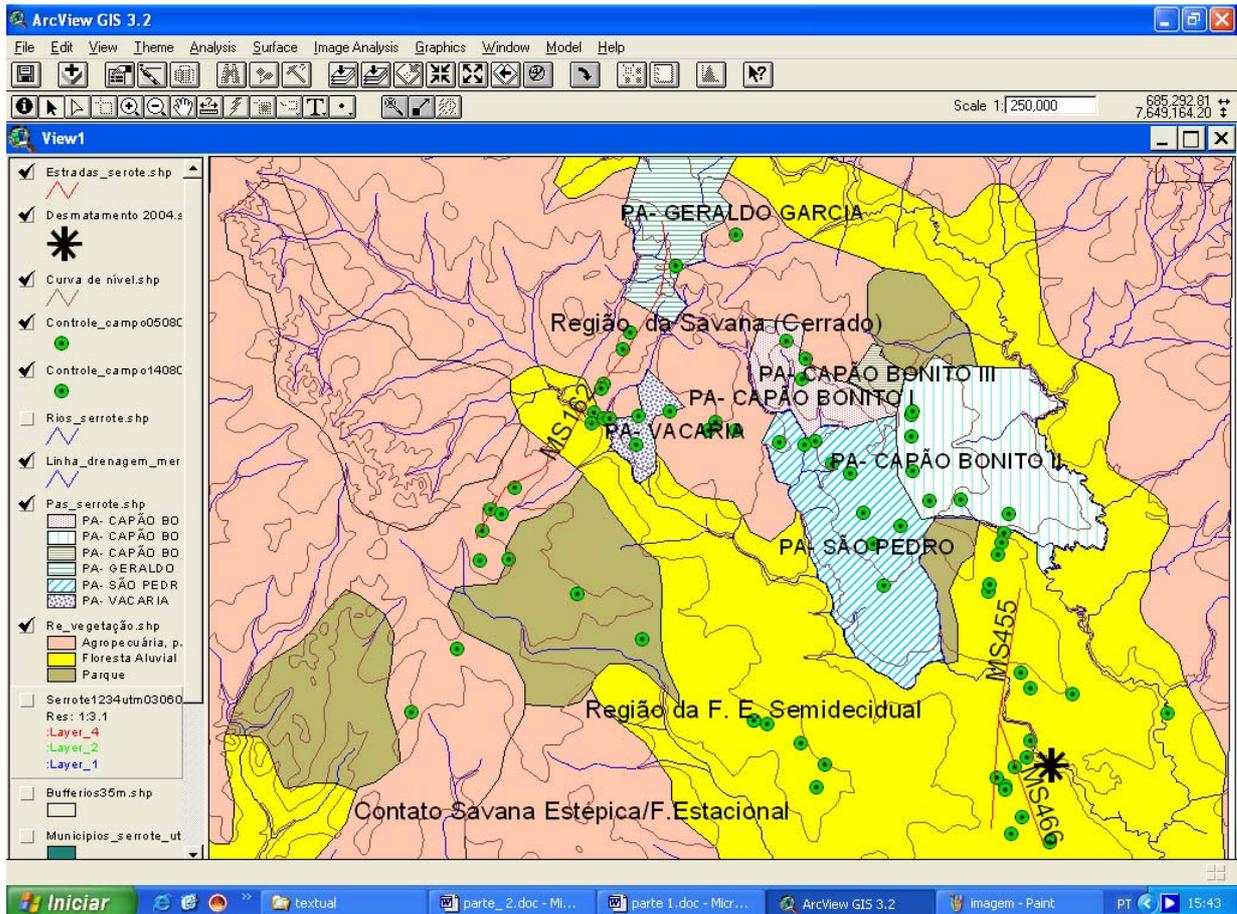


Figura 48: Ilustração do banco de dados em ambiente SIG - Arc View (ESRI,1998) e a extensão *Spatial Analyst* (ESRI,1998) da bacia Rio Serrote, no lado esquerdo estão dispostas algumas *layers* que aparecem na área gráfica da *view*.

No SIG apresentado na Figura 48, estão plotados os projetos de assentamentos (PAs), cobertura vegetal segundo o Atlas Multirreferencial de Mato Grosso do Sul (MATO GROSSO DO SUL, 1990), pontos de controle de campo, hidrografia e curvas de nível da cartografia oficial (DSG, 2004) e vias de acesso.

No canto superior direito da Figura 48 tem se a escala de visualização de 1:250.000, quando da captura da figura. Em ambiente SIG esta escala é dinâmica. Junto a escala têm-se as coordenadas X,Y da área de desmatamento, que no desenho gráfico é representado por um asterisco preto (*). Neste caso, a qualquer tempo pode se adicionar ou excluir dados para análise.

No exemplo demonstrado a seguir estão relacionados imagens CCD do CBERS 2 e vetores do tipo linhas para curvas de nível, Rios, estradas e divisa dos municípios de Sidrolândia ao norte e Rio Brillhante ao sul do mapa mostrado na figura 49. Nesta figura estão plotados também vetores do tipo polígono para formações geológicas e tipos de solo,

extraídos do Atlas Multirreferencial de Mato Grosso do Sul (Mato Grosso do Sul, 1990) e pontos de controle de campo (GPS).

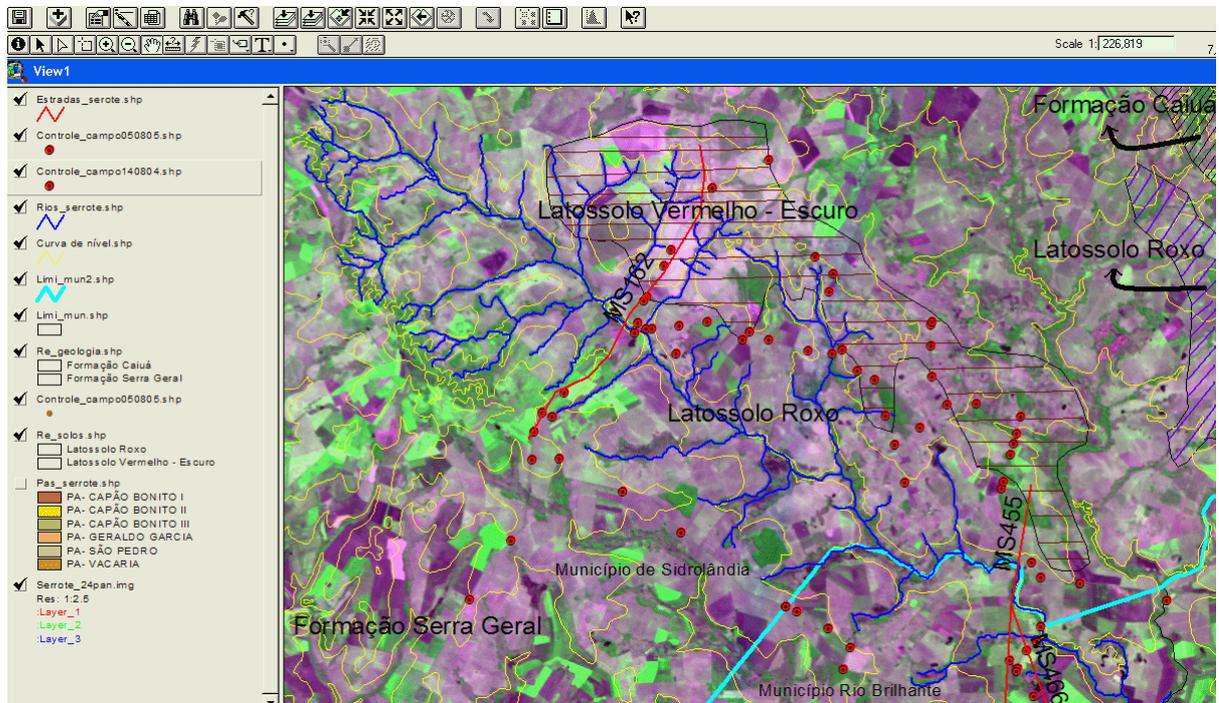


Figura 49: Banco de dados em ambiente SIG - Arc View (ESRI,1998) da bacia Rio Serrote, relacionando dados raster (imagem 163-124) e vetoriais em linhas vermelhas para rodovias, azuis para Rios, azul celeste para divisa de municípios, amarelas para curvas de nível e pretas com hachuras para formações geológicas e tipos de solo e pontos vermelhos para controle de campo (GPS).

Nos exemplos demonstrados foram relacionados alguns dados entre muitos outros que constituem o SIG. Neste banco há vários dados raster dos recortes de imagens CBERS 2/CCD, Landsat ETM+, mosaico *Geocover* e Modelo Digital de Elevação (DEM) em formato geotiff do radar SRTM.

8 CONCLUSÕES

A semelhança entre as imagens no que diz respeito às resoluções espacial, espectral e temporal, bem como da área de imageamento entre outras características, contribuiu decisivamente para que a imagem do Landsat 7 possa ser utilizada como referência para o estudo da potencialidade das imagens do CBERS 2/CCD.

Além disso, o controle de campo e laboratório mostrou que a base de imagens do mosaico Landsat TM de 2000, denominado de *Geocover* (NASA, 2004) foi utilizada com sucesso como base de georreferenciamento das imagens CBERS 2/CCD e IRMSS e, portanto pode ser utilizada como referência para o georreferenciamento de imagens CBERS.

Para mitigação de ruídos e evitar problemas, principalmente na classificação, a banda pancromática serviu como substituta da banda 3 que precisou ser descartada devido aos intensos ruídos que se apresentavam sobre a área de interesse.

A classificação supervisionada da imagem CBERS 2/CCD, apresentou em seu resultado o mesmo tipo de ruído que apresentava na imagem original, quando tal cena estava composta com todas as bandas, tais ruídos podem comprometer, inclusive, a classificação visual, principalmente se a banda 1 (azul) compuser o arquivo imagem. Por isso, neste estudo as bandas 2, 4 e 5 foram as bandas de onde melhor se pôde extrair informações automáticas das feições da área estudada. Assim, foram elas, as selecionadas para a composição definitiva no trabalho. A cena órbita 163 ponto 124 de 26 de julho de 2004, escolhida para este trabalho, apresentou ruídos significativos nas bandas 1 e 3 que foram descartadas promovendo desta forma uma diminuição da interferência dos ruídos. Contudo a imagem do sensor CCD do CBERS 2 mostrou-se eficiente para utilização na caracterização da cobertura do solo.

Mesmo tendo melhor resolução espacial que o Landsat 7, a imagem CBERS 2/CCD apresentou limitação para a precisa identificação e mapeamento da vegetação de proteção dos recursos hídricos (APP) na bacia do Rio Serrote. Por isso, é possível inferir que apresentará certa dificuldade para análise de qualquer APP onde a área observável seja inferior a 10.000 m². Isso fica fácil de observar em amostras aproximadamente quadradas. Entretanto, poder-se-á separar com melhor eficácia áreas de APP mesmo que a área seja

inferior a 10.000 m² em função da homogeneidade da resposta espectral dos conjuntos de *pixels* adjacentes. Neste aspecto as imagens do CCD apresentam-se vantajosas em relação ao Landsat 7 ETM+. Assim, pôde-se constatar que a maior parte das áreas de vegetação ciliar apresentam-se em boas condições, mas foi possível identificar várias regiões ao longo dos cursos d'água que merecem fiscalização a campo, pois podem estar com a cobertura vegetal nativa em desconformidade com o Código Florestal.

A imagem CBERS 2/CCD se mostrou suficiente para ser utilizada em diagnósticos, caracterizações, monitoramento e fiscalização ambiental, desde que se promova os ajustes espaciais, espectrais e radiométricos de cada cena e por vezes banda a banda. Por isso, as imagens do CBERS 2/CCD devem ser utilizadas com cautela e o método de tratamento deve ser analisado caso a caso.

O ideal seria que fossem corrigidas essas interferências provocadas pelo imageadores que somados as interferências naturais de cada faixa espectral podem comprometer a utilização das imagens CBERS 2/CCD, principalmente para usuários sem muita habilidade em sensoriamento remoto.

A cena órbita 163 ponto 124 composta com as bandas 2, 4 e 5 do sensor CCD serviu muito bem para identificação de áreas antropizadas e vegetação nativa, mas mostrou-se menos eficiente para classificação da tipologia vegetal, por exemplo. Porém isso não desqualifica as imagens do sensor CCD do satélite CBERS 2 para tal atividade desde que sejam sanadas estes problemas nas imagens disponibilizadas pelo INPE.

A fusão das bandas deste sensor às do IRMSS sugere ser possível diferenciar um maior número de classes, recomenda-se outros estudos a despeito desta possibilidade. Cabe observar que as imagens CBERS 2 possibilitaram identificar áreas com vegetação degradada.

A legenda CORINE foi ajustada às classes obtidas a partir da imagem CBERS 2/CCD, principalmente às classes nível 4, evidenciando o caráter dinâmico da Legenda o que torna mais fácil os trabalhos em SIG e banco de dados relacional, tendo em vista que a qualquer tempo estes dados poderão ser atualizados utilizando-se sempre os mesmos critérios. A estrutura lógica desta Legenda permite uma fácil relação de um mapa temático e os dados de campo, o que pode contribuir para o monitoramento e fiscalização da cobertura do solo.

Comparado ao Landsat, as imagens do CBERS 2/CCD apresentam melhor resolução espacial e podem gerar mapas temáticos na escala de até 1:50.000 (BRASIL, 2005) o que facilita em muito para trabalhos de fiscalização e monitoramento da qualidade e quantidade da cobertura do solo. Assim, o satélite CBERS 2/CCD, cujo *pixel* é de 20 metros,

possibilita gerar informações na escala de até 1:50.000 e se apresenta, atualmente, como uma alternativa ao Landsat 7 Norte Americano, que porém possibilita escala máxima de 1:100.000.

O Programa CBERS 2, acompanha a tendência para o uso sistemático de imagens de alta resolução para fins de monitoramento. Normalmente, o grande limitador neste aspecto são os altos custos financeiros, mas o Programa CBERS 2 vem rompendo com este paradigma, haja vista que há mais de um ano vem disponibilizando gratuitamente imagens para todos os brasileiros.

A menor área mapeável pode sofrer interferência da resposta espectral dos *pixels* que circundam a feição analisada. Ainda assim foram identificadas com segurança áreas de 01 hectare, ou seja, 5x5 *pixels* que corresponde a 10.000 m².

Para o monitoramento nas áreas de preservação permanente ao longo do cursos d'água, o CBERS 2/CCD também apresenta limitações, uma vez que muitas destas APPs constituem faixas de apenas 60 metros, se somado os 30 metros de cada lado da linha de drenagem. Estas APPs na sua maioria não são perfeitamente identificáveis na imagem por estarem no limite da resolução espacial do sensor. Entretanto, conforme demonstrado anteriormente, é possível excluir das vistorias *in loco*, áreas que não apresentam antropização em APP e assim proceder a fiscalização em áreas previamente identificadas como possíveis de estarem degradadas.

Neste trabalho foram analisadas várias cenas, mas da mesma órbita ponto. Comparando ao Landsat 7, as imagens do CBERS 2/CCD deverão consumir mais tempo dos projetos que vier adotá-las como base de dados para mapeamento de cobertura de solo, tendo em vista que cada cena requer sempre uma análise individual para posterior ajuste com outras cenas adjacentes.

É possível, a partir do modelo desenvolvido neste trabalho, criar novos Sistemas de Informação Geográficos e banco de dados relacional usando dados do CBERS 2/CCD em função de cada uma das demandas de licenciamento e fiscalização de empreendimentos sujeitos ao licenciamento conforme estabelecido nas normas ambientais vigentes.

Ou seja, mesmo descartando as bandas que apresentaram ruídos, foi possível obtenção dos dados de ocupação do solo para mapeamento temático e fiscalização, o que evidencia a independência do CBERS 2/CCD em relação à outros satélites e sua aplicabilidade, inclusive para fins de fiscalização ambiental.

Para atendimento das leis destacadas neste trabalho, o Estado de Mato Grosso do Sul somente obterá êxito se executar um projeto consistente de geoprocessamento que envolva banco de dados relacionado a um consistente Sistema de Informações Geográficas.

Assim poderia normatizar, na prática, os preceitos do Código Florestal (BRASIL, 2001), principalmente a compensação de reserva legal estabelecida no inciso *III do artigo 44*.

Assim como o INPE em 1994, já busca automação para trabalhos sistemáticos em monitoramento ambiental e avançou muito neste campo do conhecimento, Mato Grosso do Sul deve-se buscar usar sensoriamento remoto para mapear e monitorar seu território, utilizando as geotecnologias que atualmente estão mais acessíveis e com menor custo.

9 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANDERSON J. R., HARDY E. E., ROACH J. T., e WITMER R.E. A Land Use And Land Cover Classification System For Use With Remote Sensor Data United States Geological Survey Professional Paper 964. United States Government Printing Office, Washington: 1976. 28p.

ARCÂNGELO, C.; LIMA BRITO, G.; MARTINS, M. F. G.; Sistema de Informação Geográfica (SIG) aplicado ao zoneamento do uso do solo baseado na erodibilidade para a região do Rio Cênico Coxim – MS. UCDB Campo Grande/MS 2003.

BATISTELLA, M. CRISCUOLA, C., MIRANDA, E. E., FILARDI, A. L., **Satélites de Monitoramento**. Campinas: Embrapa Monitoramento por Satélite, 2004. Disponível em: <http://www.sat.cnpm.embrapa.br>. Acessado em: 24 setembro 2004.

BRASIL, **Resolução CONAMA 237** de 19 de dezembro de 1997 – Atividades Licenciáveis.

BRASIL; **Decreto Federal Nº 4.297**, de 10 de julho de 2002. Zoneamento Ecológico e Econômico do Brasil - ZEE

BRASIL; **Decreto Federal Nº 89.817**, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

BRASIL; **Decreto Federal Nº 5.334** de 6 de janeiro de 2005. Dá nova redação ao art. 21 e revoga o art. 22 do Decreto no 89.817, de 20 de junho de 1984, que estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional.

BRASIL; **Lei Federal nº 9.433**, de 08 de janeiro de 1997 – Institui a Política Nacional de Recurso Hídricos e Cria o Sistema Nacional de Gerenciamento de Recursos Hídricos.

BRASIL; **Lei Federal nº 4.771**, de 15 de novembro de 1965 – Institui o Código Florestal Brasileiro.

BRASIL; **Lei Federal nº 7.803** de 18 de julho de 1989 - Dá nova redação ao art. 19º da Lei 4.771/65.

BRASIL; **Medida Provisória nº 2.166-67 de agosto de 2001** - Dá nova redação a Lei 4.771/65.

CÂMARA, G., CASANOVA, M. A., HEMERLY, A., MEDEIROS, C. M. B. **Anatomia de Sistemas de Informação Geográfica** - Instituto de Computação, UNICAMP, Campinas, 1996b. 193p.

CARRIJO, M.G.G; **Contribuição à caracterização física do Parque Estadual das Nascentes do Rio Taquari – MS**. Monografia de especialização. Curso de Pós-graduação em Perícia Ambiental. UFMS. 2002. Curso de Pós-graduação em Planejamento e Gerenciamento de Recursos Hídricos. UFMS. 2003. 61p.

CORINE. **CORINE Land Cover** – CORINE – Coordination information environment 1992. Comm of Europeam Communities, Bruxelas 106 pp.

CBERS 2 CCD canais 2, 3 e 4; São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Imagem de Satélite**. Órbita 163 ponto 124. Arquivo Digital 2004.

DSG – Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro; **Carta Rio Serrote** Escala 1:100.000. 1980.

DSG – Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro; **Carta Piúva** Escala 1:100.000. 1977.

DSG – Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro; **Centro de Imagens e Informações Geográficas do Exército (CIGEx)**. Vetores digitalizados, Brasília DF 2004.

DSG – Diretoria de Serviço Geográfico do Exército Brasileiro; **Centro de Imagens e Informações Geográficas do Exército (CIGEx)**. Disponível em www.exercito.gov.br/06OMs/Diretori/DSG/indice.htm. Acessado em novembro 2005.

EMBRAPA Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias disponível em <http://www.sat.cnpm.embrapa.br/satelite/landsat>. Último acesso novembro 2004.

ENGESAT soluções em Imagens de Satélites. Disponível em <http://www.engesat.com.br>. Último acesso em agosto de 2005.

ERDAS Inc. **Erdas Imagine version 8.6**. Erdas Inc. Atlanta – Geórgia. 2002. 1 CD ROM.

ERDAS Inc. **Erdas Field Guide**. Erdas Inc. Atlanta – Geórgia. Fourth Edition. 1997. 656 p.

ESRI Inc. **ARC VIEW version 3.2**. Environmental Systems Research Institute Inc. New York. 1998. 1 CD ROM.

FLORENZANO, T. G. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais**. São Paulo, SP Oficina de Textos, 2002.

GAMARRA, R. M. & PARANHOS F^o, A.C. **Contribuição à Identificação das Fitofisionomias do Bioma Cerrado em Costa Rica (MS), com Uso de Sensoriamento Remoto**. Trabalho conclusão de curso. Centro de Ciências Biológicas e da Saúde; Departamento de Biologia e Centro de Ciências Exatas e Tecnologia; Departamento de Hidráulica e Transportes da Universidade Federal de Mato Grosso do Sul Campus Universitário, Campo Grande; MS, Brasil 2005. 28p.

HEYMANN Y., STEENMANS C., CROISILLE G. & BOSSARD M. **CORINE Land Cover Project – Technical Guide**. European Commission, Directorate General Environment, Nuclear Safety and Civil Protection, ECSC- EEC-EAEC, Brussels-Luxembourg, 1994.

IBGE **Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística**. Disponível em <http://www.ibge.gov.br>; último acesso em 25 de Novembro 2005.

INPE **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível em <http://www.dgi.inpe.br>; Último acesso em 25 novembro 2005.

INPE **Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais**. Disponível em <http://www.dgi.inpe.br/html/landsat>. Último acesso em 20 julho 2004.

LANDSAT 7 ETM+ Canais 1,2,3,4,5, e 7; São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **Imagem de Satélite**. Órbita 225 ponto 075. CD ROM 2002.

MACHADO, R. B., RAMOS, M. B., PEREIRA, P. G. P., CALDAS, E. F., GONÇALVES, D. A., SANTOS, N. S., TABOR, K., STEININGER, M. **Estimativas de perda da área do Cerrado brasileiro. Relatório técnico não publicado**. Conservação Internacional, Brasília, DF. 2004. 32p.

MATO GROSSO DO SUL, **Atlas Multirreferencial**; Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral – SEPLAN, Campo Grande 1990. 28p.

MELLO, E.M.K., MOREIRA, J. C., FLORENZANO, T. G., SOUZA, I. M. **O Uso de Imagens CBERS no Monitoramento do Desflorestamento da Amazônia Brasileira**. Anais XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil, 16-21 abril 2005. INPE, p. 1313-1320.

MENDES, C.A.B; & CIRILO, J.A. **Geoprocessamento em Recursos Hídricos: Princípios, integração e aplicação**. Porto Alegre: ABRH, 2001. 526p.

MOREIRA, J. C., MELLO, E. M. K., BARBOSA, C. C., SOUZA, R. C. M., PAIVA, J. A. C., SOUZA, I. M., SANTOS, J. R., SHIMABUKURO, Y, E., DUARTE, V. **Mapeamento**

Automatizado do Desflorestamento da Amazônia. GIS Brasil, Curitiba 22 a 26 abril 2002. 5p.

NASA, National Aeronautics and Space Administration of the United States of America **Applied Sciences Directorate.** Disponível em <https://zulu.ssc.nasa.gov>. Último acesso em 20 de dezembro de 2004.

PARANHOS FILHO, A. C., FIORI, A. P., DISPERATI, L., LUCCHESI, C., CIALI, A., LASTORIA, G. **Avaliação multitemporal das perdas dos solos da bacia do Rio Taquarizinho através de técnicas SIG.** Boletim Paranaense de Geociências. Curitiba, PR, 2003 n° 52 p. 49 a 59.

PARANHOS FILHO, A. C. **Análise Geo-Ambiental Multitemporal : O estudo de Caso da Região de Coxim e Bacia do Taquarizinho.** Tese de doutoramento. Curso de Pós-Graduação em Geologia - UFPR. 2000. 213p.

PEDROSA, B. M. e CÂMARA, G. **Modelagem Dinâmica e Geoprocessamento.** Disponível em www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/analise/cap6-dinamica.pdf. Último acesso em abril de 2004

POLIZER, M. **Avaliação Ambiental Multitemporal da Cobertura do Solo na Bacia do Ribeirão Salobra – MS.** Dissertação do Programa de Pós-Graduação em Tecnologias Ambientais - UFMS, Campo Grande - MS, novembro de 2002. 56p.

RIBEIRO, J.F.; WALTER, B.M.T. **Fitofisionomias do Bioma Cerrado.** In. SANO, S.M.; ALMEIDA, S.P. ed. Cerrado: ambiente e flora. Planaltina, DF: EMBRAPA-CPAC, 1998. XII 556p.

SALOMÃO, A.L., MEIRA Fº, A., LORENSI, C. J., MAIA, O. A., FONTES, P. J. P., PEÑA, A. P. **GIS No Planejamento de Florestas Nacionais.** GIS Brasil, Curitiba 22 a 26 abril 2002. 5p.

SAUSEN, T. M. **Sensoriamento Remoto e suas Aplicações para Recursos Naturais** São José dos Campos-SP INPE 2004. Disponível em <http://www.dgi.inpe.br>. Acessado em 19 de agosto de 2004.

SHIMABUKURO, Y. E., SANTOS J. R. et al. **Imagens CBERS IR-MSS para Caracterização de Áreas Desflorestadas na Amazônia.** Foz do Iguaçu, Anais X SBSR, INPE 2001.

SOBUE, J. K. **Imagem digital – Representação e Manipulação matemática**. Departamento de informática das Faculdades Integradas – UPIS. Disponível em www.upis.br/revistavirtual. Acessado em novembro de 2005.

SORIANI, R.R. **Gráfico Comparativo das respostas Espectrais do Landsat 5 e CBERS 2**. Unidade de Geoprocessamento - IMAP/SEMA-MS. Campo Grande, inédito.

STEFFEN, C. A. **Introdução ao Sensoriamento Remoto**. INPE/Divisão de Sensoriamento Remoto. Disponível em <http://www.inpe.br> . Acessado em 19 de agosto de 2004.

STEFANES, M., PARANHOS F^o, A.C., TERUYA, Jr. H., FERREIRA, L. M., SILVEIRA, E. M. S. **Avaliação do Uso do Mosaico *Geocover*, como Base para Georreferenciamento de Imagens CBERS 2 - Sensor CCD**. IV Simpósio Brasileiro de Engenharia Ambiental, Ribeirão Preto-SP, Brasil. Resumo CD ROM, outubro 2005.

UFRGS Centro de Ecologia **Modelos Digitais de Elevação dos estados brasileiros, obtidos a partir do SRTM (Shuttle Radar Topography Mission)**. disponível em <http://www.ecologia.ufrgs.br/labgeo/> acessado em 14 de fevereiro de 2005.

WENDE C. **An Introductory Landsat Tutorial**. Disponível em <https://zulu.ssc.nasa.gov/mrsid/tutorial/Landsat/Tutorial-V1.html>. Acessado em 20 de dezembro de 2004.