

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE ENGENHARIA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA CIVIL

PALOMA MANSINI BASSO

AVALIAÇÃO DO USO DE TÉCNICAS DIGITAIS PARA CARACTERIZAÇÃO DE
ÁREA DEGRADADA POR EMPRÉSTIMO DE SOLO:
MÁXIMA VEROSSIMILHANÇA x MODELO LINEAR DE MISTURA ESPECTRAL

Ilha Solteira
2015



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"Júlio de Mesquita Filho"
Campus de Ilha Solteira

**AVALIAÇÃO DO USO DE TÉCNICAS DIGITAIS PARA CARACTERIZAÇÃO DE
ÁREA DEGRADADA POR EMPRÉSTIMO DE SOLO: MÁXIMA
VEROSSIMILHANÇA x MODELO LINEAR DE MISTURA ESPECTRAL**

PALOMA MANSINI BASSO

**Dissertação apresentada ao Programa de Pós-graduação em
Engenharia Civil – Recursos Hídricos e Tecnologias
Ambientais, UNESP - Faculdade de Engenharia, no Campus
de Ilha Solteira como requisito para a obtenção do título de
Mestre.**

Orientador: Prof. Dr. José Augusto de Lollo

Ilha Solteira

2015



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
CAMPUS DE ILHA SOLTEIRA
FACULDADE DE ENGENHARIA DE ILHA SOLTEIRA

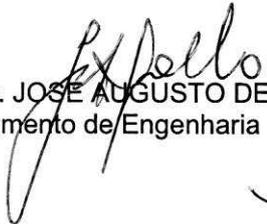
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: Avaliação do uso de técnicas digitais para caracterização de área degradada por empréstimo de solo: máxima verossimilhança x modelo linear de mistura espectral

AUTORA: PALOMA MANSINI BASSO

ORIENTADOR: Prof. Dr. JOSE AUGUSTO DE LOLLO

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de MESTRE EM ENGENHARIA CIVIL , Área: RECURSOS HIDRICOS E TECNOLOGIAS AMBIENTAIS, pela Comissão Examinadora:


Prof. Dr. JOSE AUGUSTO DE LOLLO
Departamento de Engenharia Civil / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. FERNANDO BRAZ TANGERINO HERNANDEZ
Departamento de Fitossanidade, Engenharia Rural e Solos / Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira


Prof. Dr. RODOLFO MOREDA MENDES
Laboratório de Análises Geológicas / Instituto Geológico

Data da realização: 14 de fevereiro de 2012.

DEDICO,

aos meus pais **Vanderlei Basso** e **Maria de Lourdes Mansini**, que além do incentivo, base e confiança, caminharam ao meu lado para juntos alcançarmos esta conquista. E em memória, aos meus avós maternos e ao meu tio, padrinho, exemplo eterno de conduta e integridade: **José Carlos Manzini.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço primeiramente ao Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil da UNESP de Ilha Solteira pela disponibilização de meios para a realização da pesquisa e a obtenção do título de mestre. Juntamente com o agradecimento a CAPES e ao CNPq pelo fornecimento de bolsas de estudo viabilizando a pesquisa.

Ao professor José Augusto de Lollo desde o aceite na orientação aos momentos produtivos, turbulentos e entre tantos outros bastante periclitantes de ordem pessoal, na qual o professor sempre agiu com compreensão, paciência, fraternidade, ética, apoio e integridade. Agradeço além do exemplo e orientação, mas principalmente as ações humanas e fraternas.

Agradeço aos professores do departamento da Engenharia Civil: Jefferson Nascimento de Oliveira, que deixou em mim muito mais do que pode imaginar, exemplos de conduta; a Profa. Dra. Luzenira Alves Brasileiro; Prof. Dr. Tsunao Matsumoto e ao Prof. Dr. Sérgio Luís de Carvalho.

Aos meus companheiros da luta diária, Wilson Negrão que caminhou comigo deste a graduação e seguirá como um irmão por toda a jornada; Camila, Yemall, Diego e Amanda, colegas queridos que cada um da sua forma seguiram ao meu lado e juntos tivemos momentos bons. Valéria e Andréia que sempre me incentivaram e acreditaram em mim. E a Caroline Aparecida de Almeida Silva, irmã, amiga, mãezona, minha “flor azul”... Obrigada por tudo!

Agradeço também as pessoas que ajudaram na minha formação como ser humano: meus pais que mesmo entre tantas intemperes, não deixaram de me incentivar e andar a todo o tempo de mãos dadas comigo; a forma meio bruta mas com amor do meu irmão Pedro; a Verônica que até a finalização dos slides esteve me apoiando; a minha avozinha Maria que mesmo sem entender acreditou e tantas vezes me empurrou com palavras e; em memória aos meu avós maternos que sempre foram minhas inspirações e ao meu tio Carlos que sempre representará meu maior orgulho de serenidade, dignidade e conduta.

Agradeço com carinho a minha companheira Bel, porque se agora finalizo esta etapa é pelo seu companheirismo, incentivo e força.

Assim, agradeço a todos que de uma maneira ou outra me ajudaram a conquistar mais esta etapa. Muito Obrigada!

**"Há homens que lutam um dia e são bons.
Há outros que lutam um ano e são
melhores.
Há os que lutam muitos anos e são muito
bons.
Porém, há os que lutam toda a vida.
Esses são os imprescindíveis."**

Bertolt Brecht.

RESUMO

Atividades minerais para obtenção de solos e sedimentos como materiais de construção representam importante fonte de impactos ambientais. Na década de 1960, período de início da construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, não havia legislação que impusesse critérios ambientais quanto à implantação da obra como das exigências pós-utilização das áreas de empréstimo para a realização desta, resultando em diversas áreas degradadas. No município de Selvíria - MS, a construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira e obras auxiliares originaram várias áreas de empréstimo tanto na atual área urbana, como em áreas de expansão urbana do município e no setor rural. Assim, surgiu a presente pesquisa com objetivo de comparar e avaliar formas de processamento digital de imagem no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas, visando obter a ferramenta eficaz para futuros estudos de áreas de empréstimo com base na identificação da degradação via processos de sensoriamento remoto. As técnicas analisadas são a classificação tradicional supervisionada de imagem, através do método da Máxima Verossimilhança (MV) com a classificação por pixel; classificação tradicional por região, com o classificador *Isoseg*; e a aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral. Os produtos utilizados foram imagens dos sensores CCD e HRC do satélite CBERS-2B. Como resultados foram obtidas diferentes classificações das imagens que permitiram discutir os prós/contras de cada técnica de classificação para esta finalidade, além de permitir a sugestão de uma técnica adequada para futuros estudos referentes as áreas de empréstimo com base no uso de imagens de satélite.

Palavras-chave: Degradação ambiental. Processamento Digital de Imagens. SIG. SPRING. MLME. CBERS-2B.

ABSTRACT

The mineral activity to extract soil and sediment material to build and construct has become an important source of environmental impact. In the 60's, the beginning of IlhaSolteira Power Station building era, there were not environmental norms to prevent or guide what would be done with those borrow sites after the construction had finished, resulting in several degraded areas. The construction of IlhaSolteira Power Station in Selviria city MS and others ancillary working areas generated more borrow sites: in the actual urban area and its surroundings' also in the rural areas. There by, this actual research appears with the aim to compare and assess three different ways of digital image process done by Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING) for more effective tools in the future studies of borrow sites based in the degradation identification by remote sensing methods. The analyzed methods are: traditional overseen image through Maximum Likelihood Estimation classified by pixels, the traditional classification by area i.e. *Isoseg* and the Harmonic Linear Spectral Prediction. The images used were taken from sensor CCD e HRC and satellite CBERS-2B. As a result, different classification from images were obtained, allowing the assessment for each method of classification for this purpose, moreover allowing suggestions for appropriate methods for future studies concerning borrow sites, based in satellite images.

Key words: Environmental Degradation. Digital Image Process.; SIG. SPRING. MLME. CBERS-2B.

LISTA DE FIGURAS

| | |
|---|----|
| Figura 1 –Esboço da Degradação da área e possíveis intervenções | 27 |
| Figura 2 –Estrutura básica de um SIG | 34 |
| Figura 3 –Etapas do processamento digital de imagens | 38 |
| Figura 4– Etapas de classificação supervisionada | 42 |
| Figura 5 –Pixels selecionados por meio de treinamento | 43 |
| Figura 6– Exemplo de classificação supervisionada | 43 |
| Figura 7– Limite de Decisão | 44 |
| Figura 8 – Exemplo de figura não supervisionada | 45 |
| Figura 9– Esquematização dos levantamentos bibliográficos e de campo | 50 |
| Figura 10– Esquematização do processo de Fusão | 52 |
| Figura 11– Importação das imagens CCD | 53 |
| Figura 12 – Assistente para importação das imagens CCD do CBERS | 53 |
| Figura 13– Composição R3 G4 B2 | 54 |
| Figura 14– Procedimento de importação da imagem HRC | 55 |
| Figura 15– Imagem HRC importada | 55 |
| Figura 16– Localização da HRC não coincide com a CCD | 56 |
| Figura 17– Imagem CCD antes do Realce | 57 |
| Figura 18– Imagem CCD após o Realce | 57 |
| Figura 19 –Início do Processo de registro da imagem HRC – Menu Arquivo – Registro | 58 |
| Figura 20– Pontos distinguíveis nas duas imagens | 58 |
| Figura 21– Procedimento Mosaico | 59 |
| Figura 22– Visualização da eficiência do Registro. A imagem HRC-R; B2 e G4.. | 60 |
| Figura 23– Procedimento de restauração para cada banda | 61 |
| Figura 24– Visualização das bandas CCD e HRC concomitantemente | 62 |

| | |
|---|----|
| Figura 25– Menu Editar; Plano de Informação; categoria HRC selecionada; Retângulo Envolvente com cursor ativado e Adquirir | 62 |
| Figura 26– Área demarcada no Retângulo Envolvente | 63 |
| Figura 27– Novos PI's, para inserir as imagens reamostradas | 63 |
| Figura 28– Preenchimento dos PI's com as imagens restauradas | 64 |
| Figura 29– Criação do novo PI da HRC | 65 |
| Figura 30– Inserindo o resultado do mosaico no novo PI | 65 |
| Figura 31– Procedimento para transformação de RGB para IHS | 66 |
| Figura 32– Procedimento para transformação de IHS para RGB | 67 |
| Figura 33– Imagem CCD com resolução de 2.5m | 68 |
| Figura 34– Exemplo de criação do contexto de classificação supervisionada, caso específico do contexto para a classificação das imagens CCD com 20m | 69 |
| Figura 35– Exemplo de aquisição de amostra poligonal do atributo Recurso Hídrico | 70 |
| Figura 36– Classificação MAXVER | 70 |
| Figura 37– Pós-classificação com demonstração do peso e limiar empregados | 71 |
| Figura 38 – Etapa do mapeamento no qual relaciona os temas a suas classes | 72 |
| Figura 39– Início da classificação por região | 73 |
| Figura 40– Exemplo de imagem segmentada | 73 |
| Figura 41 –Etapas de extração de atributos por região e posteriormente a classificação de imagem | 74 |
| Figura 42– Classificação por região antes do mapeamento | 75 |
| Figura 43 –Procedimento do mapeamento na qual se relaciona os temas a suas classes | 76 |
| Figura 44– Imagem CCD de 20 metros classificada por região | 76 |
| Figura 45– Início do procedimento para a criação do MLME | 78 |
| Figura 46– Finalização da geração do Modelo | 78 |
| Figura 47– Resultado do MLME aplicado em imagem CBERS-2B (20m | 79 |
| Figura 48– Esquematização do local da área de empréstimo de solo estudada | 81 |

| | |
|--|-----|
| Figura 49 –Enquadramento geológico do município de Selvíria e da área em apreço | 83 |
| Figura 50 –Enquadramento pedológico do município de Selvíria e da área em apreço | 85 |
| Figura 51– Enquadramento da vegetação do município de Selvíria e da área em apreço | 87 |
| Figura 52– Composição R3G4B2 de resolução de 20m | 88 |
| Figura 53–Diferentes estágios de degradação ou recuperação do local | 90 |
| Figura 54– Áreas com recuperação antrópica | 92 |
| Figura 55– Áreas com recuperação natural | 92 |
| Figura56 –Classificação supervisionada pelo MAXVER, nas imagens com resolução de 20m | 93 |
| Figura 57– Classificação por região nas imagens com resolução de 20m | 94 |
| Figura 58– Resultado das classificações tradicionais nas imagens com resolução de 20m. I – por Pixel e II – por Região | 94 |
| Figura 59– Processo de ravinamento me áreas com intensa remoção de solo | 96 |
| Figura 60– Voçorocas desenvolvidas em áreas bastante escavadas | 96 |
| Figura 61– Localização de alguns pontos característicos da área de estudo | 97 |
| Figura 62– Ao fundo área preservada e a frente fortemente degradada | 98 |
| Figura 63 –Parcela da área sem escavação do solo e que conserva vegetação original | 98 |
| Figura 64–Imagem sintética gerada após a aplicação do modelo linear de mistura espectral nas bandas CCD com resolução de 20m | 100 |
| Figura 65 –Classificação por Pixel após aplicação do MLME em imagens com resolução de 20m | 100 |
| Figura 66– Classificação por Região após aplicação do MLME em imagens com resolução de 20m | 101 |

| | |
|---|-----|
| Figura 67– Comparação das classificações por pixel em imagens de 20m. I – sem aplicação do modelo e II – com aplicação do MLME | 102 |
| Figura 68 –Comparação das classificações por Região em imagens de 20m. I – sem aplicação do modelo e II com aplicação do MLME | 102 |
| Figura 69– Imagem sintética resultante da fusão das bandas do sensor CCD com a imagem do sensor HRC, resolução espacial de 2.5m | 103 |
| Figura 70– Classificação tradicional por pixel na imagem fusionada com resolução de 2.5m | 104 |
| Figura 71 –Comparação de classificações tradicionais por Pixel. I – imagem fusionada com resolução de 2.5m II – imagem com resolução de 20m | 104 |
| Figura 72– Áreas úmidas | 105 |
| Figura 73– Classificação tradicional por região na imagem fusionada | 106 |
| Figura 74– Imagem sintética com aplicação do MLME e resolução espacial de 2.5m | 107 |
| Figura 75 –Classificação por Pixel da imagem fusionada com aplicação do MLME | 108 |
| Figura 76 –Classificação por região na imagem fusionada com aplicação do MLME | 108 |

LISTA DE QUADROS

| | |
|--|----|
| Quadro 1– Impactos mais comuns em áreas de empréstimo do solo | 26 |
| Quadro 2– Principais características do satélite CBERS | 33 |
| Quadro 3– Principais características dos três imageadores a bordo do CBERS | 33 |
| Quadro 4– Algoritmos de classificação mais comuns | 41 |

LISTA DE ABREVIATURAS E SIGLAS

| | |
|--------|--|
| ABNT | Associação Brasileira de Normas Técnicas |
| CBERS | Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres |
| CCD | Câmera Imageadora de Alta Resolução |
| CESP | Companhia Energética de São Paulo |
| CETESB | Companhia Ambiental do Estado de São Paulo |
| GPS | Sistema de Posicionamento Global |
| HRC | Câmera Pancromática de Alta Resolução |
| IBAMA | Instituto Brasileiro do Meio Ambiente e dos Recursos Naturais Renováveis |
| IBGE | Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística; |
| IF | Infravermelho |
| INPE | Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais |
| IRMSS | Imageador por Varredura de Média Resolução |
| LEGAL | Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra |
| MLME | Modelo Linear de Mistura Espectral |
| MNT | Modelo Numérico de Terreno |
| MS | Mato Grosso do Sul |
| MV | Máxima Verossimilhança |
| NBR | Norma Brasileira |
| OECD | Organização para a Cooperação e Desenvolvimento Econômico |
| PDI | Processamento Digital de Imagens |
| P-E-R | Modelo Pressão - Estado - Resposta |
| PI | Plano de Informação |
| PRAD | Plano de Recuperação de Áreas Degradadas |
| RMSE | Root Mean Square Error |

| | |
|--------|---|
| RNA's | Redes Neurais Artificiais |
| SEPLAN | Secretaria de Estado de Planejamento |
| SIG | Sistema de Informação Geográfica |
| SPRING | Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas |
| SR | Sensoriamento Remoto |
| UHE's | Usinas Hidrelétricas |
| UNESP | Universidade Estadual Paulista |
| UTM | Universal Transversa Mercator |
| WFI | Câmera Imageadora de Amplo Campo de Visada |
| WWF | World Wildlife Fund (Fundo Mundial da Natureza) |

SUMÁRIO

| | | |
|------------|---|----|
| 1 | CAPÍTULO | 17 |
| 1.1 | ESTRUTURA DO TEXTO | 17 |
| 1.2 | INTRODUÇÃO | 17 |
| 2 | FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO–METODOLÓGICA | 21 |
| 2.1 | RELAÇÃO HOMEM & MEIO | 21 |
| 2.2 | GERAÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA NO BRASIL E NO MATO GROSSO DO SUL | 22 |
| 2.3 | ANÁLISE SISTÊMICA DE TOTALIDADE | 23 |
| 2.4 | ÁREAS DEGRADADAS | 24 |
| 2.4.1. | <i>Áreas de empréstimo de solo</i> | 25 |
| 2.5. | GEOPROCESSAMENTO | 27 |
| 2.6. | SENSORIAMENTO REMOTO | 29 |
| 2.6.1. | <i>Satélites Sino-Brasileiros de Recursos Terrestres</i> | 31 |
| 2.7. | SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG) | 34 |
| 2.7.1. | <i>Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas...</i> | 36 |
| 2.8. | PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM | 38 |
| 2.8.1. | <i>Classificação de imagens digitais</i> | 40 |
| 2.8.1.1. | Classificação supervisionada | 41 |
| 2.8.1.1.1. | Máxima Verossimilhança | 43 |
| 2.8.1.2. | Classificação não supervisionada | 44 |
| 2.8.1.3. | Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME) | 45 |
| 2.8.1.4. | Aplicações Gerais do MLME | 48 |
| 3. | PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS | 50 |
| 3.1. | LEVANTAMENTOS BIBLIOGRÁFICOS E DE CAMPO | 50 |
| 3.2. | AMBIENTAÇÃO E TREINAMENTO COM SIG | 51 |
| 3.3. | FUSÃO DE IMAGEM HRC COM IMAGENS CCD DO SATÉLITE CBERS - 2B | 51 |

| | | |
|----------|---|-----|
| 3.4. | PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS | 68 |
| 3.4.1. | <i>Métodos Tradicionais.</i> | 68 |
| 3.4.1.1. | Classificação supervisionada | 68 |
| 3.4.1.2. | Classificação por região | 72 |
| 3.4.2. | <i>MLME</i> | 77 |
| 4. | LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA ÁREA ESTUDADA | |
| 4.1. | LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO | 80 |
| 4.2. | GEOLOGIA | 82 |
| 4.3. | SOLOS | 84 |
| 4.4. | COBERTURA VEGETAL | 86 |
| 5. | RESULTADOS E DISCUSSÕES | |
| 5.1. | CLASSIFICAÇÕES TRADICIONAIS DAS IMAGENS CCD DO CBERS-2B – 20M | 93 |
| 5.2. | CLASSIFICAÇÕES COM MLME NAS IMAGENS DE RESOLUÇÃO DE 20M | 99 |
| 5.3. | CLASSIFICAÇÕES TRADICIONAIS DAS IMAGENS DE RESOLUÇÃO ESPACIAL DE 2.5M | 103 |
| 5.4. | CLASSIFICAÇÕES DAS IMAGENS FUSIONADAS COM APLICAÇÃO DO MLME | 106 |
| 6. | CONCLUSÕES | 110 |
| | REFERÊNCIAS | 112 |
| | APÊNDICES | 122 |

CAPÍTULO 1

1.1. ESTRUTURA DO TEXTO

A dissertação ora apresentada é subdividida em seis capítulos. Na introdução se faz uma abordagem da importância dos estudos relacionados à questão ambiental e apresentação geral dos objetivos e resultados alcançados.

No Capítulo 2 é apresentada a fundamentação teórico-metodológica dos principais assuntos abordados neste trabalho.

O Capítulo 3 apresenta a Metodologia aplicada para a realização deste estudo. Nesse conteúdo se encontram descritas todas as etapas desenvolvidas para obtenção das informações necessárias ao projeto.

O quarto Capítulo aborda a localização e caracterização geoambiental do município de Selvíria-MS e da área de empréstimo em estudo.

No Capítulo 5 são apresentados os resultados e discussões obtidos das respectivas avaliações.

E por fim, no Sexto Capítulo são abordadas as conclusões.

1.2. INTRODUÇÃO

Em 1972, a partir da Conferência Mundial sobre Meio Ambiente, realizada em Estocolmo, a questão ambiental emerge, principalmente nos países mais avançados. O Brasil, embora tenha participado da Conferência de Estocolmo, apenas em 1981 promulgou a Lei 6.938 que trata o significado de meio ambiente como um “conjunto de condições, leis, influências e interações de ordem física, química e biológica, que permite abrigar e reger a vida em todas as suas formas”, estabelecendo a Política Nacional do Meio Ambiente. Nessa lei estão todos os fundamentos que definem a proteção ambiental em nosso país e que, posteriormente, durante a década de 80, foram regulamentados através de decretos, normas, resoluções e portarias (Ibram, 1992).

Assim no Brasil, como em todo o mundo, emergem preocupações com o meio ambiente devido a inúmeras modificações feitas à natureza, resultantes de gestos insatisfatórios aos atributos originais e dinâmicos do ambiente, em consequência de valorizar

os recursos naturais apenas como matéria-prima, sendo base para a acumulação e reprodução do capital.

Somos a cada passo advertidos de que não podemos dominar a natureza como um conquistador domina um povo estrangeiro, como alguém situado fora da natureza; nós lhe pertencemos, com a nossa carne, nosso sangue, nosso cérebro; estamos no meio dela; e todo o nosso domínio sobre ela consiste na vantagem que levamos sobre os demais seres de poder chegar a conhecer suas leis e aplicá-las corretamente. É através da compreensão das leis da natureza que se pode tratar das questões ambientais, e a natureza deve ser vista como um sistema maior formado por outros subsistemas integrados (ENGELS 1976, apud CASSETI, 1995, p. 29).

Entretanto, as preocupações com o meio natural deveriam existir a partir do momento em que homem tem conhecimento que sua existência depende do equilíbrio deste meio, porém não é esta situação vivenciada em pleno século XXI. Em geral a apropriação da natureza acontece como consequência de decisões econômicas, sem levar em conta que os recursos naturais são esgotáveis e seus usos deveriam permitir qualidade de vida garantida às gerações futuras com o uso sustentável dos recursos naturais.

Como instrumento para prevenir ou mesmo reparar ações inadequadas ao meio ambiente é indispensável valer-se de técnicas e processos metodológicos que visem planejar de forma sistêmica o espaço geográfico, situação inexistente desde primórdios da ocupação brasileira, conforme expressa Oliveira:

A história da ocupação do território brasileiro é profundamente marcada pelo descaso com a natureza. Desde a chegada dos portugueses cultivamos o hábito de ocupar o território em antes conhecê-lo. Utilizamos, desde então, diversas formas de organização territorial, porém, sempre carente de um projeto de desenvolvimento ambientalmente correto e socialmente justo para conduzir esta ocupação. Este fato é mais revelador quando se trata da implantação de grandes obras voltadas para apoiar o desenvolvimento nacional. Um exemplo notório é o dos projetos de geração de energia representados pelas grandes usinas hidrelétricas (UHE's) instaladas no país. Desde a década de 1960, a região do alto curso do Rio Paraná tem sido um dos locais mais privilegiados para a implantação destes projetos, notadamente pela proximidade dos centros consumidores de energia (OLIVEIRA, 2004, p.15).

Desde a década de 1960, fruto da necessidade de ampliar a oferta energética nacional, a região do Alto Paraná cedeu à instalação do Complexo Hidrelétrico de Urubupungá. No município de Selvíria, em função da construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira e obras auxiliares, o setor da construção civil demandou matérias-primas minerais, fazendo com que diversas áreas tenham sido utilizadas como área de empréstimo, gerando impactos significativos em vários locais.

Kopezinski (2000) afirma ser inegável que a mineração assuma importância decisiva para o desenvolvimento no mundo moderno, entretanto, esta atividade deixa imensas áreas degradadas que, na maioria das vezes, não podem ser ocupadas racionalmente.

Porém, a construção de grandes empreendimentos necessita, na maioria das vezes, do empréstimo de solo de outras regiões e segundo Lickset al. (2008, p.6):

Nesses locais, denominados de áreas de empréstimo, o ambiente é modificado pela remoção da cobertura vegetal e do solo, e em muitos casos do subsolo, reduzindo a espessura da camada entre a superfície do solo e a rocha matriz. Essas condições propiciam fenômenos erosivos e outros impactos ambientais, fazendo com que a biota tenha dificuldades para sobreviver em decorrência da modificação de seu habitat desencadeando, assim, desequilíbrios ambientais. Desse modo, surge a necessidade de intervenções para recuperação desses locais (...).

Atualmente uma série de instrumentos legais, a começar pela Constituição Federal, regulam as atividades potencialmente poluidoras, ditando normas e procedimentos para que as operações transcorram dentro de condições de controle. O Artigo 225 da Constituição, também conhecido como Capítulo do Meio Ambiente, estabelece que "Todos têm direito ao meio ambiente ecologicamente equilibrado, bem de uso comum do povo e essencial à sadia qualidade de vida, impondo-se ao poder público e à coletividade o dever de defendê-la e preservá-la para presentes e futuras gerações".

Este Artigo incumbe ao Poder Público "exigir, na forma da lei, para instalação de obra ou atividade potencialmente degradadora do meio ambiente, estudo prévio de impacto ambiental, a que se dará publicidade". Determina-se, ainda, que "aquele que explorar recursos minerais fica obrigado a recuperar o meio ambiente degradado, de acordo com solução técnica exigida pelo órgão público competente, na forma da lei".

Com relação às sanções penais, a Constituição Federal estabeleceu que "as condutas e atividades lesivas ao meio ambiente sujeitarão os infratores, pessoas físicas ou jurídicas, a sanções penais e administrativas, independentemente da obrigação de reparar o dano".

Em 1998, a promulgação da Lei 9.605, de 12/02/98, determinou a passagem das questões relacionadas a danos ambientais do âmbito administrativo para o âmbito criminal. A Lei também conhecida como Lei de Crimes Ambientais, específica às condições nas quais danos ambientais serão considerados e tratados como crime, com penas de indenização e de reclusão. Além disso, determina a coautoria dos crimes ambientais, definida para todos aqueles que, de alguma forma, atuaram na ação que determinou o dano, no caso de empresas, desde o operário comum até o presidente do conselho administrativo, além das autoridades públicas que tenham, comprovadamente, negligenciado o fato.

E a Lei nº. 6.938/81 (Política Nacional de Meio Ambiente), já referida anteriormente, adota o critério da responsabilidade objetiva em seu Artigo 14º, pelo qual “[...] o poluidor é obrigado, independentemente da existência de culpa, a indenizar ou reparar os danos causados ao meio ambiente e a terceiros, afetados por sua atividade.” Nesta teoria da responsabilidade objetiva não se cogita o elemento de culpa. O empreendedor que, ao criar e operacionalizar a sua atividade cria riscos para terceiros, fica obrigado a reparar qualquer dano àquele causado, ainda que a sua atividade e a sua atitude estejam isentas de culpa.

As construções das UHE's do Noroeste do Estado de São Paulo antecederam o início das legislações ambientais, ocasionando diversas áreas degradadas por empréstimos de solo em toda a região. Devido ao nível de exploração e ao período de tempo em que sofreram os impactos não serem, todavia intensos e constantes, ou seja, estas duas características sendo flexíveis aos interesses de cada retirada de solo, a recuperação destas áreas tem certas dificuldades de ação, uma vez que uma mesma área de empréstimo de solo possui diversos níveis de exploração e conseqüentemente deverá ter técnicas diferentes de intervenções.

Desta forma, surgiu presente pesquisa com objetivo de comparar e avaliar duas formas de processamento digital de imagem (PDI) no Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas (SPRING), visando obter a ferramenta eficaz para futuros estudos de áreas de empréstimo com base na identificação da degradação via processos de sensoriamento remoto.

As técnicas analisadas de PDI foram: a classificação tradicional supervisionada de imagem, através do método da Máxima Verossimilhança (MV) e a aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME), ambas as técnicas foram realizadas por meio dos procedimentos de classificações por pixel e por região, com o classificador *Isoseg*. Os produtos utilizados foram imagens dos sensores CCD e HRC do satélite CBERS 2B.

Como resultados, foram obtidas oito diferentes classificações das imagens que permitiram discutir os prós/contras de cada técnica de classificação para identificar os níveis de degradação em áreas de empréstimo de solo, possibilitando a sugestão de uma técnica adequada para futuros estudos referentes às áreas de empréstimo com base no uso de imagens de satélite.

CAPÍTULO 2

FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICO-METODOLÓGICA

2.1. RELAÇÃO HOMEM & MEIO

A partir dos avanços nos diversos campos do conhecimento técnico-científico, a capacidade de modificação e utilização do meio ambiente pelo homem aumentou consideravelmente. O espaço geográfico é transformado pela atuação humana, sendo constantemente modificado e reorganizado conforme a demanda pela sociedade. Assim, cada vez mais são necessários os métodos e ações que minimizem os impactos causados pelo uso e ocupação sem planejamento do ambiente.

Segundo Fernandes (2008) a ocupação indevida do homem e a exploração desordenada do meio ambiente demonstram bem o desrespeito humano com a fragilidade e necessidade de conservação dos recursos naturais. É certo que há necessidade de exploração desses recursos, porém ela deve ter um caráter conciliador que respeite suas potencialidades e fragilidades a fim de evitar a sua completa devastação.

Vale ressaltar que pesquisadores classificam diferentemente o termo meio ambiente de espaço geográfico, na qual defendem que meio ambiente refere-se apenas aos sentidos ecológicos. Entretanto nesta pesquisa estes dois termos tem o mesmo significado, sendo respaldados em Branco & O'Neil (1993); Bauad *et al* (1997); Santos (1997) e ABNT (1989).

Branco & O'Neil (1993), referem-se ao meio ambiente como o palco das relações entre o homem e a natureza no curso do desenvolvimento do processo produtivo, sendo que a dinâmica do desenvolvimento das forças produtivas e das relações de produção provocará conflitos sociais e impactos ambientais, determinados na apropriação da natureza pela sociedade.

Para Bauad *et al.* (1997), o termo meio geográfico refere-se como sendo o objeto de estudo com a significância de ser um espaço uno caracterizado por seus atributos naturais, sociais, econômicos e culturais, uma vez que o sistema antrópico ou construído é analisado juntamente com o sistema natural.

E na concepção de Santos (1997), além dessas características que compõem o espaço geográfico, as variáveis tempo e espaço são essenciais e o termo possui maior complexidade.

Enquanto que a ABNT (1989), considera o meio ambiente como sendo determinado espaço onde ocorre a interação entre os meios físico, biológico e sócio-econômico.

2.2. GERAÇÃO DE ENERGIA HIDRELÉTRICA NO BRASIL E NO MATO GROSSO DO SUL

A partir da década de 1930, com Getulio Vargas presidente, começa a preocupação governamental em garantir uma infraestrutura básica para o crescimento da nação, enfatizando os setores de energia e transporte.

No final da década de 1960 e início de 70, representada com o início da Ditadura e do tão conhecido “Milagre Econômico”, se observava intenção de transformar o Brasil em uma “Potência Emergente”, na qual começou o investimento maciçamente em infraestrutura. Dentre os investimentos, a construção de grandes barragens, entre elas Ilha Solteira e Jupia no Estado de São Paulo, Itaipu no Paraná, entre diversas outras. Tais investimentos só foram barrados com as sucessivas crises econômicas após a retomada da Democracia em meados da década de 1980.

A partir de informações do Grupo de Estudos de Políticas Energéticas - WWF (2006), no Brasil a maior fonte de energia são as usinas hidrelétricas perfazendo cerca de 80% da oferta de eletricidade.

Como exemplos de hidrelétricas nacionais têm-se a Usina Hidrelétrica de Tucuruí, sendo uma central hidroelétrica no Rio Tocantins e com uma capacidade geradora instalada de 8.370 MW e usina de Belo Monte, na qual em 01 de junho de 2011 o IBAMA concedeu a licença de instalação.

No Noroeste do Estado de São Paulo, o Complexo Hidrelétrico Urubupungá, apresenta-se como sendo um empreendimento nacional considerável, em sua extensão em geração de energia. Perfaz as Usinas Hidrelétricas de Ilha Solteira, Engenheiro Souza Dias – Jupia e a Usina Hidrelétrica Três Irmãos em Pereira Barreto.

A Usina Hidrelétrica que originou a área de empréstimo estudada no presente trabalho foi a Usina de Ilha Solteira, construída pela Companhia Energética de São Paulo (CESP) no limite dos Estados de São Paulo e Mato Grosso do Sul. A barragem tem 5.605 m de comprimento e seu reservatório tem 1.195 km² de área, com uma potência instalada de 3.444,0 MW e tem 20 unidades geradoras com turbinas tipo Francis (CESP, 1988).

Na década de 1960, período de início da construção da Usina Hidrelétrica de Ilha Solteira, a legislação era insignificante ao tratar tanto da implantação da obra como das exigências pós-utilização das áreas de empréstimo para a realização desta, dando origem

às áreas degradadas. Atualmente para obras que comprometem o meio ambiente são exigidos por lei a apresentação do PRAD - Plano de Recuperação de Áreas Degradadas.

No município de Selvíria, assim como no de Ilha Solteira, além da construção da Usina Hidrelétrica, obras auxiliares originaram várias áreas de empréstimo tanto na atual área urbana, como em áreas de expansão urbana do município e no setor rural.

Como consequência desta tipologia de explorações minerárias há uma considerável redução da potencialidade de uso das áreas impactadas, geralmente limitando-as à usos como pecuária ou turismo e, por mormente se tratarem de áreas rurais ou de expansão urbana, tal problemática não é devidamente valorizada e sintetizada. Desta forma uma das justificativas desta pesquisa refere-se à adequação da técnica eficaz de PDI para possíveis estudos.

2.3. ANÁLISE SISTÊMICA DE TOTALIDADE

A fundamentação teórica obteve embasamento na Teoria Geral dos Sistemas. Entendendo sistema como conjunto de partes que complexamente se inter-relacionam, formando uma totalidade dinâmica, em constante transformação de sua estrutura, devido aos diversos fluxos de energia e matéria, ao longo do tempo e do espaço.

[...] conceito geossistema como a escala em que se situa a maior parte dos fenômenos de interferência entre os elementos da paisagem, de interesse Geográfico. O geossistema corresponde a dados ecológicos relativamente estáveis, resultantes da combinação de vários fatores. De um lado o potencial ecológico, representado pelos aspectos geomorfológicos, climáticos e hidrológicos, e de outro, a exploração biológica, compreendida como o conjunto do solo, da vegetação e da fauna (BERTRAND, 1971, p. 14).

A teoria sistêmica parte do princípio que os sistemas representam totalidades e suas propriedades representam o todo. E assim cada parte não tem sentido separadamente, obtendo significância apenas quando interpretadas juntas dentro de um contexto do todo maior, ou seja, considerando o seu meio ambiente.

Desta forma, vale ressaltar que no presente, na busca de entender a totalidade do sistema, consideram-se tanto as relações entre os elementos, quanto à relação entre os subsistemas. Os quais serão agrupados em subsistemas natural, construído, socioeconômico e produtivo (PINTO, 1998).

O geossistema é certamente um sistema natural, porém não tem como o ser humano não ser considerado parte do meio. O homem é parte integrante da natureza, de sua evolução e transformação, de modo que se estiver uma ação antrópica a afetar essa natureza ela (a ação

antrópica), poderá certamente fazer parte do geossistema, principalmente se tivermos em vista que mesmo modificado pelo homem o sistema continua a possuir componentes naturais.

Assim, Monteiro (2000) sintetiza a análise sistêmica como sendo uma tentativa de melhoria da investigação na Geografia Física, a partir do método que tem por finalidade integrar e inter-relacionar os aspectos naturais e humanos.

2.4. ÁREAS DEGRADADAS

Para Cruz (2008), uma determinada área é considerada como degradada quando ocorrem impactos ambientais negativos nesta, tais como: alterações das suas propriedades físicas (estrutura ou grau de compactidade e a perda de matéria devido à erosão), e a alteração de características químicas, devido a processos como a salinização, lixiviação, deposição ácida e a introdução de poluentes.

Abel e Blaikie (1989), faz referências à algumas condições do ambiente que remetem a degradação de superfície, sendo: (1) erosão do solo - perda de partículas minerais, matéria orgânica e nutrientes; (2) alterações na estrutura do solo - em particular aquelas que afetam a capacidade de água disponível; (3) decréscimo das espécies de plantas nutritivas e saborosas, e aumento de plantas não nutritivas e não saborosas; (4) decréscimo na vegetação rasteira perene, e aumento nas anuais; (5) substituição das espécies de maior porte por espécies arbustivas; (6) declínio na qualidade e quantidade de forragem; (7) declínio na produtividade primária e redução das espécies secundárias; e (8) declínio no bem-estar dos rebanhos locais.

Segundo a NBR 10703 da ABNT (1989), a ação de degradar o solo refere-se a “alteração adversa das características do solo em relação aos seus diversos usos possíveis, tanto os estabelecidos em planejamento, como os potenciais”. A partir desta definição, pode-se dizer que o solo neste contexto abordado é visto como espaço geográfico, ou seja, deixa de ter o sentido simplista de matéria ou componente predominante abiótico do ambiente. Segundo Tavares (2008), na Norma ao citar a expressão “alteração adversa”, sugere a aproximação com o conceito de efeito ou impacto ambiental considerado negativo.

Ainda nas Normas da ABNT (1999), na NBR 13030 (peculiar à mineração), caracteriza as áreas degradadas como “ambientes com diversos graus de alterações dos fatores bióticos e abióticos, causados exclusivamente pelas atividades de mineração”.

Para Tavares (2008) numa concepção relacionada com a Engenharia Civil, o conceito de ação que degradada o solo relaciona-se com a alteração da capacidade em manter este coeso. Enquanto que para a Engenharia Agrônômica, solos adensados ou compactados é

que caracteriza um processo de degradação, por meio da redução de sua taxa de infiltração, limitação na circulação de oxigênio, impedimento físico para o crescimento das raízes, menor disponibilidade de nutrientes, entre outras características. Em contrapartida, esta característica coesa é interessante para os engenheiros ao se referir a obras de edificações, ferrovias e rodovias.

Costa et al. (2005), diferencia áreas degradadas de perturbadas. Os sistemas que sofreram elevadas proporções de distúrbios sejam eles em área, duração ou frequência, e não têm condições de retornar ao seu equilíbrio natural sem a interferência antrópica são considerados degradados. Enquanto que as áreas perturbadas caracterizam-se por terem sofridas poucas transformações e mantiveram seus meios de regeneração biótica.

Conforme o manual inscrito pelo IBAMA (1990), áreas degradadas são definidas como sendo determinados ambientes que foram destruídas a fauna e flora, a camada fértil de solo perdida, removida ou enterrada e a qualidade do regime de vazão do sistema hídrico foi modificada, tornando-se uma área inviabilizada no desenvolvimento sócio-econômico, devido à perda de suas características físicas, químicas e biológicas naturais.

A erosão é uma forma de degradação que compromete o meio físico, pela remoção da camada de solo e transporte de sedimentos que acaba por assorear corpos d'água.

2.4.1. Áreas de empréstimo de solo

Com relação aos impactos em áreas de empréstimo de solo são considerados os ambientes que sofreram e/ou sofrem a remoção total ou parcial da cobertura vegetal para a exploração do substrato mineral. Em consequência das escavações há alterações na infiltração e escoamento das águas, influenciando diretamente na umidade do ambiente e nas adjacências. Assim como é responsável pela diminuição da concentração de matéria orgânica, sendo menor a intensidade em relação a áreas vegetadas.

Além de causar erosões nos ambientes que foram explorados e abandonados pela mineração, frequentemente as áreas degradadas são transformadas em lixões ou são ocupados para fins residenciais.

Segundo o Artigo nº 225 da Constituição Brasileira é uma obrigação legal, do autor da degradação ambiental, o ônus da recuperação ou reabilitação da área impactada. A seguir o Quadro 1 apresenta uma listagem, obtida dos trabalhos de Christóforo & Nunes (1999), Pereira et al. (1999), Kesselring & Kesselring (1999) e Faria (2005); com os impactos classificados nas categorias físico, químico, na biota, e no meio antrópico em consequência da utilização de áreas para empréstimos de solo.

Quadro 1 - Impactos mais comuns em áreas de empréstimo de solo.

| Físicos | Químicos | Biota | Meio Antrópico |
|---|--|---|---|
| <ul style="list-style-type: none"> - Descaracterização do relevo - Compactação - Processos erosivos - Assoreamento do rio - Remoção da cobertura superficial do solo - Retenção de água | <ul style="list-style-type: none"> - Perda das camadas férteis do solo - Mudanças na Textura - Salinidade nas águas - Mudanças no pH | <ul style="list-style-type: none"> - Desmatamento - Remoção da cobertura superficial do solo - Alterações na flora - Alterações na fauna aquática e terrestre | <ul style="list-style-type: none"> - Impacto visual - Alterações na forma de uso dos solos - Menor produtividade dos ecossistemas - Perda de patrimônio - Presença de máquinas expõem população e operários da obra durante a execução dos serviços; |

Fonte: Adaptado de Christófaro & Nunes (1999), Pereira et al. (1999), Kesselring & Kesselring (1999) e Faria (2005).

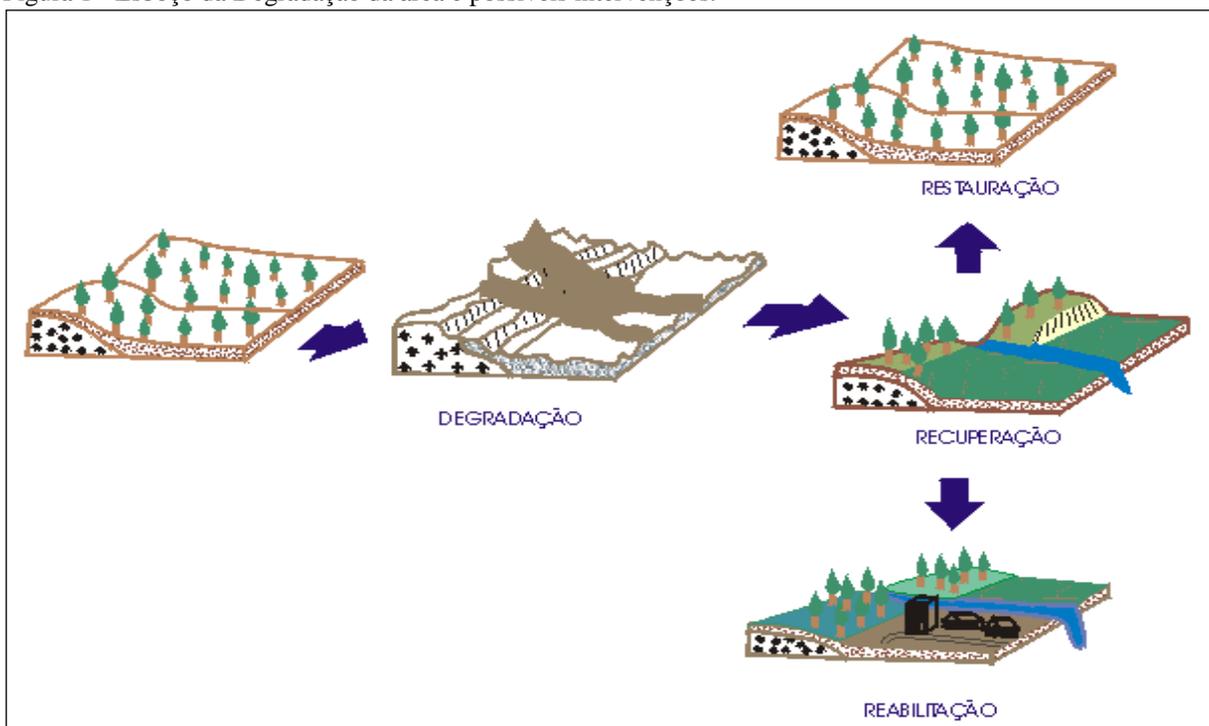
Dias & Griffith (1988 apud Costa et al. 2005) sintetiza a partir das definições do IBAMA (1990) e Majer (1989) as seguintes formas de intervenções (Figura 1) nestas áreas:

- Recuperação – significa que a área degradada irá retornar a uma forma de utilização de acordo com o plano preestabelecido para o uso do solo. E que uma condição estável deverá ser obtida em conformidade com os valores ambientais, estéticos e sociais da circunvizinhança. A área tem que obter características mínimas para se estabelecer um novo equilíbrio ao meio;

- Reabilitação – refere-se a reabilitar a área em seu estado biológico. Podendo ser para o uso produtivo da área à longo prazo, com a implantação de uma atividade que renderá lucro; ou atividades menos tangíveis em termos monetários, visando a recreação ou a valorização estético-ecológica”;

- Restauração – é tornar o ambiente ao seu estado original, antes dele sofrer com as alterações degradadoras. Praticana maioria das vezes inviável, uma vez que não se têm estudos do local sobre fauna, flora e questões sociais, que antecedem a exploração.

Figura 1 - Esboço da Degradação da área e possíveis intervenções.



Fonte: Bitar & Braga, 1995.

Segundo Corrêa e Leite (1998 apud Cruz, 2008) “a erosão é o principal problema em áreas que foram mineradas e abandonadas, pois modificam toda a dinâmica de parte ou total do ecossistema. A perda de partículas acarreta aumento da compactação e diminuição da capacidade de armazenamento de água nos solos e substratos”. Conseqüentemente diminui as possibilidades de regeneração da área impactada sem intervenção antrópica, uma vez que além da perda de solo há perda de nutrientes.

2.5. GEOPROCESSAMENTO

As geotecnologias muitas vezes mencionadas como “geoprocessamento”, representam um conjunto de tecnologias utilizadas na coleta, processamento, análise, atualização e disponibilização de informações georreferenciadas.

Dentre as geotecnologias estão os SIG, Cartografia Digital, Sensoriamento Remoto, Sistema de Posicionamento Global, Aerofotogrametria, Geodésia, Topografia Clássica, dentre outros.

De acordo com Campana & Eid (2003), geoprocessamento refere-se a disciplina do conhecimento que utiliza técnicas matemáticas e computacionais, e tecnologias, para adquirir, posicionar, e tratar dados e informações geográficas. Perfazendo essas ferramentas destacam-

se sistemas de informações geográficas, técnicas de processamento de imagens orbitais, entre outras.

O cerne dessas técnicas baseia-se em obter dados e informações a respeito de objetos (alvos) a partir de medições feitas à distância, sem entrar em contato direto com o objeto. A metodologia mais utilizada é aquela baseada na análise da energia ou radiação eletromagnética refletida (reflectância) pelos alvos. Como exemplos de alvos naturais, podem-se citar: corpos d'água, vegetação, solo exposto, entre outros.

Para Marcondes (2001), através das imagens de satélite são atualizadas as formas de utilização e organização do espaço, como também a sua ocupação, permitindo estudar e diagnosticar alguns processos que se desenvolvem em uma região.

Florenzano (2002) salienta que as imagens de satélites, ao recobrirem sucessivas vezes a superfície terrestre, possibilitam o estudo e o monitoramento de fenômenos naturais dinâmicos do meio ambiente. Constituído-se, importante sistema para a coleta de dados e tomada de decisões pela iniciativa privadas e públicas.

Para Novo (1992) as imagens de satélite são utilizadas na maior parte dos casos, para análise dos processos de apropriação e conseqüentemente modificações dos sistemas naturais, seja por meio do uso e ocupação do solo de uma referida área e sua conseqüente influência na cobertura do solo.

Os tipos de dados em geoprocessamento conforme Câmara et al. (2001) são:

- Dados temáticos: descrevem a distribuição espacial de uma grandeza geográfica expressa de forma qualitativa, como os mapas de pedologia, por exemplo;

- Dados cadastrais: cada um de seus elementos é um objeto geográfico que possui atributos (armazenados em um banco de dados) e pode estar associado a várias representações gráficas, por exemplo, os lotes de uma cidade possuem atributos (dono, localização, imposto territorial urbano – IPTU);

- Redes: denotam as informações associadas a serviços de utilidade pública (água, luz e telefone), redes de drenagem (bacias hidrográficas), e rodovias. No caso de redes, cada objeto geográfico (cabo telefônico, transformador de rede elétrica, tubulação de água) possui uma localização geográfica exata e está sempre associado a atributos descritivos presentes no banco de dados;

- Modelos numéricos de terreno (MNT): são utilizados para denotar a representação quantitativa de uma grandeza que varia continuamente no espaço. Comumente associados à altimetria, também podem ser utilizados para modelar unidades geológicas;

- Imagens: obtidas por satélites, fotografias aéreas ou "scanners" aerotransportados, as imagens representam formas de captura indireta de informação espacial. As imagens são armazenadas como matrizes, e cada elemento de imagem (denominado "pixel") têm um valor proporcional à energia eletromagnética refletida ou emitida pela área da superfície terrestre correspondente.

Segundo Cruz (2008), as principais características de uma imagem de satélite são: o número e a largura de bandas do espectro eletromagnético imageadas (resolução espectral), a menor área da superfície terrestre observada instantaneamente por cada sensor (resolução espacial), o nível de quantização registrado pelo sistema sensor (resolução radiométrica), e o intervalo entre duas passagens do satélite pelo mesmo ponto (resolução temporal).

2.6. SENSORIAMENTO REMOTO

Segundo Novo (1992) sensoriamento remoto é a utilização de sensores para a aquisição de informações sobre objetos ou fenômenos sem que haja contato direto entre eles.

Florenzano (2002) define sensoriamento remoto como a tecnologia que permite obter imagens e outros tipos de dados, da superfície terrestre, através da captação e do registro de energia refletida ou emitida pela superfície.

Para Garcia (1982) sensoriamento remoto é a detecção da natureza de um objeto sem que haja contato físico, em que aviões e satélites são as plataformas mais comuns. O termo sensoriamento remoto é restrito aos métodos que se utilizam a energia eletromagnética na detecção e medida das características de objetos, incluindo-se aqui as energias relativas a luz, calor e ondas de rádio.

Garcia (1982) tentando objetivar o uso e aplicação do sensoriamento remoto, diz que: “o objetivo do sensoriamento remoto é a coleta de informações relevantes sobre todos os fenômenos da superfície terrestre e o estudo de suas propriedades eletromagnéticas, como são registrados a partir de um avião ou satélite”.

Marcondes (1999) considera que, “nas últimas décadas, o sensoriamento remoto tem se mostrado bastante útil para a ciência geográfica, principalmente no que se refere à obtenção de informações espaciais para o monitoramento da terra, dando melhores subsídios para um melhor planejamento físico territorial do meio ambiente”.

Novo (1992) refere-se ao sensoriamento remoto como a conjugação de sensores e equipamentos para processamento de dados, sendo que um sistema sensor, que pode ser

definido como qualquer equipamento capaz de transformar alguma forma de energia em um sinal passível de ser convertido em informações sobre o ambiente.

Ainda sobre os sistemas sensores, no que diz respeito às formas de captação de informações, Novo (1992) afirma que os sistemas sensores podem ser classificados de diferentes maneiras. Quanto à fonte de energia, os sensores podem ser classificados em sensores passivos e sensores ativos:

- Os sensores passivos detectam a radiação solar refletida ou a radiação emitida pelos objetos da superfície. Os sistemas fotográficos são bom exemplo de sensores passivos;

- Os sensores ativos são aqueles que produzem sua própria radiação. Os radares são exemplos de sistema ativo, uma vez que produzem a energia radiante que irá interagir com os objetos da superfície.

Para que se tenha um produto de boa qualidade no tocante a interpretação, tendo em vista a grande variedade de situações, faz-se necessário o conhecimento de alguns conceitos básicos de interpretação. Garcia (1982) descreve sobre estes tópicos:

Tonalidade e Cor – usado para cada sombra distinta entre o branco e o preto. Nas fotografias aéreas a tonalidade de um objeto é determinada pela sua habilidade em refletir a luz incidente enquanto que, nas imagens obtidas através de sensores não tradicionais, a tonalidade é determinada por outras propriedades físicas. Quando se utilizam filmes especiais, capazes de registrar em camadas diferentes, o azul (B), o verde(G), o vermelho(R), tem-se o filme colorido, que dá uma melhor dimensão ao processo interpretativo.

Textura – criada pela repetição tonal de grupos de objetos algumas vezes muito pequenos para serem vistos individualmente. Embora com muitas limitações, a textura tem sido definida como grosseira, fina, áspera, aveludada, etc.

Padrão – característica de objetos feitos pelo homem, e de algumas ocorrências naturais. Padrões originários de efeitos naturais, como falhas, juntas, diques ou estratificações apresentam-se como linhas retas ou ligeiramente curvas. No caso dos padrões culturais, a identificação já se torna mais fácil, desde que se conheçam as suas representações nas imagens. Estradas de rodagem e de ferro apresentam-se como segmentos de reta, unidos por curvas, embora, dependendo da escala, seja difícil diferenciá-las.

Tamanho – tamanho dos objetos varia de acordo com a escala da imagem, e objetos de forma idêntica podem ser diferenciados pelo tamanho relativo.

Forma – pode-se considerar como uma expressão topográfica ou de contornos, e é tão importante que alguns objetos são identificados apenas por este elemento.

Sombra – dependendo da escala a qual esta se trabalhando, pode ser um empecilho, mas em outras vezes pode tornar-se importante para, por exemplo, calcular a altura dos objetos, através das projeções das sombras e do angulo de inclinação do sol.

Um conceito importante refere-se ao comportamento espectral de alvos, no qual segundo Teixeira (2004), não se pode considerar como sendo um comportamento espectral constante como se o comportamento espectral de um determinado alvo seguisse um padrão estático de resposta, resultado puro e simples de sua interação com a energia eletromagnética.

Assim, o mesmo autor conclui que para se conhecer a fundo o comportamento da resposta de um determinado alvo faz-se necessário um estudo detalhado da resposta deste alvo em diversas condições, além do estudo de suas propriedades bio-físico-químicas. Existem ainda curvas “padrão” ou “típica” que representam, de forma genérica, a resposta espectral da reflectância de alvos também tomados como genéricos, por exemplo “vegetação”, “solo” e “água”.

Em sensoriamento remoto existem diversas formas de se trabalhar com as informações coletadas, para que se chegue a um produto final de boa qualidade, porém em todas elas torna-se indispensável à utilização da computação, quer como meio de geração e processamento das informações, aplicação de pacotes estatísticos, trabalho artístico final, e também no trabalho de campo para reconhecimento ou checagem dos dados obtidos, realçando os atributos de maior interesse.

Marcondes (2001), relata que por meio do sensoriamento remoto podem-se obter informações mais precisas sobre a ocupação e o uso do solo; quantificar áreas antrópicas e naturais; e mostrar um pouco da realidade econômica e política agrária de uma região, avaliando as mudanças nesse espaço geográfico.

2.6.1. Satélites Sino-Brasileiros de Recursos Terrestres

Satélites Sino-Brasileiros de Recursos Terrestres (CBERS), se refere a um programa de cooperação que foi assinado em 6 de julho de 1988 entre os países China e Brasil, visando desenvolver dois satélites de observação da Terra.

O programa é a união tanto de recursos financeiros como de especialistas, advindos dos dois países para estabelecer um sistema completo de sensoriamento remoto, enquadrando-se de forma competitiva e compatível ao cenário internacional. O programa CBERS foi concebido como modelo de cooperação horizontal e intercâmbio entre países em desenvolvimento.

O lançamento do CBERS-2B ocorreu no dia 19 de setembro de 2007, a partir da base de lançamento de Taiyuan, na China, com o mesmo foguete chinês - Longa Marcha 4 -, que fez o lançamento dos CBERS-1 e 2.

O CBERS-2B foi construído para dar continuidade ao programa de imageamento do País, às aplicações espaciais, e não interromper os projetos de milhares de instituições e usuários do Programa CBERS, ainda pertence à primeira geração do CBERS e, portanto, é praticamente idêntico aos CBERS-1 e 2.

Não obstante, algumas melhorias foram introduzidas. A principal delas é quanto à carga útil, com a substituição do imageador IRMSS por uma Câmera Pancromática de Alta Resolução (HRC). Outras melhorias são um novo sistema de gravação a bordo, e um sistema avançado de posicionamento, que inclui GPS (Global Positioning System) e sensor de estrelas.

As principais características estão abordadas no quadro 2, vale salientar que uma característica singular dos CBERS é sua carga útil de múltiplos sensores, com resoluções espaciais e frequências de observação variadas.

Os dados de múltiplos sensores são especialmente interessantes para acompanhar ecossistemas que requerem alta repetitividade. Desta forma as principais características referentes aos três imageadores estão listadas no quadro 3. Na quais os que se encontram em destaques são os imageadores utilizados para a atual pesquisa e todos os imageadores a bordo são:

- 1) Imageador de Visada Larga (WFI – *Wide Field Imager*): possui visada de 900 km no solo, apresentando um campo de visão sinótica com resolução espacial de 260 m e percorre o planeta em menos de 5 dias;
- 2) Varredor Multiespectral Infravermelho (IR-MSS – *Infrared Multispectral Scanner*): com informações mais detalhadas em uma visada mais estreita, de 120 km, com resolução espacial de 80 e 160 m;
- 3) Câmara de Alta Resolução CCD (*Couple Charged Device*): câmara CCD de alta resolução (20 m), tem capacidade adicional de apontamento lateral de $\pm 32^\circ$, onde possui frequência de observações aumentada ou visão estereoscópica para uma dada região;
- 4) Câmera Pancromática de Alta Resolução HRC (*High Resolution Camera*): opera numa única faixa espectral, que cobre o visível e parte do infravermelho próximo. Está presente apenas no CBERS-2B, mas não nos CBERS-1 e 2. Produz imagens de uma faixa de 27 km de largura com uma resolução de 2,7 m, que permite a

observação com grande detalhamento dos objetos da superfície. Como sua faixa de cobertura é de 27 km, serão necessários cinco ciclos de 26 dias para que os 113 km padrão da CCD sejam cobertos pela HRC. Assim, a cada 130 dias, até o dia 15 de Janeiro (últimos sinais do satélite) se tem uma cobertura completa do país, para ser correlacionada com as obtidas pela câmera CCD.

Quadro 2 – Principais características do satélite CBERS

| | |
|---|--------------------------------|
| Massa | 1.450 kg |
| Potência gerada | 1.100 watts |
| Dimensões do painel solar | 6,3 x 2,6m |
| Baterias | 2 x 30 Ah NiCd |
| Dimensões do corpo | 2,0m x 8,3m x 3,3m (em órbita) |
| Tempo de vida de cada satélite | 2 anos (confiabilidade de 0,6) |
| Altitude média | 778 km |
| Frequência de revisita de um mesmo local | 26 dias |

Fonte: INPE, 1990.

Quadro 3 - Principais características dos três imageadores a bordo do CBERS.

| Especificações | CCD* | IR-MSS | WFI | HRC* |
|-------------------------------------|---|--|----------------------------|---------------------------------------|
| Bandas Espectrais (mm) | 0,51 - 0,73 (pan) 0,45 - 0,52 0,52 - 0,59 0,63 - 0,69 0,77 - 0,89 | 0,50 - 1,10 (pan) 1,55 - 1,75 2,08 - 2,35 10,40 - 12,50 | 0,63 - 0,69 0,76 - 0,90 | 0,50 - 0,80 μ m (pancromática) |
| Campo de Visada | 8,3° | 8,8° | 60° | 2,1° |
| Resolução Espacial (m) | 20 | 80 (pan e IV) | 260 | 2,7 x 2,7 m |
| Res. Temporal (Nadir): | 26 dias | 26 dias | 3 - 5 dias | 130 dias na operação proposta |
| Largura da Faixa Imageada | 113 km | 120 km | 890 km | 27 km |
| Capacidade de Visada Lateral | +/- 32° | - | - | - |

* *Imagens utilizadas destes sensores.*

Fonte: INPE, 1990.

2.7. SISTEMA DE INFORMAÇÃO GEOGRÁFICA (SIG)

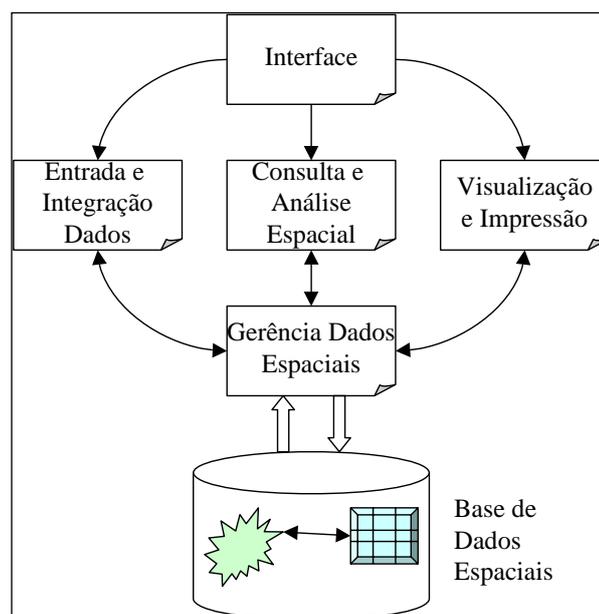
A evolução conceitual de SIG ocorreu diante da necessidade de conhecimento do espaço geográfico alicerçada ao desenvolvimento técnico-científico. Neste contexto Röhms (2003), salienta a existência de sistemas de informações geográficas automatizados ou digitais como também os sistemas manuais, sendo estes últimos os mapas convencionais impressos em papel, denominados analógicos. E nesta pesquisa o foco estará voltado ao SIG digital e no subitem subsequente uma breve revisão bibliográfica do sistema digital vinculado à pesquisa.

Conforme Câmara e Davis (2007 apud Cruz, 2008) as ferramentas computacionais para o geoprocessamento, chamadas de sistema de informação geográfica, permitem realizar análises complexas, ao integrar dados de diversas fontes e ao criar bancos de dados georreferenciados tornando ainda possível automatizar a produção de documentos cartográficos.

Marcondes (2001) salienta que os Sistemas de Informações Geográficas são capazes de sobrepor vários mapas diferentes como, por exemplo, topografia, pedologia, hidrografia e outros, denominados comumente de layers, podendo-se obter um mapa síntese do cruzamento desses layers.

Na Figura 2, está apresentada a estrutura básica de um SIG.

Figura 2 – Estrutura básica de um SIG.



Fonte: CÂMARA et al., 2000.

A partir da concepção de Câmara et al. (2000) sobre a estrutura básica de um SIG, Andrade et al. (2004) disserta sobre esta dizendo ser composta dos seguintes módulos:

- entrada e integração de dados – que permitem principalmente operações de importação de dados e inserção de novos atributos às entidades;
- consulta e análise espacial – são as ferramentas que permitem o entendimento da distribuição dos dados espaciais através de consultas, análises descritivas e inferenciais nesses dados;
- visualização e impressão – são as funcionalidades de visualização dos dados espaciais em tela ou em papel das consultas realizadas no sistema;
- gerência de dados espaciais – sistema de gerenciamento de banco de dados, geralmente georrelacional (arquitetura dual), onde tabelas armazenam os atributos dos objetos gráficos e os arquivos gráficos armazenam as representações geométricas dos objetos (pontos, linhas ou polígonos).

Assim, a utilização efetiva dos sistemas de informações geográficas exige o cumprimento de diversas fases preparatórias que incluem: a aquisição de equipamentos e programas adequados; treinamento de pessoal (ambientação com o SIG); desenvolvimento de aplicativos específicos; instalação e integração de todos componentes do sistema; a construção de um grande banco de dados; e teste de todo sistema como um todo. Estes pré-requisitos diferenciam os sistemas de informações geográficas da grande maioria dos programas disponíveis comercialmente (tais como editores de texto, planilhas eletrônicas, CADs e outros), que podem ser usados imediatamente após suas instalações.

Segundo Röhm (2003), banco de dados de um sistema de informações geográficas é composto por dois tipos básicos de dados: gráficos, também denominados de localizacionais ou espaciais, e não gráficos denominados de não localizacionais ou descritivos, que representam as características da superfície de um terreno.

Os dados localizacionais referem-se à posição das feições no espaço e os dados não localizacionais são as características, qualidades ou atributos destas feições, tais como: tipo, valor, nome, dimensões e outros. Tanto os dados gráficos como os não gráficos podem variar de forma independente um do outro, e ambos são dependentes do tempo. Assim, podem ocorrer alterações dos atributos de um dado espacial, sem que ocorra qualquer variação das características geométricas deste dado. Generalizando, podem ocorrer mudanças independentes nos dados localizacionais e nos não localizacionais, quando o tempo varia.

Dessa forma, o gerenciamento destes dois conjuntos de dados, gráficos e não gráficos, deve se dar independentemente um do outro, com a finalidade de simular as características do mundo real.

2.7.1. Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas

Segundo Spring (1996), SPRING (Sistema de Processamento de Informações Georreferenciadas) é um banco de dados geográfico de 2º geração, para ambientes UNIX e Windows com as seguintes características:

- Opera como um banco de dados geográfico sem fronteiras e suporta grande volume de dados (sem limitações de escala, projeção e fuso), mantendo a identidade dos objetos geográficos ao longo de todo banco;
- Administra tanto dados vetoriais como dados matriciais (“raster”), e realiza a integração de dados de Sensoriamento Remoto num SIG;
- Um ambiente de trabalho amigável e poderoso, através da combinação de menus e janelas com uma linguagem espacial facilmente programável pelo usuário (LEGAL - Linguagem Espaço-Geográfica baseada em Álgebra);
- Consegue escalonabilidade completa, isto é, é capaz de operar com toda sua funcionalidade em ambientes que variem desde microcomputadores a estações de trabalho RISC de alto desempenho.

Conforme Câmara e Queiroz (2001), sistemas de informação geográfica são compostos de hardware, software, bancos de dados; e pessoal envolvido na operação, manutenção e administração do próprio sistema.

O SPRING é um produto desenvolvido com tecnologia totalmente nacional, feito totalmente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais - INPE, em São José dos Campos/SP.

SIG baseado num modelo de dados orientado a objetos, do qual são derivadas sua interface de menus e a linguagem espacial LEGAL. Algoritmos inovadores, como os utilizados para indexação espacial, segmentação de imagens e geração de grades triangulares, garantem o desempenho adequado para as mais variadas aplicações.

Baseado nessas características o sistema tem se mostrado uma opção altamente atrativa na área de geoprocessamento, pois passa a ser considerado um software de domínio público, podendo ser adquirido pela internet (“<http://www.dpi.inpe.br/spring>”), bastando se cadastrar na própria “*home-page*”.

A partir do Spring (1996), muitos dos sistemas disponíveis no mercado nacional apresentam alta complexidade de uso e demandam tempo de aprendizado muito longo. Os objetivos do sistema Spring são:

- Integrar as tecnologias de Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas;
- Utilizar modelo de dados orientado a objetos, que melhor reflete a metodologia de trabalho de estudos ambientais e cadastrais;
- Fornecer ao usuário um ambiente interativo para visualizar, manipular e editar imagens e dados geográficos.

Em relação ao banco de dados, corresponde fisicamente a um diretório onde serão armazenados suas definições de Categorias e Classes, e os projetos pertencentes ao banco. Os projetos são armazenados em subdiretórios juntamente com seus arquivos de dados: pontos, linhas, imagens orbitais e aéreas, imagens temáticas, textos, grades e objetos.

Conforme Spring (1996), o software Spring está estruturado em três módulos, "Impima", "Scarta" e "Spring", com o objetivo de facilitar seu uso, dividindo as funções.

Segundo Tavares (2008), "Impima" é utilizado somente para obter uma imagem no formato GRIB, através da leitura de imagens em dispositivos como CD-ROM, CCT (Computer Compatible Tapes), "streamer" (60 ou 150 megabytes) e DAT (Digital Audio Tape, 4 ou 8 mm) adquiridas a partir dos sensores, ou imagens nos formatos TIFF, RAW e SITIM.

Ainda com pressupostos da mesma autora, no módulo "Spring", estão disponíveis as funções relacionadas à criação, manipulação de consulta ao banco de dados, funções de entrada de dados, processamento digital de imagens, modelagem numérica de terreno e análise geográfica de dados. É o módulo principal de entrada, manipulação e transformação de dados geográficos.

Enquanto que o "Scarta" apresenta funções para que um mapa gerado no módulo principal Spring possa ser apresentado na forma final como um documento cartográfico, nesse módulo é possível editar uma carta e gerar um arquivo para impressão.

Assim, a motivação básica para a utilização e o desenvolvimento do banco de dados em ambiente Spring baseia-se em três premissas: disponibilidade de um módulo de MLME incorporado ao sistema; facilidade de uso e integração de dados.

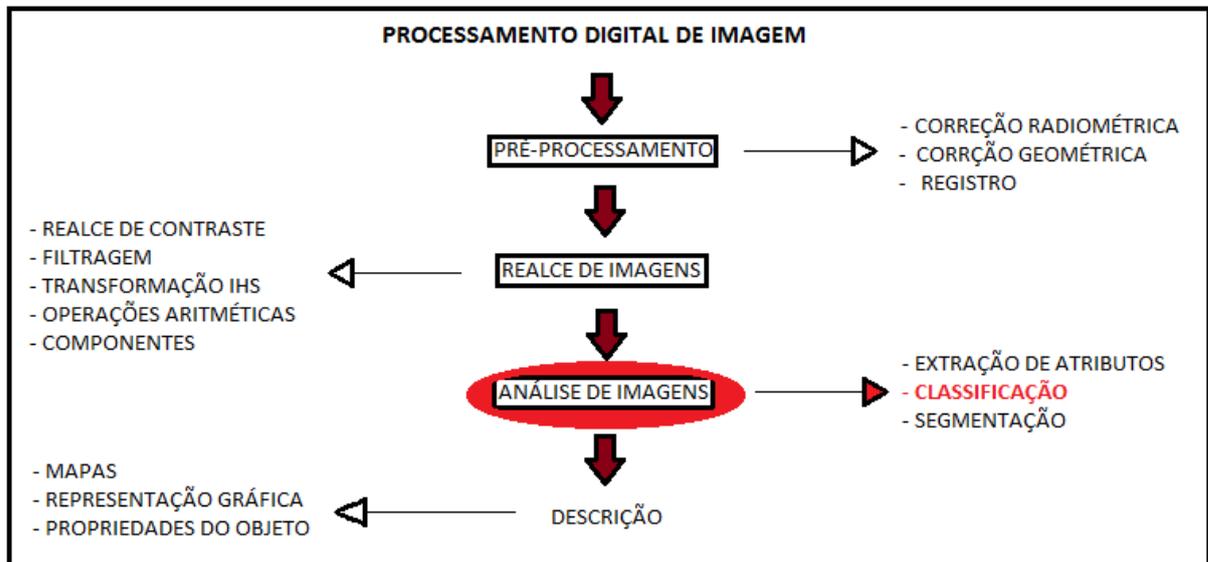
2.8. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGEM (PDI)

Por Processamento Digital de Imagens entende-se a manipulação de uma imagem por computador de modo que a entrada e a saída do processo sejam imagens. O objetivo de se usar processamento digital de imagens é melhorar o aspecto visual de certas feições estruturais para o analista humano e fornecer outros subsídios para a sua interpretação, inclusive gerando produtos que possam ser posteriormente submetidos a outros processamentos (INPE/DPI, 2003).

Segundo Pedrino (2005), o processamento e a interpretação automática de imagens captadas por satélites auxiliam os trabalhos nas áreas de geografia, sensoriamento remoto, geoprocessamento e meteorologia, entre outras.

Para Santos et al. (2010), o PDI é dividido em três etapas elucidadas na Figura 3:

Figura 3 – Etapas do processamento digital de imagens.



Fonte: Adaptado de Santos et al., 2010.

Desta forma permanecendo com as definições do mesmo autor, este sintetiza as etapas como sendo:

- **Pré-processamento de imagens:** conjunto de processamentos por que passa a imagem visando minimizar, ao máximo, suas distorções. Estas distorções podem ser classificadas em radiométrica e geométricas. As distorções radiométrica alteram os níveis de cinza de cada elemento da imagem. E as distorções geométricas alteram a distribuição espacial dos elementos de imagem, afetando escala, afinidade, orientação, entre outras.

Nesta etapa de pré-processamento um procedimento importante refere-se ao registro de Imagens, onde consiste na transformação geométrica que relaciona coordenadas da imagem (linha e coluna) com coordenadas geográficas (latitude e longitude) de um mapa. Essa transformação elimina distorções existentes na imagem, causadas no processo de formação da imagem, pelo sistema sensor e por imprecisão dos dados de posicionamento da plataforma (aeronave ou satélite).

Os passos para a realização do registro consistem em:

1. Escolher os Pontos de controle - são feições possíveis de serem identificadas de modo preciso na imagem e no mapa, como por exemplo o cruzamento de estradas;
2. Definir a equação de Mapeamento - escolher que equação matemática, normalmente de primeiro ou segundo grau, que fará a reamostragem dos pixels;
3. Definir o processo de Interpolação- Vizinho mais próximo, Bilinear ou Convolução Cúbica.

No SPRING o usuário pode adquirir os pontos de três modos; usando um mapa na mesa digitalizadora (modo Mesa), através de qualquer plano de informação já georeferenciado (modo Tela) ou informando as coordenadas diretamente via teclado (modo Teclado). Neste projeto deverá utilizar o método da tela, onde neste modo o usuário pode utilizar um Plano de Informação em um projeto ativo. Este PI pode ser uma imagem que já foi georeferenciada ou um PI temático (por exemplo, mapa de estradas ou rios) que tenha feições reconhecidas na imagem;

- **Realce de imagens:** técnica que objetiva modificar, por meio de funções matemáticas, os níveis de cinza ou os valores digitais de uma imagem, de modo a destacar certas informações espectrais melhorando a sua qualidade visual, facilitando a análise posterior pelo fotointérprete;

- **Análise de imagens:** está relacionada com a extração de informações de imagens. Inclui a segmentação e classificação de imagens. A segmentação de imagens tem por objetivo fragmentar uma região, em unidades homogêneas, considerando algumas de suas características intrínsecas, como por exemplo, o nível de cinza dos pixels, textura e contraste. Enquanto a classificação de imagens visa à categorização da cobertura da terra distinguindo as composições de diferentes materiais superficiais, sendo uma segmentação específica usando técnicas de reconhecimento de padrões.

2.8.1. Classificação de imagens digitais

As técnicas de Sensoriamento Remoto (SR) e Sistemas de Informações Geográficas (SIGs) têm sido utilizados de forma conjugada em estudos de recursos terrestres, com especial atenção para o monitoramento das atividades antrópicas e seus impactos ambientais (PINTO e LOMBARDO, 2003). Uma destas técnicas é a classificação de imagens de satélite, que tem se mostrado de fundamental importância no auxílio à tomada de decisões de processos como o acompanhamento de recursos naturais e o mapeamento do uso do solo (Machado et al, 2008).

Classificação de imagens digitais de satélites é o processo de assinalar pixels às classes. Usualmente, cada pixel é tratado como uma unidade individual composta de valores em várias bandas espectrais.

Pela comparação de um pixel a outros pixels de identidade conhecida, é possível agrupar aqueles cujas refletâncias espectrais são semelhantes em classes mais ou menos homogêneas. Estas classes formam regiões sobre um mapa ou uma imagem de forma que, após a classificação, a imagem digital seja apresentada como um mosaico de parcelas uniformes, em que cada uma é identificada por um cor ou símbolo (SANTOS et al., 2010, p. 96).

Desta forma pode-se dizer que a classificação de imagens é um procedimento computacional voltado para a extração de informações de uma superfície, com base nos valores de radiância dos alvos em diferentes comprimentos de onda, identificando-os em categorias baseadas na similaridade espectral.

Santos et al. (2010), salienta a importância na diferenciação entre classe informal de classe espectral. A primeira são categorias de interesse dos usuários, como por exemplo, diferentes tipos de uso do solo, diferentes tipos de vegetação. Resumidamente são as classes definidas pelo usuário. Enquanto que as espectrais são grupos de pixels uniformemente por meio de valores de brilhos em suas diversas bandas espectrais e, estas são identificadas e nomeadas pelo analista.

Segundo Crósta (1992) a classificação automática de imagens multiespectrais de sensoriamento remoto diz respeito a associar cada pixel da imagem a um “rótulo”,

descrevendo um objeto real ou classes informacionais (vegetação, solo, etc). A classificação pode ser dividida em supervisionada e não supervisionada.

O quadro 4 apresenta um breve resumo sobre os tipos de classificação e seus principais métodos.

Quadro 4 – Algoritmos de classificação mais comuns

| CLASSIFICAÇÃO | TIPO | ALGORITMO |
|--------------------|---------------|------------------------|
| Supervisionada | Pixel a pixel | paralelepípedo |
| | | distância mínima |
| | | máxima verossimilhança |
| Não-supervisionada | Por região | Bhattacharya |
| | | Mahalanobis (Isoseg) |

Fonte: Crósta, 1992.

2.8.1.1. Classificação supervisionada

Na classificação supervisionada são utilizadas informações independentes para definir as categorias ou classes temáticas. Essas informações podem ser representadas por “assinaturas” espectrais dos alvos, bem como amostras de pixels obtidas em áreas conhecidas na cena, comumente chamadas de “áreas de treinamento”.

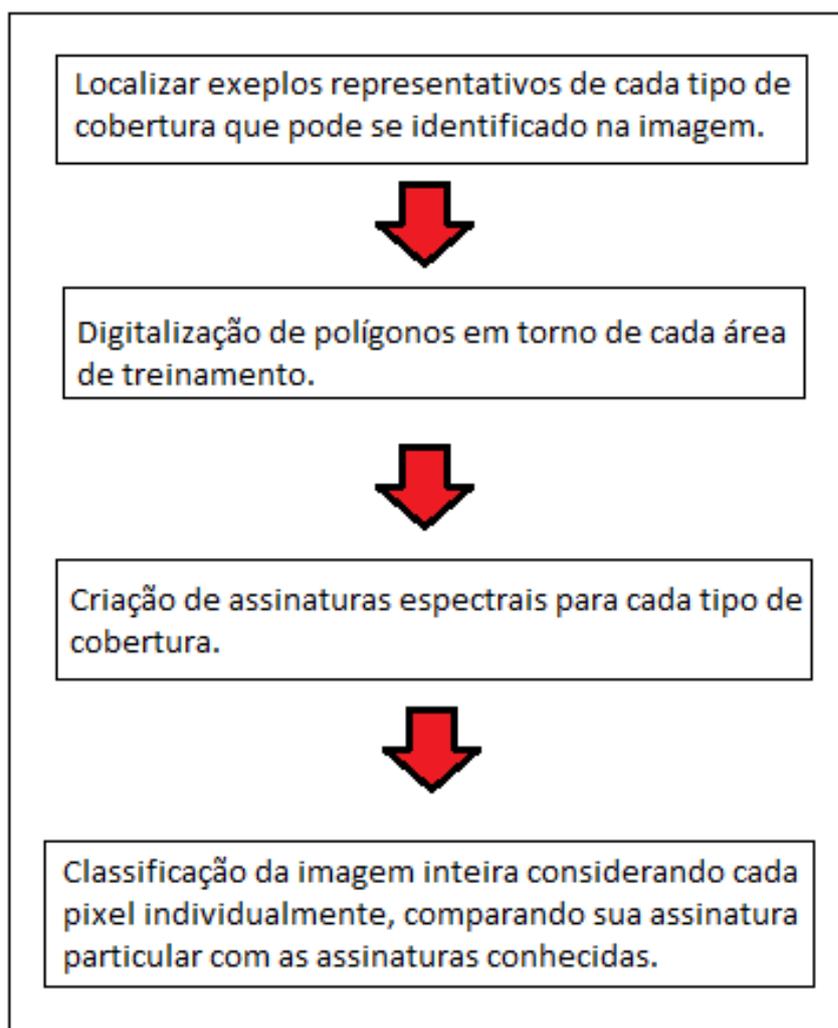
Segundo Santos et al. (2010) neste tipo de classificação a identidade e a localização de algumas feições, tais como agricultura, floresta e urbanização, são conhecidas, inicialmente, por meio da combinação de trabalhos de campo, análises de fotografias aéreas convencionais ou digitais, mapas e experiência profissional, nos quais o analista tenta localizar as áreas específicas que representam exemplos homogêneos destas feições ambientais. Essas áreas são consideradas as áreas de treinamento porque as suas características espectrais conhecidas são usadas para treinar o algoritmo de classificação para o mapeamento das feições presentes no restante da imagem.

Desta forma, cada pixel dentro e fora das áreas de treinamento é avaliado e assinalado à classe à qual ele tem maior probabilidade de pertencer. Assim o autor ainda diz que é necessário fazer uma ressalva que as áreas de treinamento têm que possuir a maior homogeneidade possível, não incluindo limites de transição entre as feições analisadas.

A figura 4 apresenta todas as etapas necessárias para realização de classificação supervisionada, enquanto as figuras 5 e 6 mostram respectivamente, apenas um exemplo de treinamento de pixels e exemplo de classificação supervisionada.

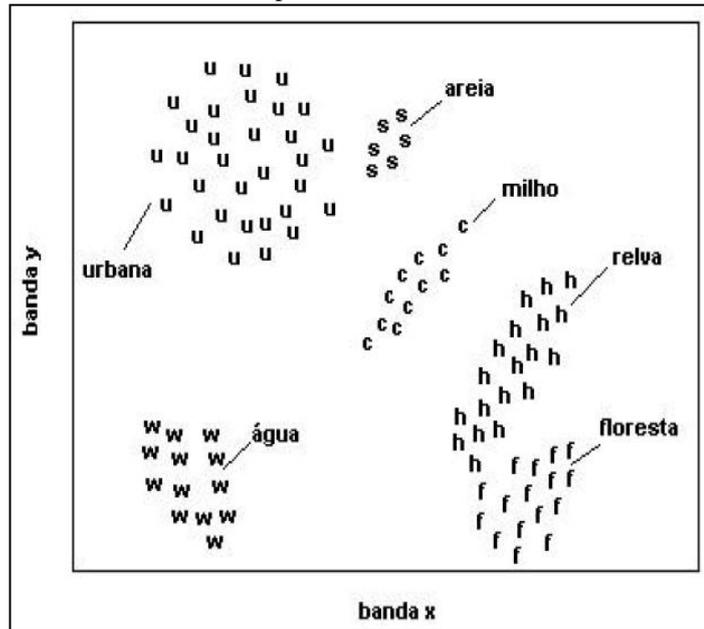
Dentre os tipos de classificação supervisionada existentes, será realizada uma breve revisão bibliográfica a respeito do método Máxima Verossimilhança, uma vez que foi o classificador escolhido por tratar-se de procedimentos e manuseio fáceis, além de amplas referências bibliográficas de utilização e indicação deste método por sua facilidade.

Figura 4 – Etapas de classificação supervisionada.



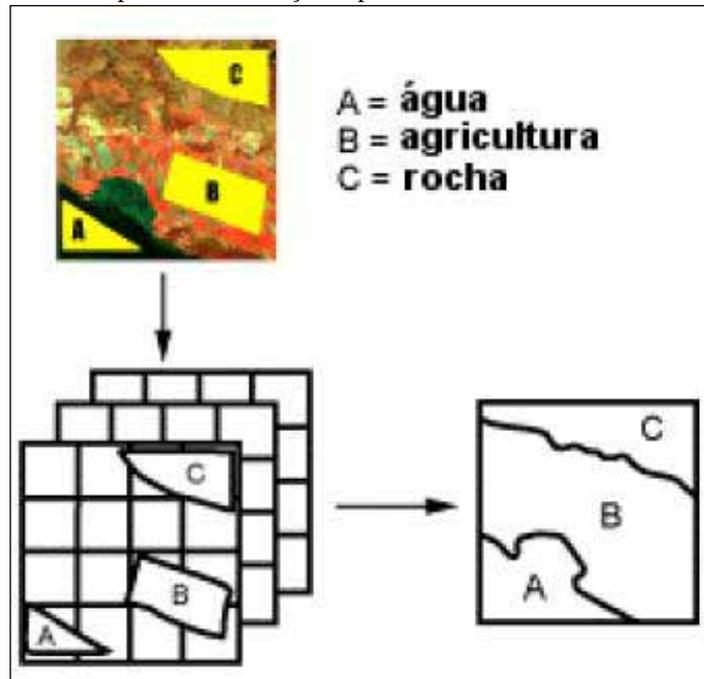
Fonte: Adaptado de Santos et al., 2010.

Figura 5 – Pixels selecionados por meio de treinamento.



Fonte: Pedrino, 2005.

Figura 6 - Exemplo de classificação supervisionada.



Fonte: Adaptado de CCRS,2003.

2.8.1.1.1. Máxima Verossimilhança

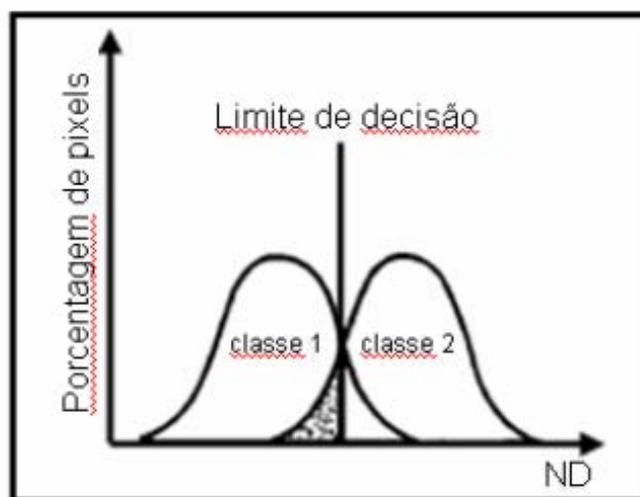
Para Pedrino (2005), é o método mais comum que considera a ponderação das distâncias das médias e utiliza parâmetros estatísticos. Para representar os pixels graficamente, utilizam-se isolinhas ou curvas de contorno no espaço de atributos, representando a densidade do conjunto de treinamento para cada região. Esses contornos

representam um ajuste baseado em distribuições normais ou gaussianas dos pixels das áreas de treinamento, caso contrário, os contornos seriam totalmente irregulares, o que não seria desejável devido à dificuldade de se computá-los.

O mesmo autor ressalta-se que, devido a esse ajuste, os contornos são simétricos ao redor da média e sua forma será circular se os desvios-padrão nas duas bandas forem os mesmos, ou elíptica se os desvios-padrão forem diferentes. Estendendo-se esses conceitos para mais dimensões, os contornos se tornarão elipsoides de três ou mais dimensões. Os contornos ao redor de cada classe podem ser entendidos como a probabilidade de existir um pixel naquele conjunto de treinamento com uma determinada combinação de Números Digitais (NDs).

Os limites de classificação são definidos a partir de pontos de mesma probabilidade de classificação de uma e de outra classe. A Figura 7 apresenta o limite de decisão de uma classificação, no ponto onde as duas distribuições se cruzam. Desta forma, um pixel localizado na região sombreada, apesar de pertencer à classe 2, será classificado como classe 1, pelo limite de decisão estabelecido (Santos et al., 2010).

Figura 7 – Limite de Decisão

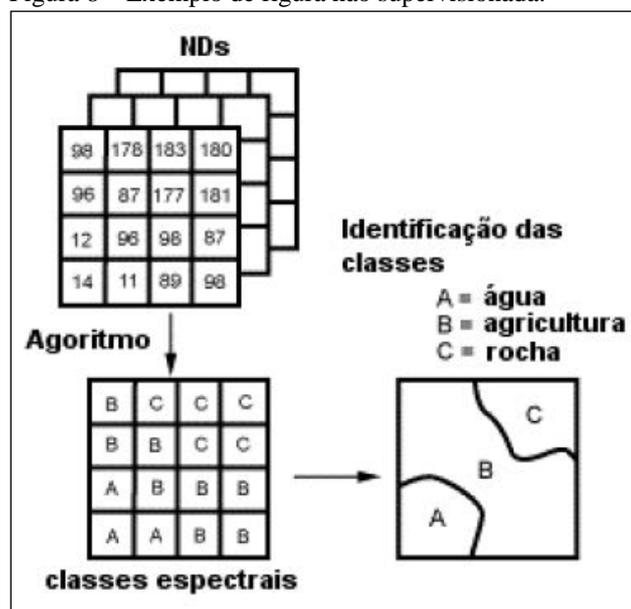


Fonte: Santos et al., 2010.

2.8.1.2. Classificação não supervisionada

Nesta classificação, apenas as propriedades estatísticas da imagem são consideradas para a classificação dos pixels. Tais classes são, portanto, definidas automaticamente, embora haja certa interação com o analista, o qual pode indicar quais concentrações de pixels (clusters) devem ser tratadas como grupos distintos. A figura 8 apresenta um exemplo de classificação não supervisionada.

Figura 8 – Exemplo de figura não supervisionada.



Fonte: Pedrino, 2005.

Pode-se dizer que esta classificação em termos computacionais, é a forma mais rápida de classificação, utilizada principalmente quando há uma ausência de informações independentes (ex. áreas de treinamento), ou quando a não subjetividade/padronização são fatores primordiais na análise.

2.8.1.3. Modelo Linear de Mistura Espectral (MLME)

O MLME, utilizado nesse projeto, fundamenta-se no pressuposto de que a resposta de um pixel é uma combinação linear da resposta de cada alvo que ocorre em seu interior (Shimabukuro e Smith, 1991).

“O MLME parte do princípio de que o espectro de um pixel misturado pode ser “desmisturado”, desde que se conheça a resposta de cada um dos componentes puros que o compõem” (SILVA, 2005, p. 8).

Desta forma o cerne deste método é conhecer e representar a proporção dos diferentes componentes presentes em um pixel, a partir da decomposição do pixel em seus espectros puros, conhecidos por *endmembers*, ou de classes membros de referência.

Conforme expõe Kumazawa (2003) espectros puros ou componentes puros são usados em geral com a finalidade de definir a refletância espectral de materiais bem caracterizados da superfície da terra, pois estes se misturam para produzir um espectro equivalente aos pixels

de interesse na imagem. Como os valores de reflectância dos componentes puros são influenciados por processos que dispersam a energia refletida da superfície dos materiais, ou outros fatores como a geometria da iluminação, o valor apresentado aqui como valor de um componente puro refere-se a sua resposta espectral captada pelo satélite incluindo todos os possíveis ruídos que possam ter afetado a captação da imagem sem que isso afete os resultados obtidos, pois se supõe que o erro que afeta a imagem seja normal por toda ela.

Para Shimabukuro et. al. (1998), uma relação linear simula a mistura espectral dos componentes contidos em um único pixel. Deste modo, cada pixel possui as informações sobre a proporção e a resposta espectral de cada componente.

Alguns autores referem-se ao MLME como um modelo que não se enquadra nos métodos de classificação de imagens, sendo justamente neste aspecto que ele se difere dos demais métodos convencionais de classificação. Isso é justificado a partir do propósito que este não objetiva a obtenção de classes temáticas, onde os pixels são orientados de acordo com uma probabilidade de ocorrência, mas sim extrair as proporções dos materiais contidos em cada elemento da cena, também em função do comportamento espectral do alvo.

Desta forma, o tipo de resultado que se obtém é algo semelhante a uma “classificação suave”, onde para cada componente analisado, onde áreas claras ou mais escuras na imagem indicam, respectivamente, uma maior ou menor proporção do alvo.

Este modelo faz referência no nível desubpixel, possibilitando estabelecer não mais em função de limites rígidos (fronteiras entre alvos distintos), mas sim considerando a proporção física do alvo ao longo de toda a área analisada.

Este modelo fundamenta-se no pressuposto de que um espectro misturado (diferentes alvos no campo de visão do sensor), numa imagem qualquer pode ser modelado através de uma combinação linear de espectros puros, conhecidos por *endmembers* (Roberts et al., 1998).

Nestas condições, para qualquer imagem, e sendo as respostas espectrais dos componentes conhecidas, as proporções destes podem ser estimadas, de forma individual, por meio da geração de Imagens Fração (Shimabukuro e Smith, 1991; Schowengerdt, 1997; Shimabukuro et al., 1998; Shimazaki e Tateishi, 2001).

Com isso os *endmembers* referem-se ao conjunto de espectros “puros” que serão utilizados em um modelo de mistura e que, quando combinados por regra apropriada, são capazes de reproduzir os demais espectros encontrados na imagem (Adams et al., 1995).

Segundo Detchmendy e Pace (1972) apud Aguiar et al. (1999), o modelo linear foi desenvolvido com este propósito de compreender as variações encontradas nas assinaturas

espectrais de diversos materiais, o que de certa forma pode ser interpretado como uma função de proporção dos *endmembers* contidos em cada pixel da cena

Entretanto, além de destacar um alvo de forma contínua, através da geração de Imagens Fração (IF), os valores de proporção obtidos com o modelo de mistura indicam uma relação física com a área, ao invés de apenas uma escala de valores digitais (0 - 255) (Holben e Shimabukuro, 1993; Shimabukuro e Smith, 1995; Zhu e Tateishi, 2001).

No SPRING a aplicação do modelo de mistura implica na geração de dois tipos de imagens: imagens-fração, uma relativa a cada componente puro, de modo que cada pixel destas imagens-fração recebe valores entre 0 e 255, correspondendo a proporção daquele componente puro no pixel da imagem original; e imagens erro, uma correspondente a cada banda da imagem original, de forma que o erro ($e_{i,j,k}$) de cada pixel também é representado por valores entre 0 e 255. Assim caso a imagem que tenha sido implementada para geração do modelo de mistura tenha 8 bandas e os componentes a serem estimados sejam solo, sombra e vegetação, o resultado do modelo será expresso em 3 imagens-fração e 8 imagens erro (Teixeira, 2005).

Para o mesmo autor, a aplicação do modelo de mistura espectral, além da utilização de uma imagem original, é necessária que se indique a curva de reflectância dos componentes puros. Isso pode ser feito através da digitação dos valores espectrais relativos a cada banda; através de uma biblioteca espectral; ou pela escolha de pixels puros na própria imagem.

A imagem erro ou imagem RMSE (Root Mean Square Error), obtida do processamento com o MLME, tem como função principal indicar a qualidade dos *endmembers* utilizados no modelo. Vale destacar que nesta pesquisa não foram analisadas este tipo de imagens.

A análise desta imagem se dá de forma inversa às Imagens Fração (IF). Pixels escuros indicam baixo valor de RMSE (erro), ou seja, pixels modelados corretamente, enquanto que pixels brilhantes demonstram um valor mais alto de RMSE, provavelmente causado pelo uso de *endmembers* inapropriados ao modelo de mistura. Normalmente, as áreas realçadas nas Imagens Fração ficam escuras na imagem erro e vice-versa. Outros fatores contribuem para que os valores de erro sejam mais elevados, tal como na ausência de um importante *endmember* para modelar o pixel, na medida em que a proporção de um determinado material não tenha sido reconhecida pelos *endmembers* inseridos numa primeira tentativa.

Os modelos lineares de mistura implementados no software (Câmara Neto et al., 1996) baseiam se no critério dos Mínimos Quadrados, cujo objetivo é estimar as proporções minimizando a soma dos quadrados dos erros.

2.8.1.4. Aplicações Gerais do MLME

Os estudos referentes à mistura espectral e conseqüentemente pixels puros, relacionados às imagens multiespectrais datam desde o início da década de 1970 (Horowitz et al., 1971 apud Adams et al., 1995).

A partir de Schweik e Green (1999) o modelo linear se propagou para o campo da Astronomia e Geologia, visando o aprimoramento de identificação e mapeamentos de depósitos minerais e recursos hídricos possivelmente presentes na superfície de outros corpos do sistema solar.

Segundo Zhu e Tateishi (2001), a necessidade de mapeamentos mais precisos a respeito dos recursos naturais terrestres, sobretudo da vegetação, fez com que os modelos lineares passassem a ser utilizados com uma maior frequência, suprimindo ou completando outros métodos de processamento de imagens.

Áreas como da mineração (tanto tratando de aspectos pós atividades, referentes a áreas degradadas como mineralógicas), mapeamento da vegetação, uso e ocupação do solo, mudanças climáticas vêm aplicando com sucesso o MLME (Bryant, 1996; Asner e Lobell, 2000; Rogan et al., 2002; Rocha et al., 2007; Barros et al., 2007).

O uso desses modelos tem se estendido também, com resultados bastante satisfatórios, para o monitoramento de biomas brasileiros. Como é o caso de queimadas e desmatamentos na Amazônia, estudados por Cochrane (1999), e Souza e Barreto (2000).

O INPE tem um projeto relacionado com esta área, nomeado PRODES Digital (Projeto de Estimativa do Desflorestamento Bruto da Amazônia), o qual vem empregando o MLME em imagens *Landsat* para o mapeamento de áreas desflorestadas nesta região (Shimabukuro et al., 1997 e 2000).

Com o acelerado desmatamento no Cerrado, o MLME tem sido considerado como uma ferramenta eficaz na detecção de alterações na vegetação (Holben e Shimabukuro, 1993; Ferreira et al., 2002; Ferreira et al., 2003b; e Miura et al., 2003).

O Pantanal Mato-grossense (Shimabukuro et al., 1998) possui diversos trabalhos onde foram empregado o modelo visando a distinção entre os componentes solo exposto, vegetação e sombra, levando em consideração que trata-se de um bioma com áreas desérticas ou semidesérticas (Drake et al., 1999; Okin et al., 1998).

O modelo linear de mistura espectral tem sido amplamente empregado devido às necessidades de precisão das análises referentes tanto na quantificação, como na localização

dos recursos naturais, além de ser muito utilizado visando à eficácia de todo o ordenamento do território (Linn et al., 2009; Kawakubo, 2009; Adami et al. s/d).

Assim o modelo é empregado tanto no setor rural como no urbano. No setor agrícola, o MLME vem sendo utilizado para distinguir com maior precisão as áreas de culturas (ex. algodão) daquelas ocupadas por solo e sombra. Obtém-se, assim, uma estimativa mais confiável da área de plantio e de sua respectiva produtividade (Maas, 2000).

E uma das várias formas de utilização do modelo linear de mistura no setor urbano foi empregada por Barros et al., (2007) visando analisar a expansão urbana do município de Betim.

CAPÍTULO 3

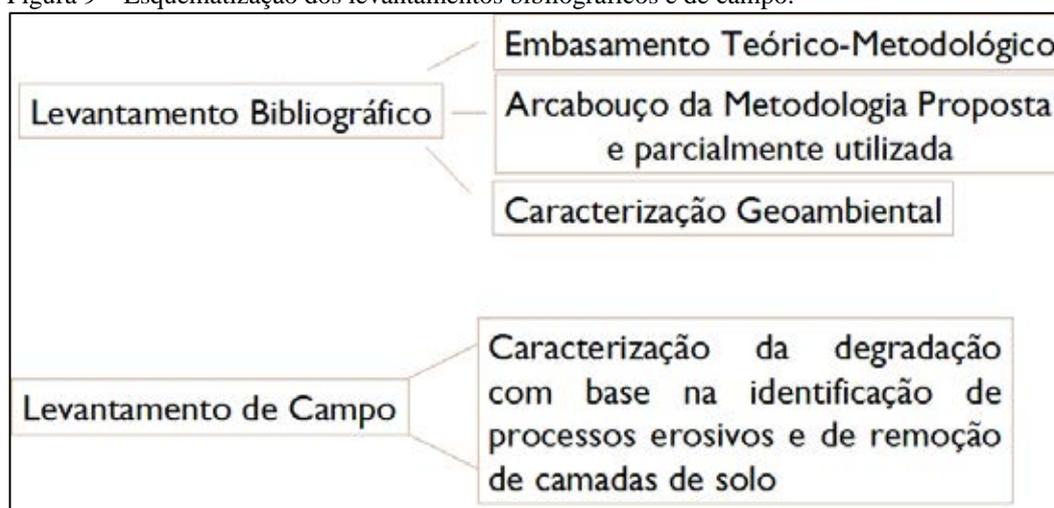
PROCEDIMENTOS METODOLÓGICOS

No desenvolvimento da pesquisa foram executadas as etapas englobando levantamentos de dados bibliográficos e de campo; ambientação e treinamento com SIG; fusão de imagens HRC com CCD do CBERS 2B e; Processamento Digital das Imagens.

3.1. LEVANTAMENTOS BIBLIOGRÁFICOS E DE CAMPO

Síntese destes levantamentos está elucidada a seguir na Figura 9:

Figura 9 – Esquematização dos levantamentos bibliográficos e de campo.



Fonte: Elaboração da própria autora.

O levantamento bibliográfico é a etapa base de qualquer pesquisa, além de compreender todo o período dos estudos, envolvendo levantamentos concomitantes com outras atividades.

Essa fase compreendeu a busca de informações que permitiram todo o embasamento teórico-metodológico, como todo arcabouço da metodologia.

Parte desta etapa incluiu a caracterização geoambiental da área de estudo por meio do município de Selvíria, baseado no Atlas Multirreferencial do Estado do Mato Grosso do Sul, datado de 1990, incluindo a elaboração dos mapas de Geologia; Solos e Cobertura Vegetal, na escala de 1:100.000.

Enquanto que a caracterização da degradação da área de empréstimo foi realizada nos levantamentos de campo com base na identificação de processos erosivos e de remoção de camadas de solo, ilustrados por meio de levantamentos fotográficos.

3.2. AMBIENTAÇÃO E TREINAMENTO COM SIG

Fez-se necessário um período de ambientação com o SIGSPRING, além de intenso aprofundamento dos conhecimentos inter-relacionados com a pesquisa.

O aprofundamento dos conhecimentos considerou os seguintes tópicos: conceitos em Geoprocessamento; arquitetura de sistemas de informações geográficas; modelagem de dados em sistemas de informações geográficas; processamento digital de imagens; Fusão de imagens HRC com CCD do CBERS 2B; MV; MLME; aplicações ambientais em sistemas de informações geográficas.

A escolha do SIG recaiu sobre o *Spring* por algumas razões fundamentais:

- (1) as aplicações disponíveis no sistema atendem às necessidades do projeto;
- (2) trata-se de aplicativo de distribuição gratuita, não havendo necessidade de compra de licença;
- (3) o *Spring* foi desenvolvido em território nacional o que facilita o suporte técnico e o acesso a informações acerca do sistema.

As imagens CBERS-2B utilizadas foram as bandas 2, 3 e 4 do sensor CCD (20m) e a imagem pancromática do sensor HRC (2,5m), com órbitas 160 e ponto 123, datadas de 30 de Abril de 2009.

3.3. FUSÃO DE IMAGEM HRC COM IMAGENS CCD DO SATÉLITE CBERS 2B

Os procedimentos para a realização da fusão foram baseados na descrição da publicação do método por Namikawa, membro do DPI do INPE. O objetivo da fusão é colorir a imagem pancromática do sensor HRC com as cores de uma composição colorida de imagens do sensor CCD. As bandas CCD têm resolução espacial de 20 metros enquanto a imagem HRC tem resolução de 2.5 metros. O resultado da fusão (Figura 10) é obter imagens CCD com resolução espacial de 2.5 metros, ao invés da resolução original.

Figura 10 – Esquemática do processo de Fusão.



Fonte: Elaboração da própria autora.

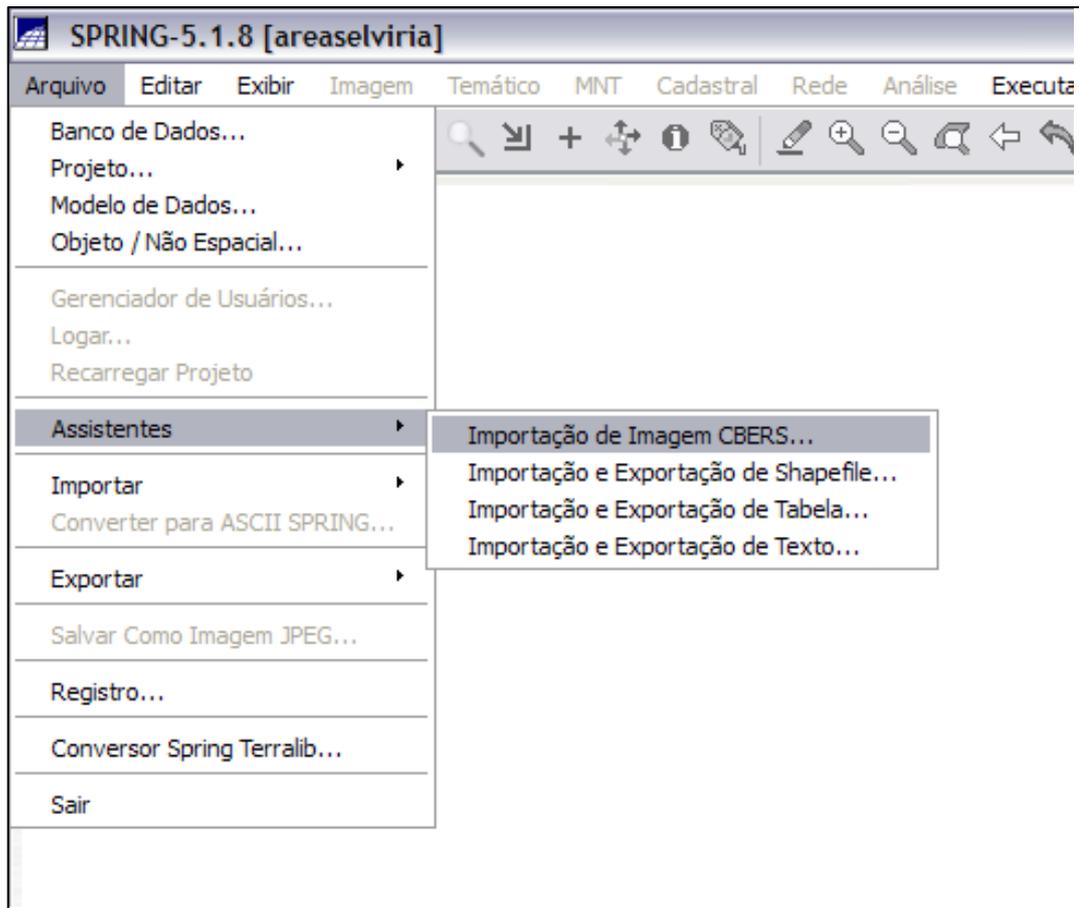
Tanto o software SPRING, como as imagens do CBERS-2B podem ser obtidos gratuitamente do site e catálogo de imagens do INPE, respectivamente.

O método descrito usou a técnica de transformação do espaço de cores RGB para o IHS e de IHS para RGB. Na transformação RGB para IHS, as cores são obtidas de uma composição colorida de bandas CCD, e na execução da transformação inversa IHS para RGB, a componente I (intensidade) é substituída pela imagem HRC.

1º) Importar Imagens CBERS-2B

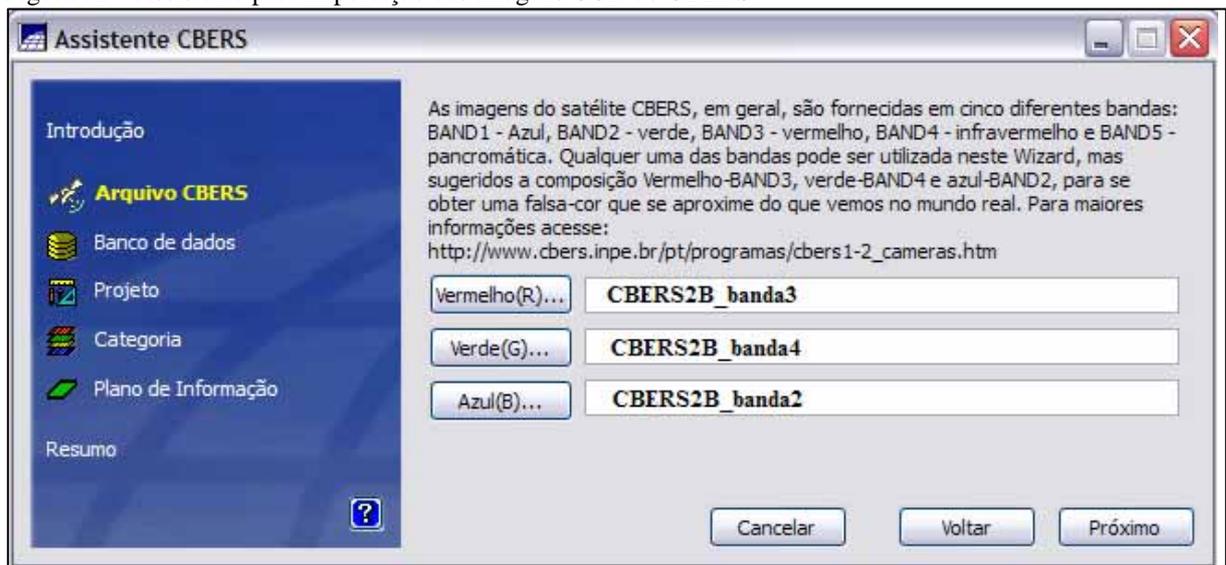
A importação das imagens no SPRING tem o assistente disponível através do Menu Arquivo - Abrir Imagem CBERS (Figura 11). Indicou-se a localização (lugar em que se encontra salvo o arquivo) de cada banda em sua respectiva cor, e prosseguir (Figura 12). Já deverá existir um Banco de dados para posteriormente indicá-lo, o mesmo ocorre com o Projeto e Categoria, mas estes dois, mesmo que ainda não tenham sido criados, há possibilidade de criá-los nesta etapa.

Figura 11 – Importação das imagens CCD.



Fonte: Elaboração da própria autora.

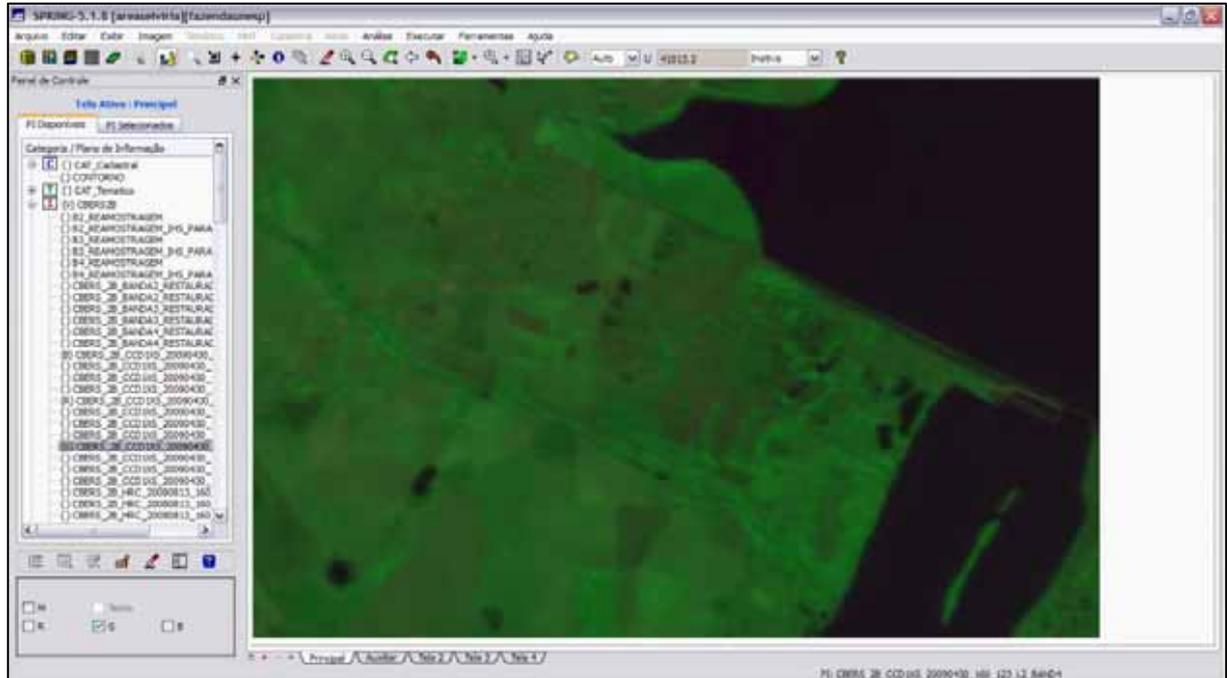
Figura 12 – Assistente para importação das imagens CCD do CBERS.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Neste estudo a composição utilizada foi R3G4B2 (Figura 13), com o banco de dados nomeado de Area_Selviria, Projeto Fazenda_UNESP com projeção UTM/SAD 69 e Categorias para importação das imagens de CBERS_CCD e CBERS_HRC.

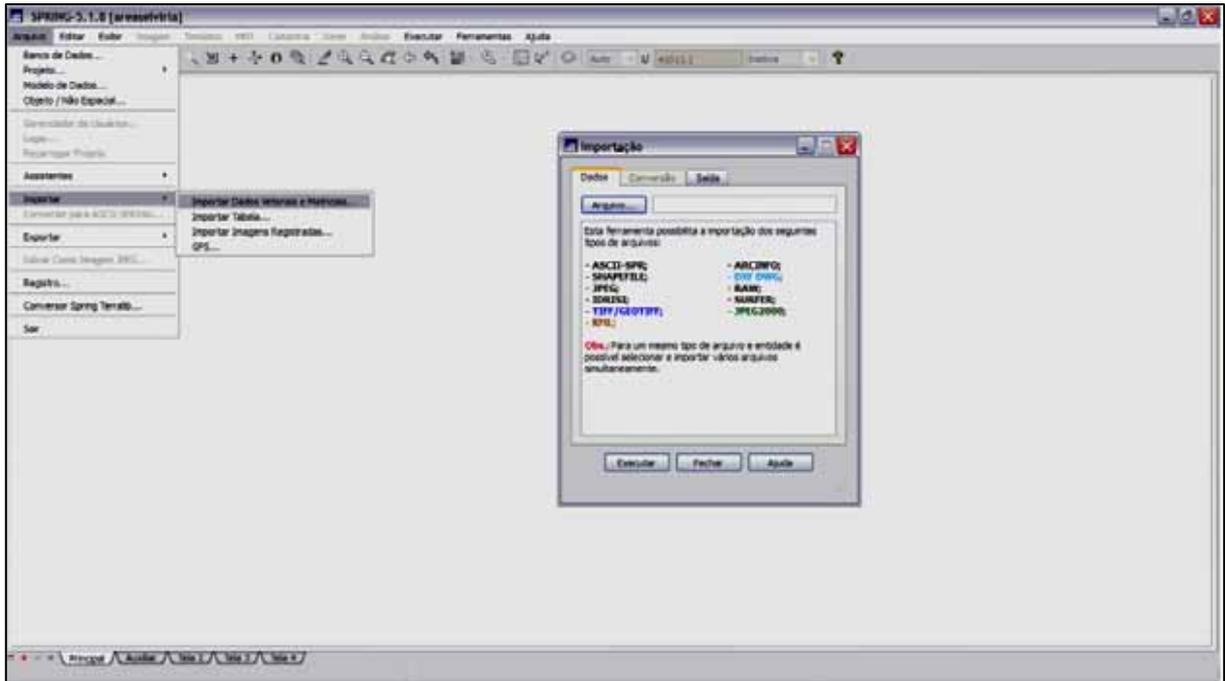
Figura 13 – Composição R3G4B2.



Fonte: Elaboração da própria autora.

O procedimento de importação da HRC foi usando a ferramenta disponível no SPRING através do Menu Arquivo - Importar TIFF/GeoTIFF (Figura 14).

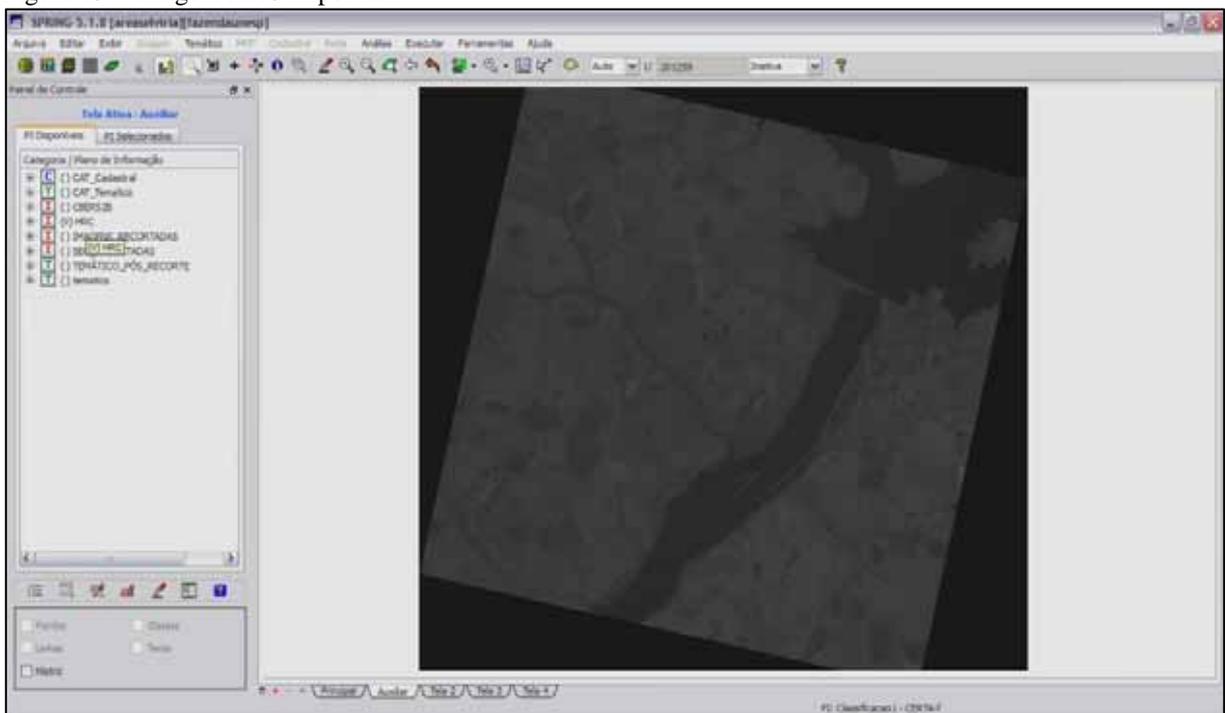
Figura 14 – Procedimento de Importação da imagem HRC.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Seleciona a localização do arquivo que contém a banda pancromática, escolhe a projeção utilizada e o retângulo envolvente. Seleciona uma Categoria (criar uma em Modelo de Dados se não existir) e Plano de Informação (PI), executar (Figura 15);

Figura 15 – Imagem HRC importada.

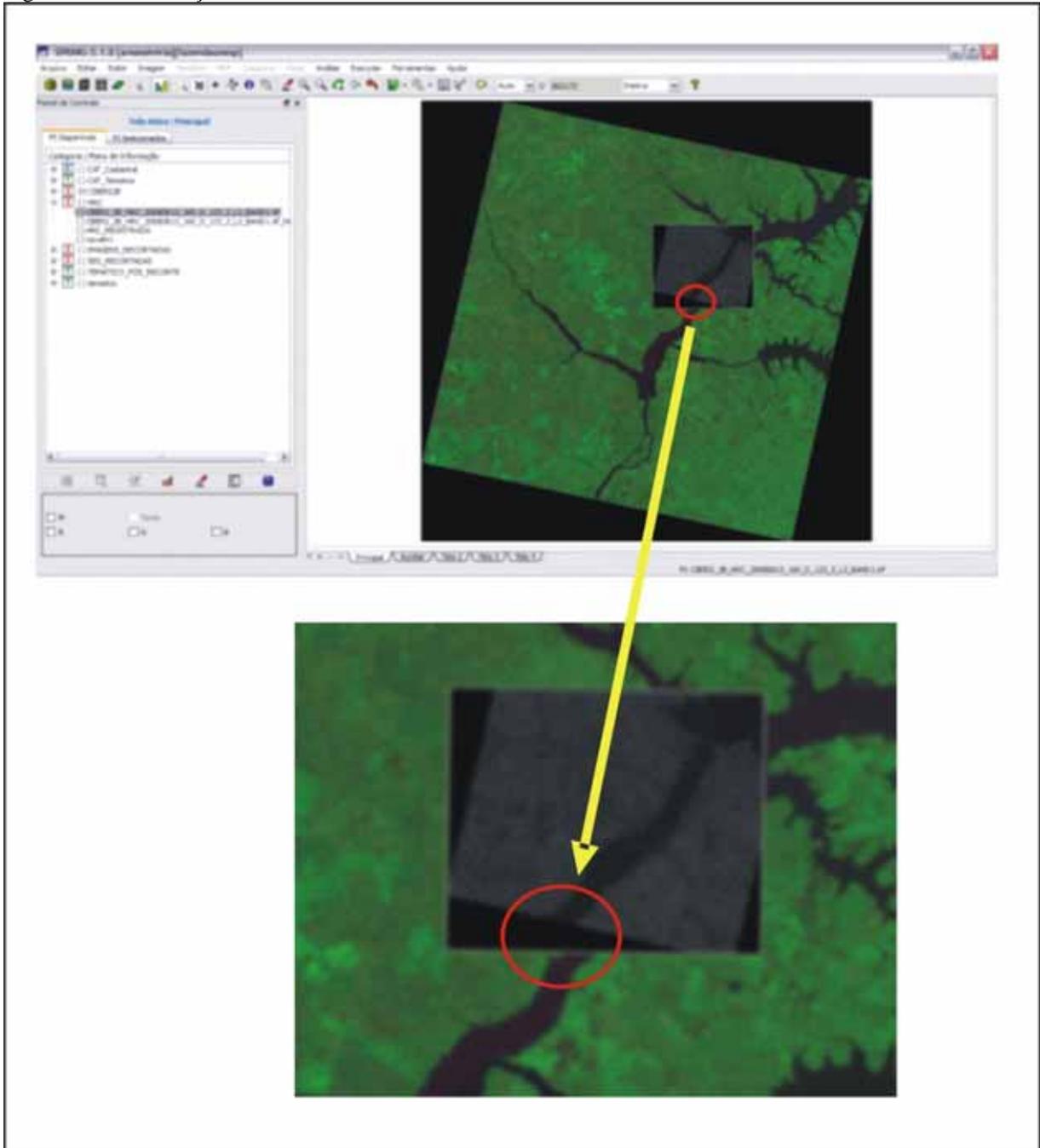


Fonte: Elaboração da própria autora.

2º) Registrar a imagem HRC com as CCD

A imagem HRC não coincide com a CCD (Figura 16). Assim o registro de imagens é a operação que produz uma nova imagem que coincide com outra existente, ou seja, neste estudo uma imagem pancromática do sensor HRC é registrada com imagens do sensor CCD.

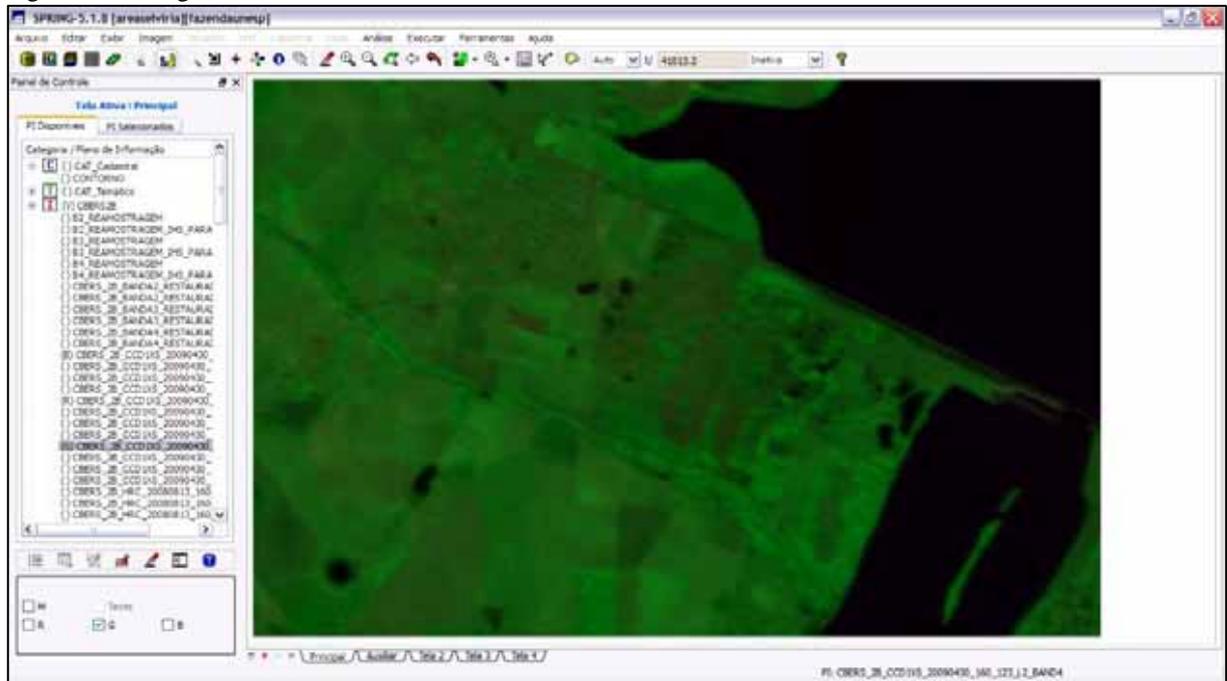
Figura 16 – Localização da HRC não coincide com a CCD.



Fonte: Elaboração da própria autora.

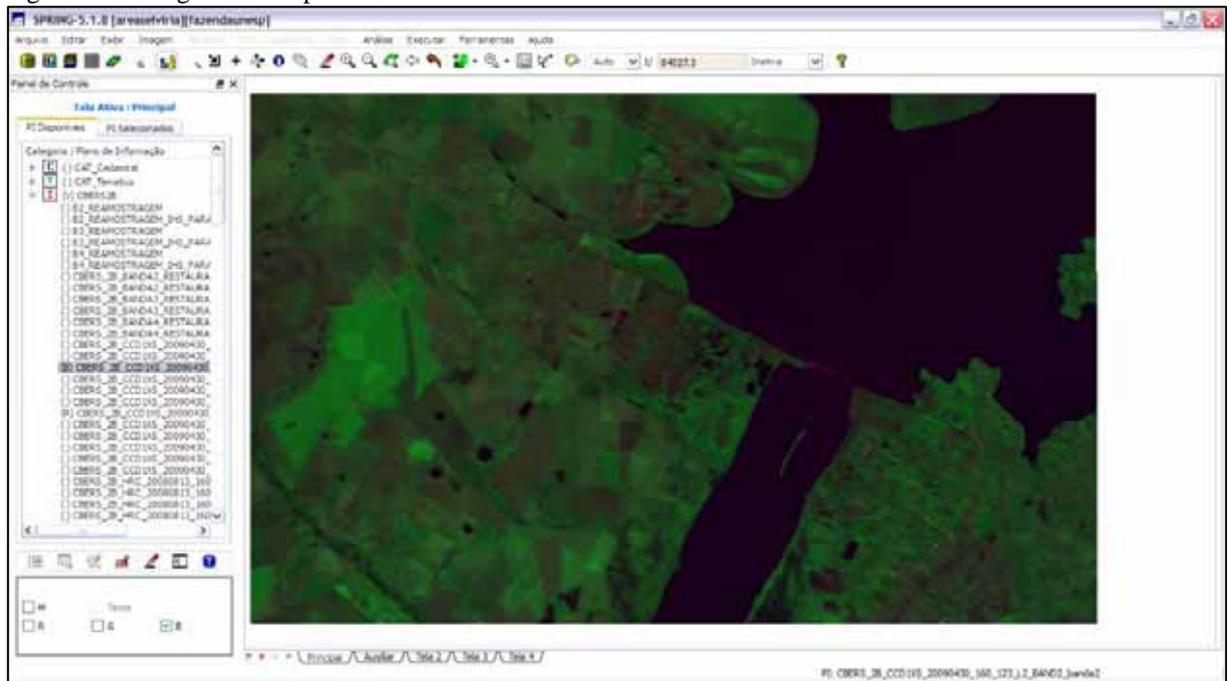
Para melhorar a visualização das imagens CCD (Figura 17), utilizou-se o recurso de Realce da imagem através do Menu Imagem – Contraste (Figura 18).

Figura 17 – Imagem CCD antes do Realce.



Fonte: Elaboração da própria autora.

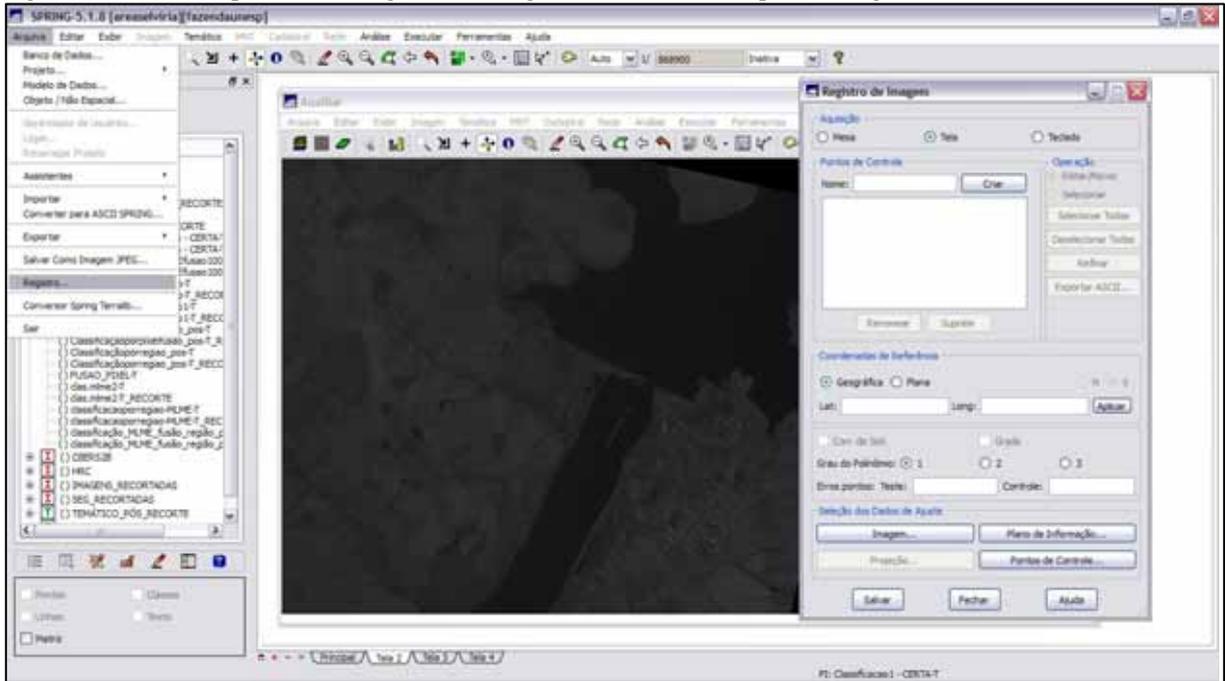
Figura 18 – Imagem CCD após o Contraste.



Fonte: Elaboração da própria autora.

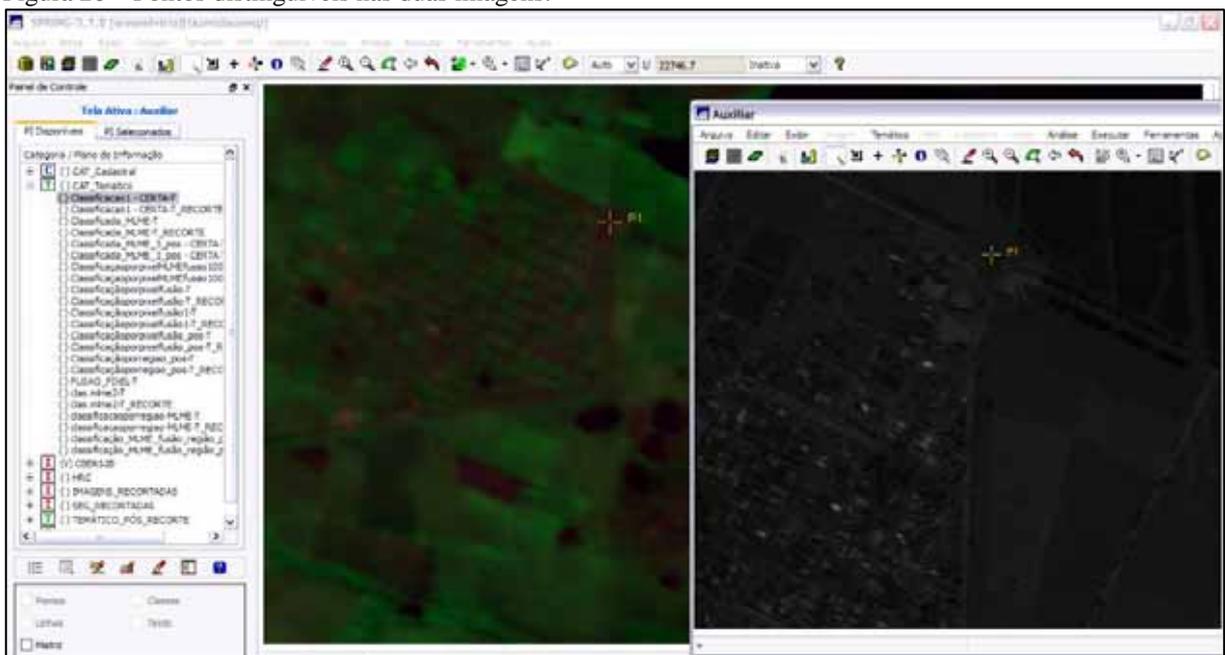
Iniciou-se a ferramenta de Registro por meio do Menu Arquivo – Registro (Figura 19). Selecionando o Plano de Informação. A imagem HRC é automaticamente desenhada na Tela Auxiliar. Caso não seja, basta clicar no ícone de desenhar. Próximo passo foi coletar os Pontos de Controle que são feições distinguíveis na imagem HRC e na imagem CCD (Figura 20), para calcular a função que mapeia os pixels de uma imagem para a outra.

Figura 19 - Início do processo de registro da imagem HRC - Menu Arquivo – Registro.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 20 – Pontos distinguíveis nas duas imagens.



Fonte: Elaboração da própria autora.

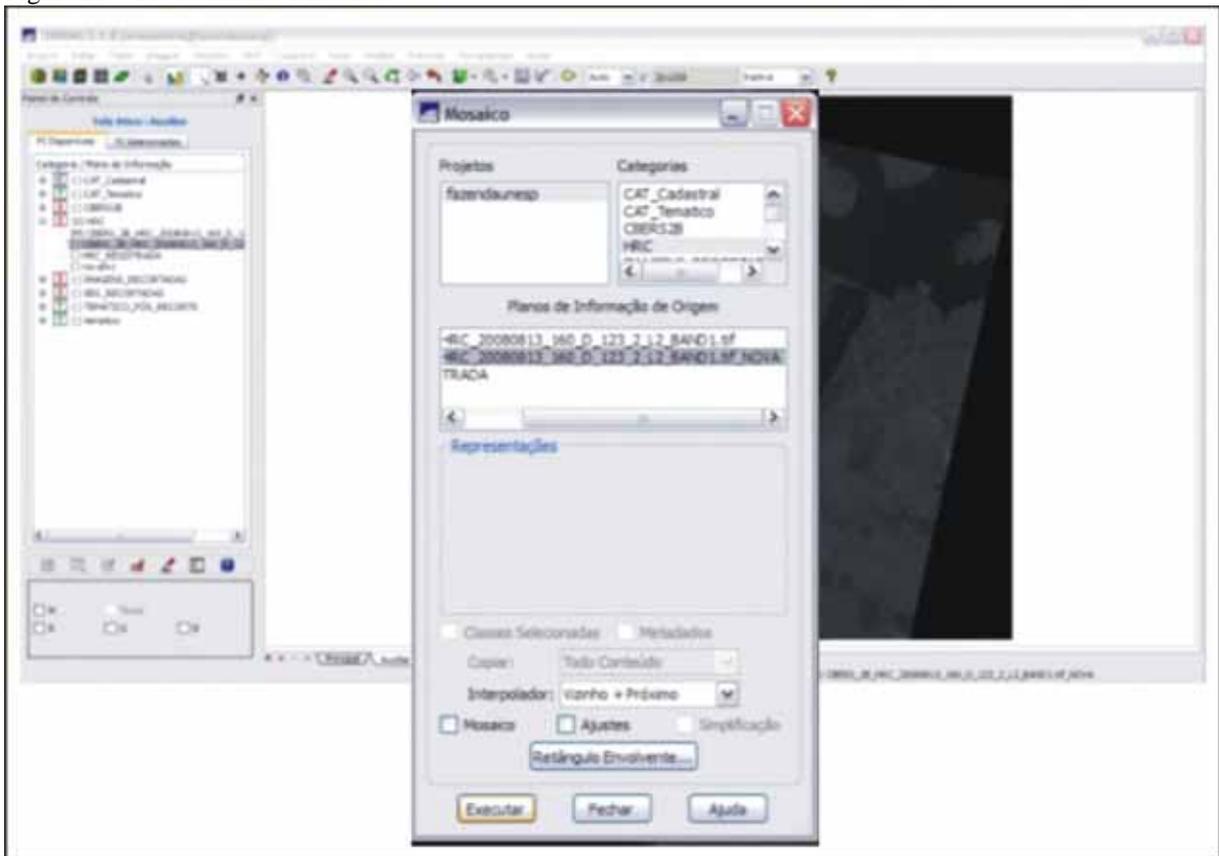
Os pontos de controle têm que serem visualizados e marcados ponto a ponto primeiramente na composição colorida da CCD e em seguida na HRC. Foram criados e distribuídos em toda a imagem 21 pontos de controles nomeados de P₁ à P₂₁;

3º) Mapeando a Imagem HRC para a CCD

É o procedimento na qual se executa durante a operação de Mosaico. Mosaicar uma imagem significa preencher uma imagem existente com informações de outra imagem.

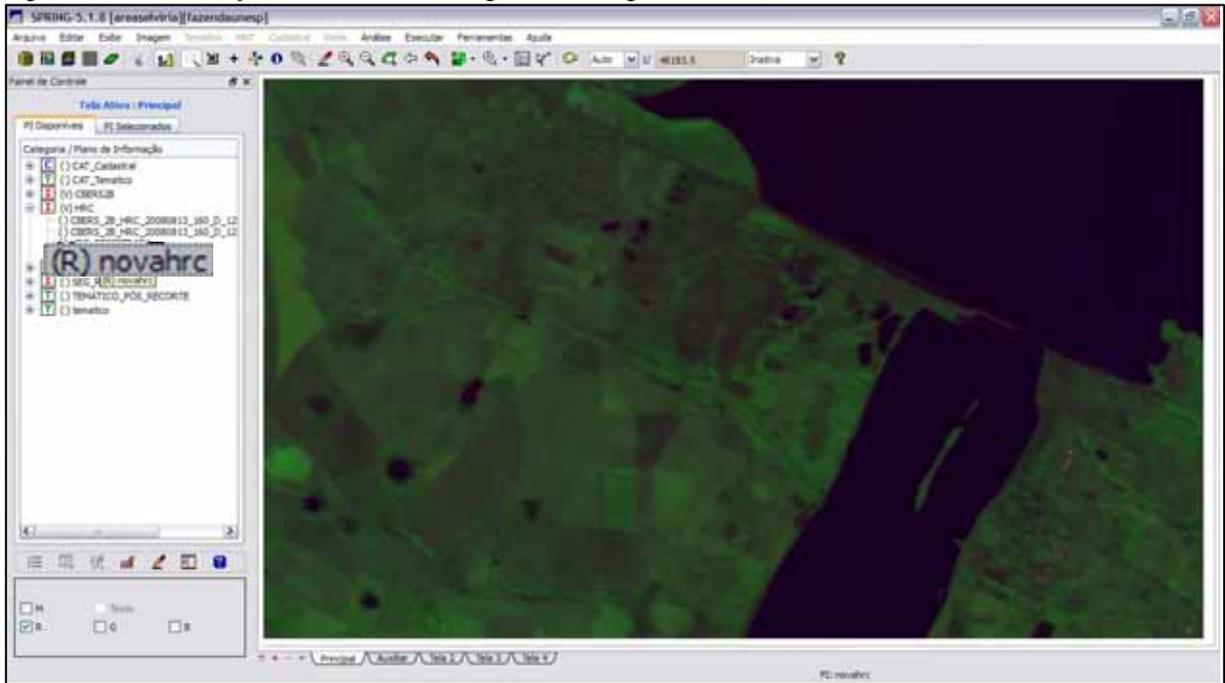
O primeiro passo foi criar uma Nova Imagem HRC na Área de Intersecção com a CCD. Ativado o novo PI referente à HRC, através do Menu Imagem - Mosaico foi selecionado para a execução do mosaico a imagem HRC originalmente, interpolador Vizinho Mais Próximo e o botão Ajustes (Figura 21). Uma forma de verificar a eficiência do registro (Figura 22), foi visualizar a imagem HRC em vermelho (R) e as bandas 2 em azul (B) 4 em verde (G);

Figura 21 – Procedimento Mosaico.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 22 – Visualização da eficiência do Registro. A imagem HRC-R; B2 e G4.



Fonte: Elaboração da própria autora.

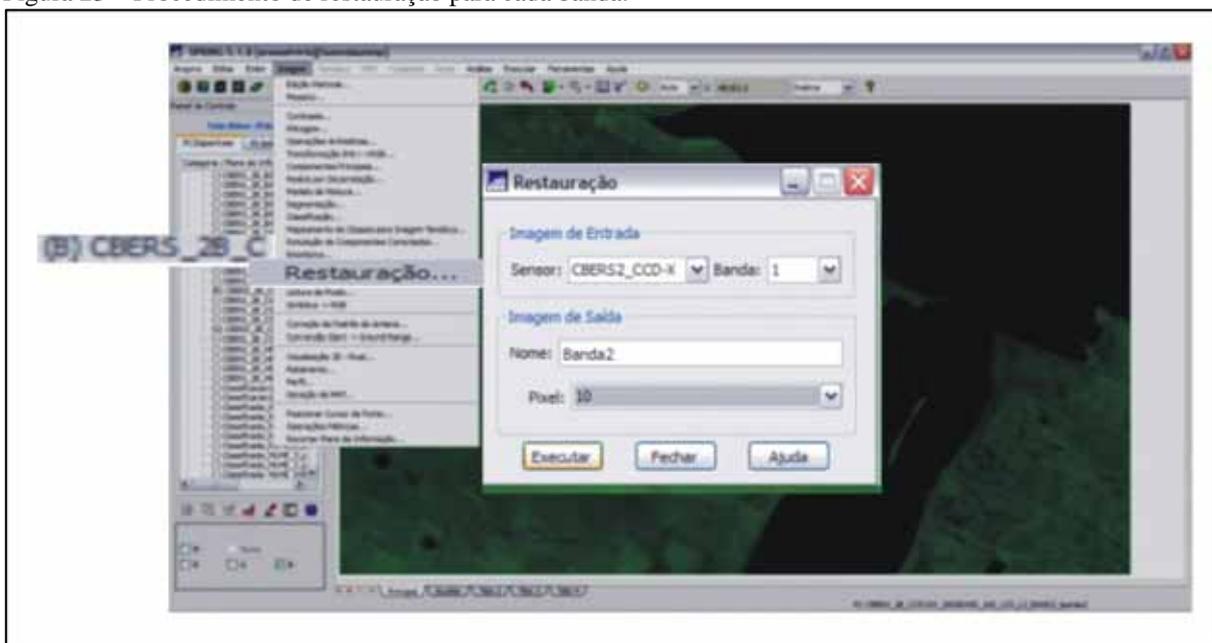
4º) Restaurando

A função da restauração é corrigir distorções inseridas pelo sensor na geração das imagens. E a finalidade deste procedimento é gerar a partir da imagem de uma banda CCD com resolução espacial de 20 metros uma nova imagem com resolução espacial de 10 metros.

Para restaurar (Figura 23), foram executadas as sequências para **cada uma das bandas** CCD:

1. Selecione a banda no Painel de Controle;
2. Menu Imagem – Restauração, selecione sensor CBERS2_CCD-X, banda, tamanho do pixel e nome desejado para o novo plano de informação na janela de Restauração.

Figura 23 – Procedimento de restauração para cada banda.



Fonte: Elaboração da própria autora.

5º) Reamostrando

Nesta etapa, pela imagem HRC imagear uma área 25 vezes menor que a da imagem CCD (Figura 24), a reamostragem tem a finalidade de reduzir a resolução do pixel das bandas CCD restauradas de 10 para 2.5 metros e um detalhe é que as bandas devem ser recortadas para o mesmo retângulo envolvente da imagem HRC. Segundo Namikawa (s/d), o interpolador bilinear deve ser utilizado para a reamostragem garantir uma transição suave de cores entre pixels.

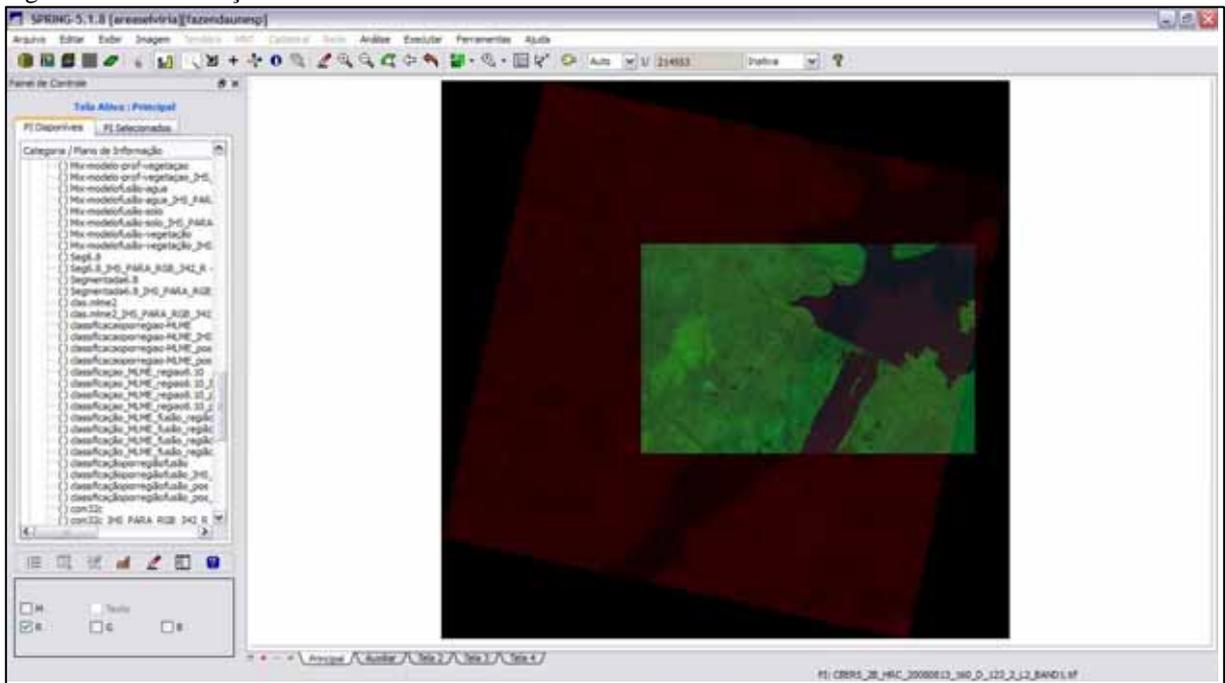
Para o recorte, foram executadas as seqüências:

- Visualização das bandas CCD e HRC concomitantemente;
- Com a HRC ativada, Menu Editar – Plano de Informação;
- Selecionar categoria CBERS_CCD, CCD_reamostrada como sendo o nome do novo PI;

- No Retângulo Envolvente com a opção de cursor ativado foi demarcada a área.

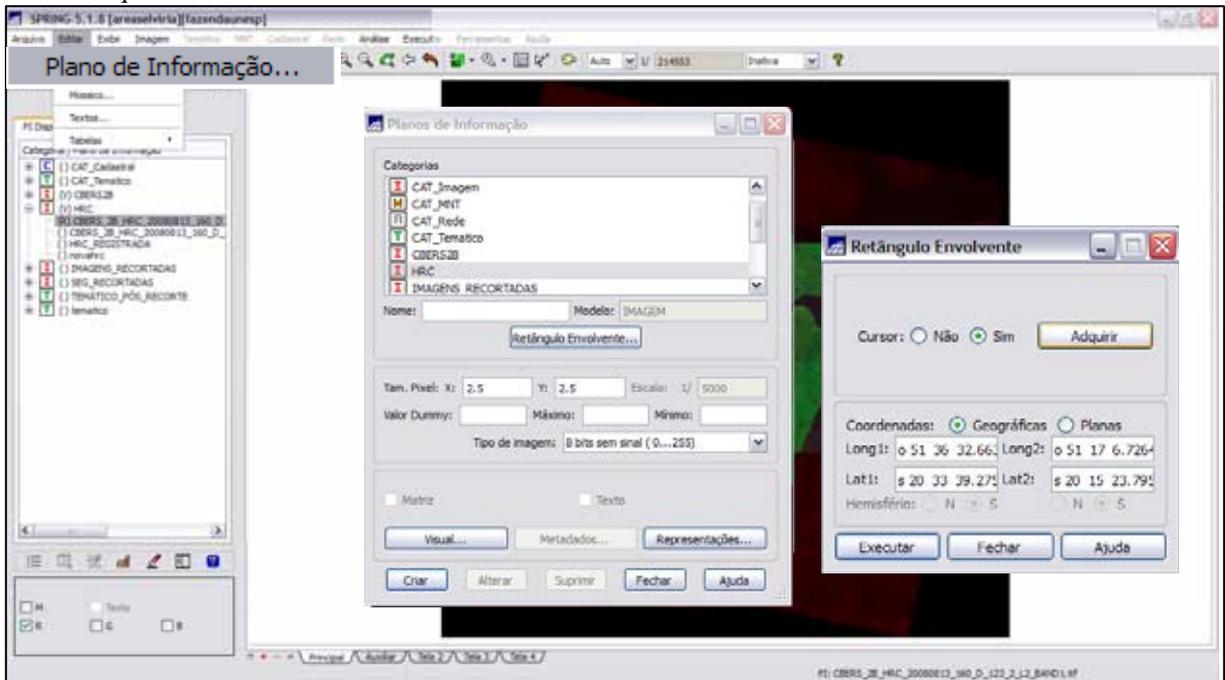
Processo elucidado passo a passo na Figura 25 e a área demarcada na Figura 26;

Figura 24 - Visualização das bandas CCD e HRC concomitantemente.



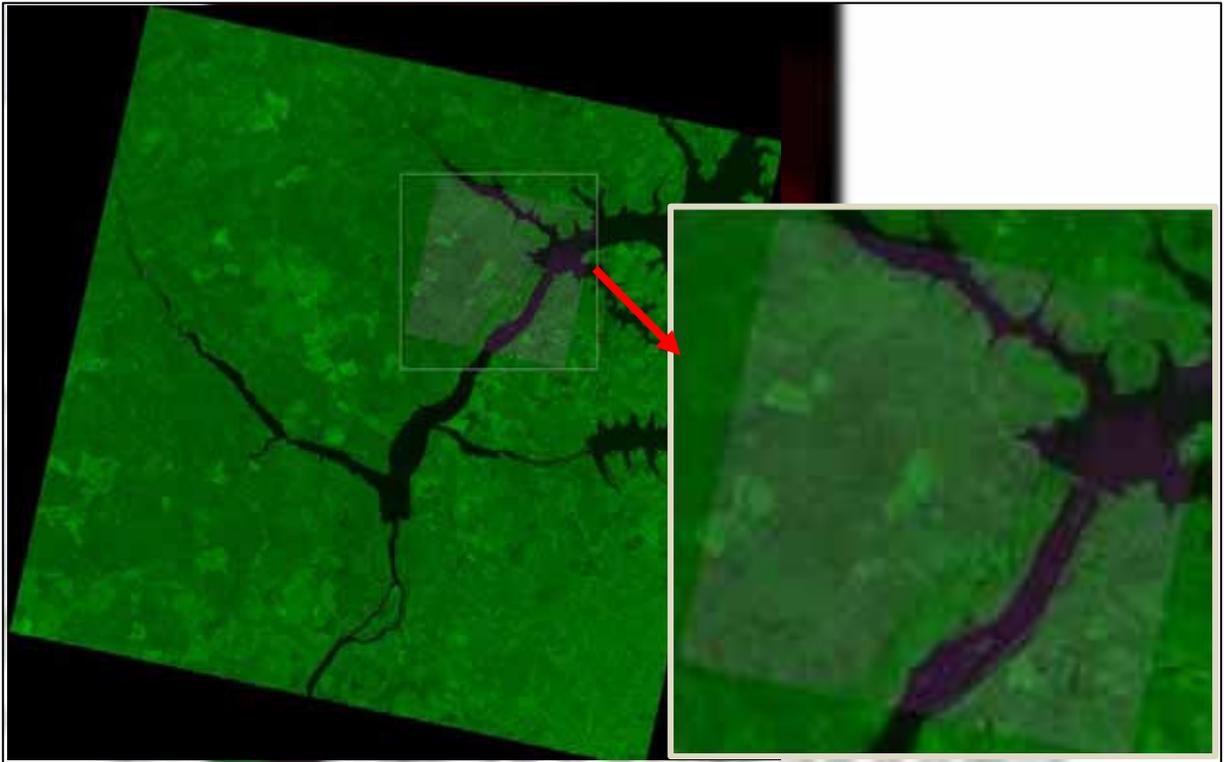
Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 25 – Menu Editar; Plano de Informação; categoria HRC selecionada; Retângulo Envolvente com curso ativo e Adquirir.



Fonte: Elaboração da própria autora.

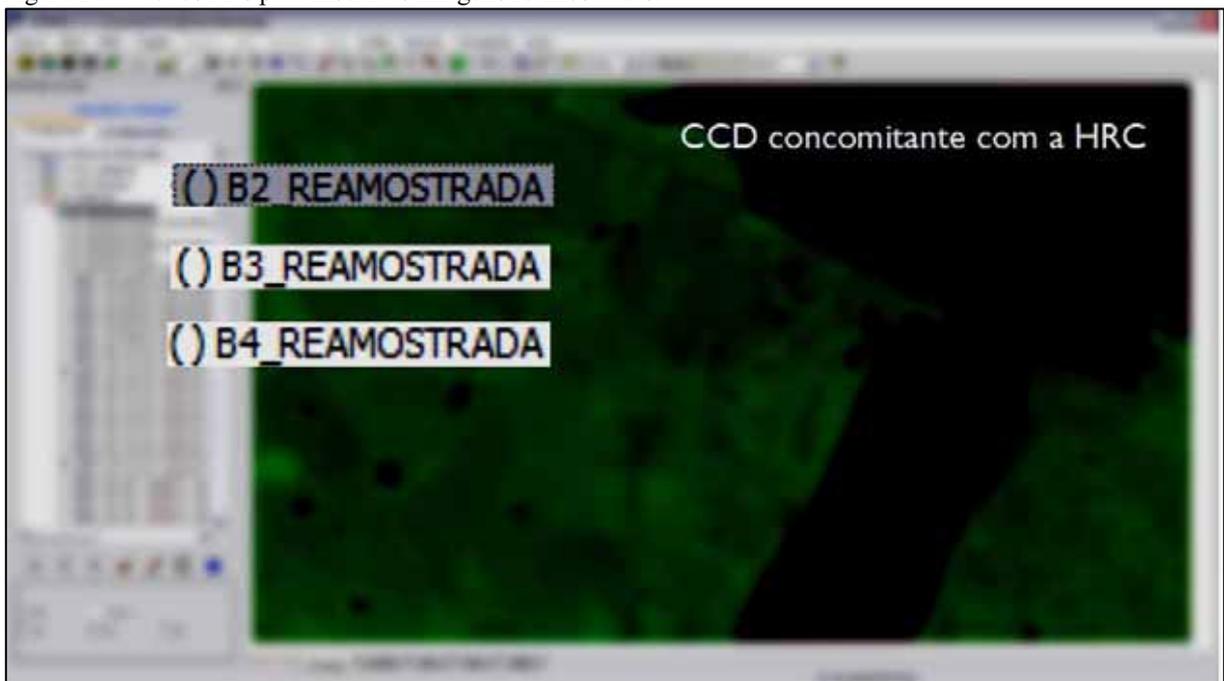
Figura 26 – Área demarcada no Retângulo Envolvente.



Fonte: Elaboração da própria autora.

- Criação de novos PI's, ainda no Menu Editar – Plano de Informação, para as bandas 2, 3 e 4 (Figura 27);

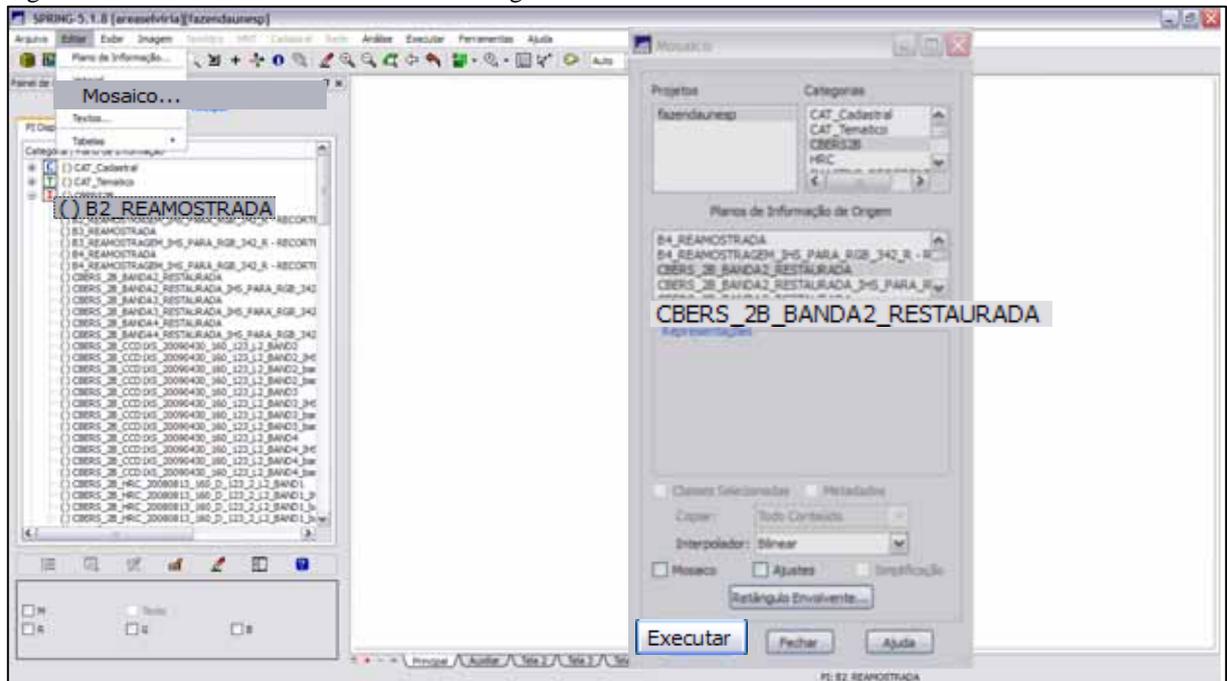
Figura 27 – Novos PI's para inserir as imagens reamostradas.



Fonte: Elaboração da própria autora.

- Para preenchimento deste PIs, os procedimentos realizados foram ativar o plano novo de cada banda e no Menu Editar – Mosaico selecionar a banda restaurada, usar o interpolador Bilinear e Executar (Figura 28);

Figura 28 – Preenchimento dos PIs com as imagens restauradas.



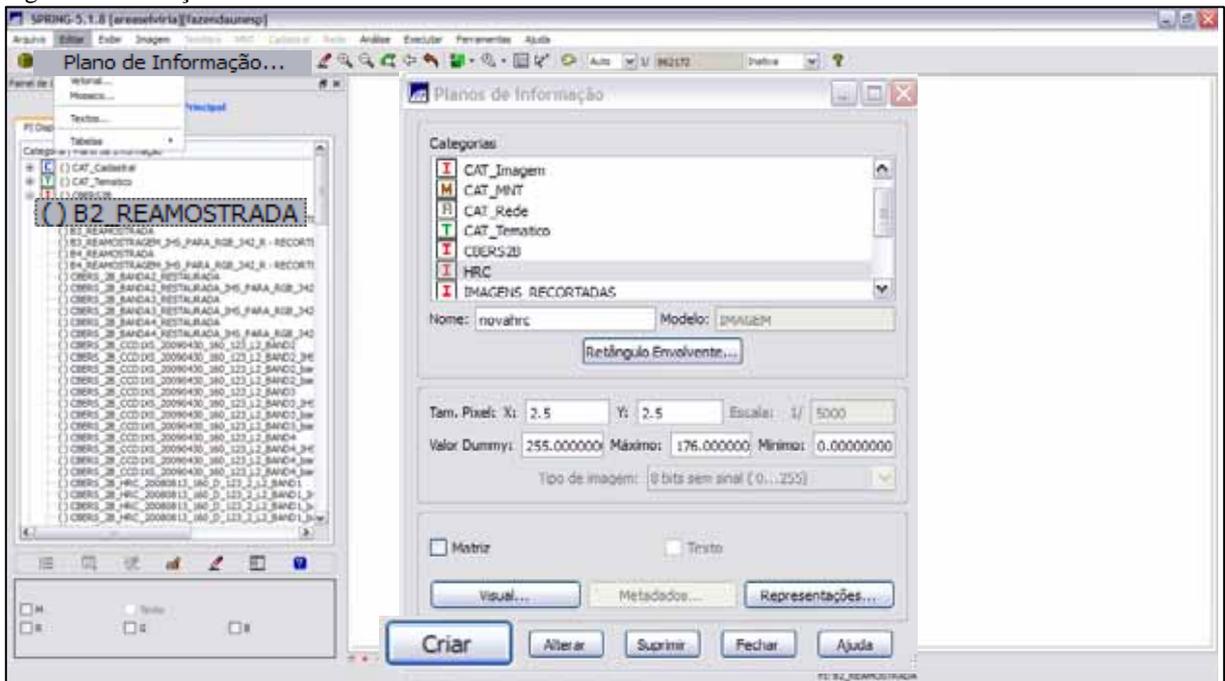
Fonte: Elaboração da própria autora.

6º) Preparando a imagem HRC

A imagem HRC deve ter o mesmo retângulo envolvente das bandas CCD para que a fusão seja feita corretamente. Com isto foi necessário a criação de um novo plano de informação (Figura 29) e preenche-lo com a imagem HRC registrada.

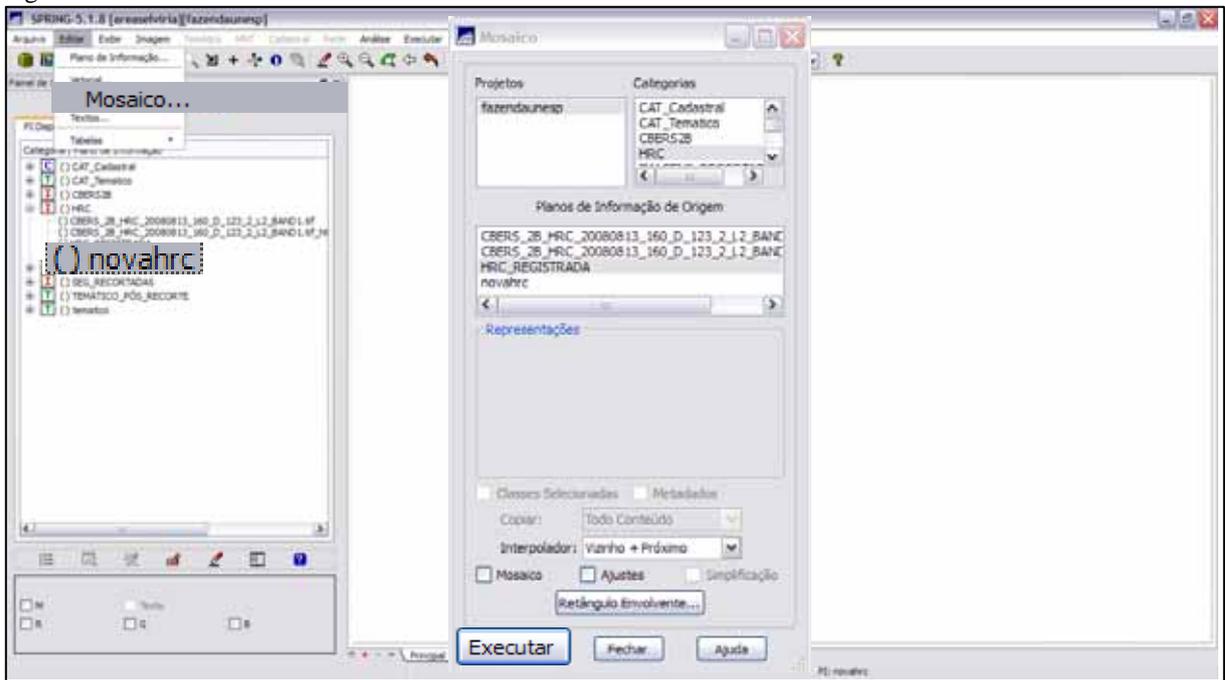
Ativada uma das imagens CCD reamostradas, no Menu Editar – Plano de informação foi selecionada a Categoria CBERS_HRC e nomeado um novo PI de HRC_nova. Com o PI criado ativo, no Menu Editar – Mosaico foi selecionado o PI com a imagem HRC registrada e interpolador Vizinjo mais Próximo (Figura 30);

Figura 29 – Criação do novo PI da HRC.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 30 – Inserindo o resultado do mosaico no novo PI.



Fonte: Elaboração da própria autora.

7º) Novo Registro

Segundo Namikawa (s/d), os procedimentos da etapa anterior pode causar um deslocamento das imagens, sendo assim torna-se necessário um novo Registro das Imagens. Além de este poder ser melhorado por tratar-se de uma área menor que a área das imagens

originais. Ainda sugere que se defina a imagem HRC como referência e que cada banda CCD seja registrada a partir da HRC.

O registro foi executado com o procedimento já apresentado no segundo item deste subitem, invertendo as imagens CCD pela HRC;

8º) Transformando RGB para IHS

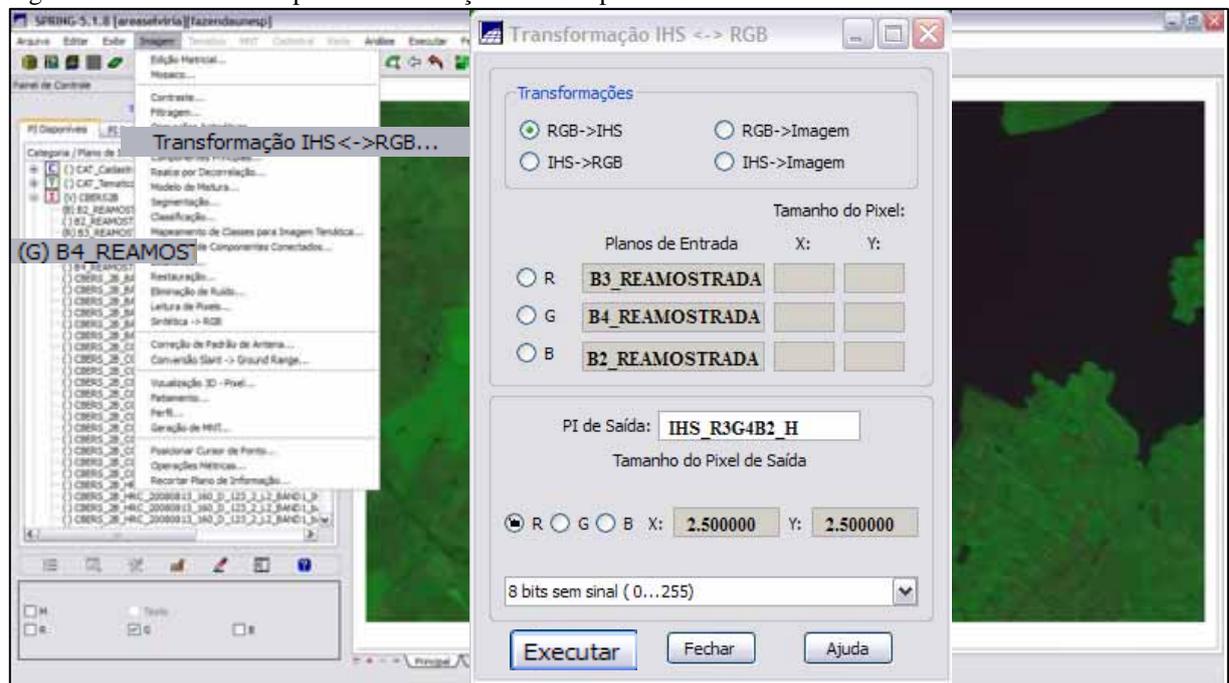
As cores RGB são obtidas de uma composição colorida de bandas CCD reamostradas e nesta etapa foram transformadas nas componentes de Intensidade, Saturação e Matiz.

Para transformar, executaram-se a sequência (Figura 31):

- Visualizando a composição colorida de bandas CCD reamostradas, no Menu Imagem – Transformação IHS ↔ RGB, foi selecionada a transformação RGB→IHS, e definidas as imagens na composição 342.

- Por ultimo selecionado o tamanho do pixel de saída igual à banda definida para o R (2.5m);

Figura 31 – Procedimento para transformação de RGB para IHS.



Fonte: Elaboração da própria autora.

9º) Transformando IHS para RGB

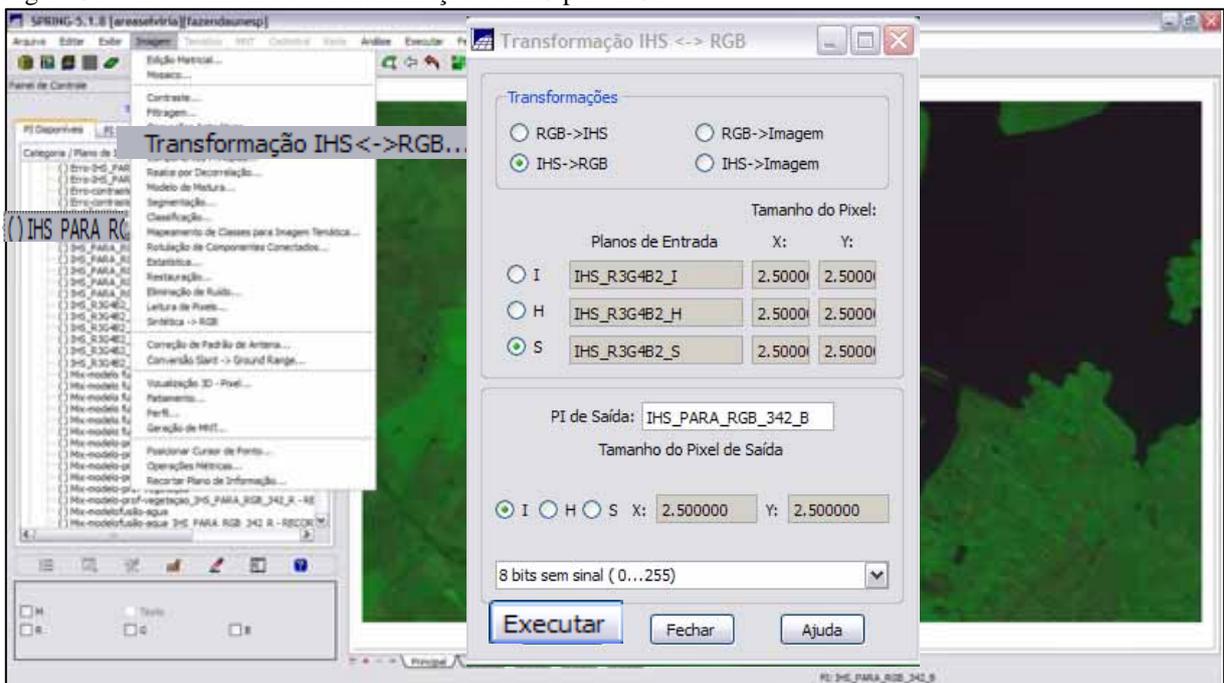
As componentes de Saturação e Matiz geradas no passo anterior são transformadas em cores RGB substituindo a componente de Intensidade pela imagem HRC.

Segue a sequência utilizada para tal transformação (Figura 32):

- No Menu Imagem – Transformação IHS ↔ RGB, selecionado a transformação IHS→RGB, para I correlacionou-se o PI com a imagem HRC recortada;
- O H relacionou com a imagem com a componente H;
- O S relacionou com a componente S;
- E por fim o tamanho do pixel da imagem de saída como sendo igual ao da imagem intensidade (I).

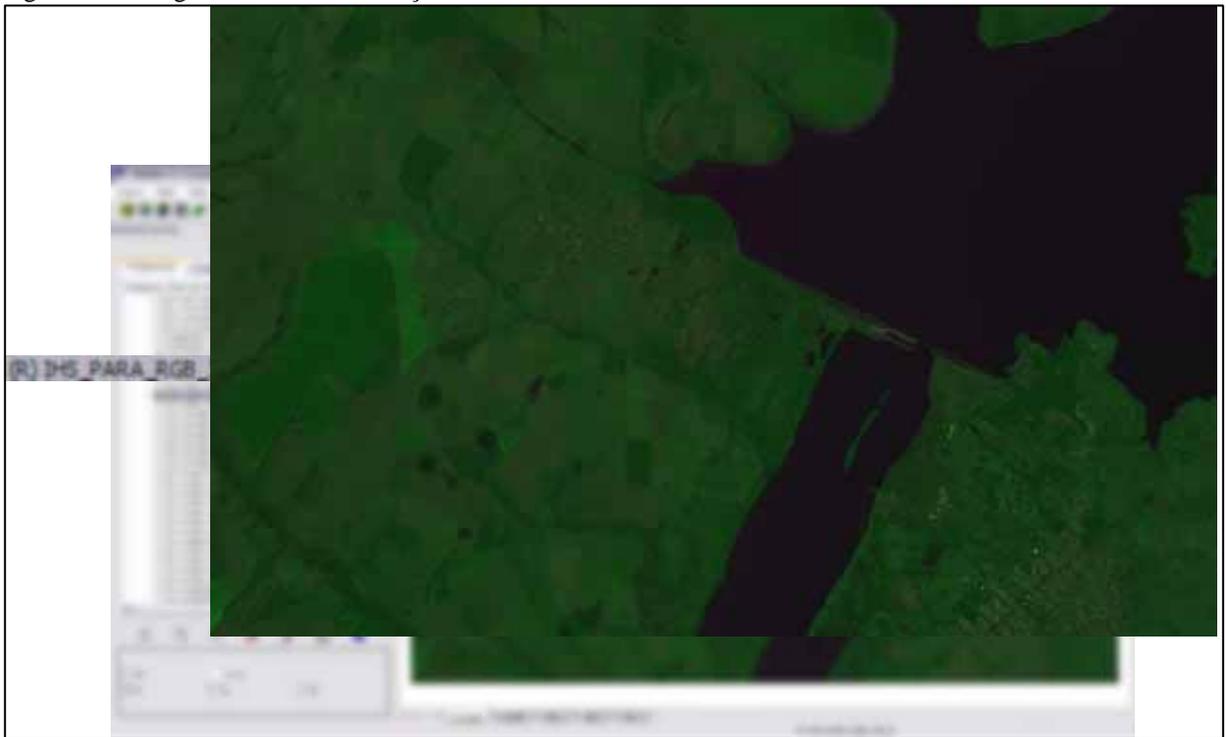
Realizando as nove etapas obtêm como resultado bandas do sensor CCD com resolução espacial de 2.5 metros (Figura 33).

Figura 32 – Procedimento da transformação de IHS para RGB.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 33 – Imagens CCD com resolução de 2.5m.



Fonte: Elaboração da própria autora.

3.4. PROCESSAMENTO DIGITAL DE IMAGENS

3.4.1. Métodos Tradicionais

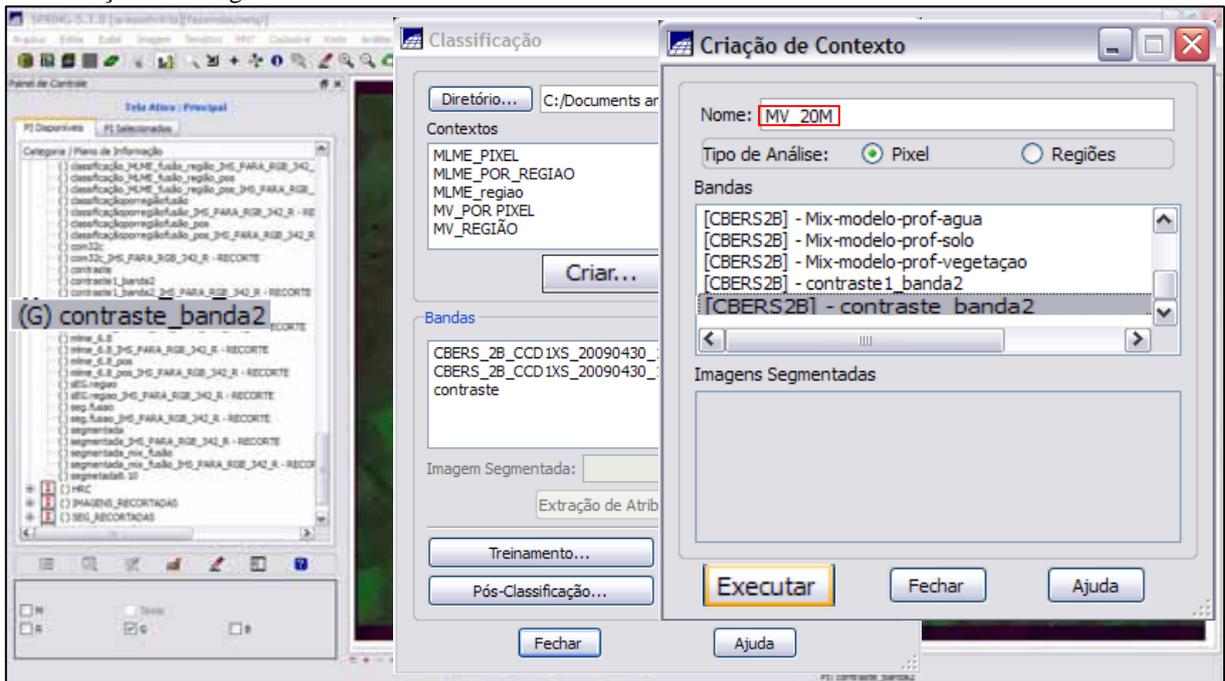
O trabalho avaliou dois dos métodos mais tradicionais em Classificação de Imagens, a Classificação supervisionada (pixel a pixel) a partir do Classificador MAXVER e a Classificação por Região com o Classificador *Isoseg*, ambos por default.

3.4.1.1. Classificação supervisionada

Com as imagens importadas no Banco de Dados, abaixo estará listados os procedimentos para tais classificações.

1º) Com uma das bandas ativas, no Menu Imagem – Classificação foram criados quatro contextos de classificação supervisionada em momentos diferentes e conforme evoluía a pesquisa. Nestes arquivos de Contexto armazenam quais as bandas fizeram parte do processo de classificação, o método utilizado por pixel e as amostras de treinamento. A Figura 34, expressa o exemplo de um destes contextos para adquirir a classificação supervisionada;

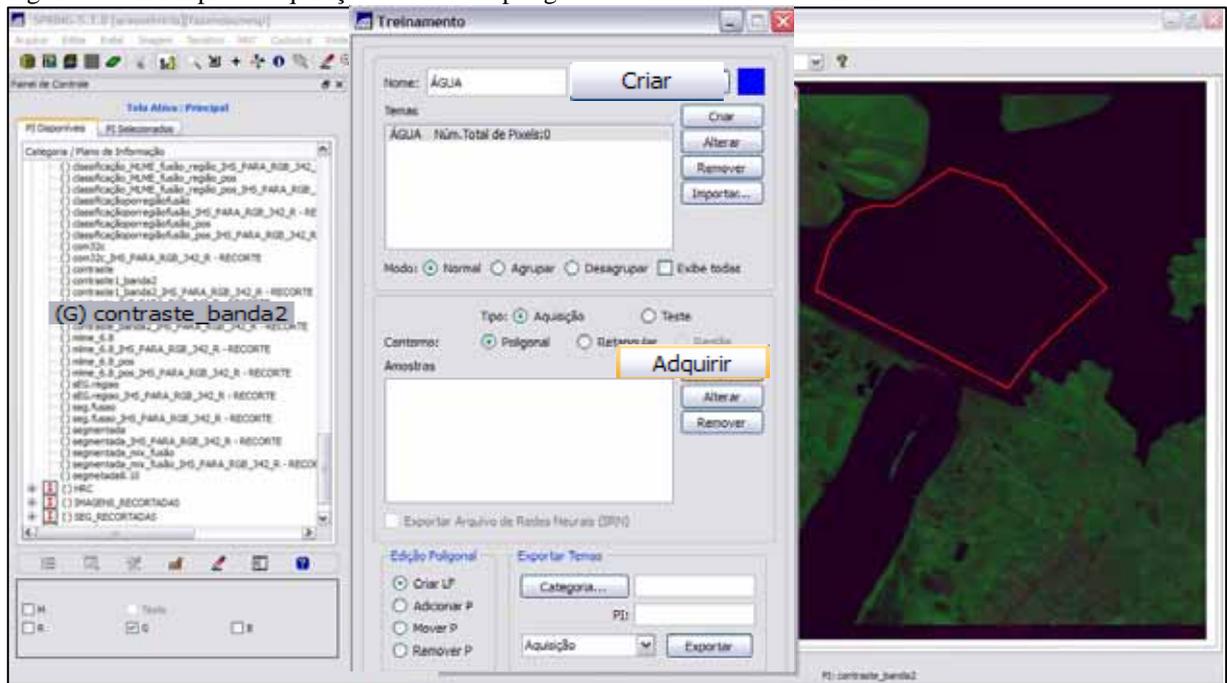
Figura 34 – Exemplo de criação do contexto de classificação supervisionada, caso específico do contexto para a classificação das imagens CCD com 20 metros.



Fonte: Elaboração da própria autora.

2º) Execução do treinamento (Figura 35) foi realizada com as amostragens de três atributos da imagem na área em estudo, com amostras poligonais. Os atributos analisados foram Recursos hídricos, Solo (sem distinção com área urbana e tipologia) e Vegetação. Procedimento: com o contexto já criado, a sequência: Menu Imagem; Classificação; com o contexto selecionado ir no Treinamento; Nome para o atributo; Criar; Aquisição ativado, Contorno Poligonal; na imagem seleciona área representativa; Adquirir e com todas amostras adquiridas finaliza no Salvar.;

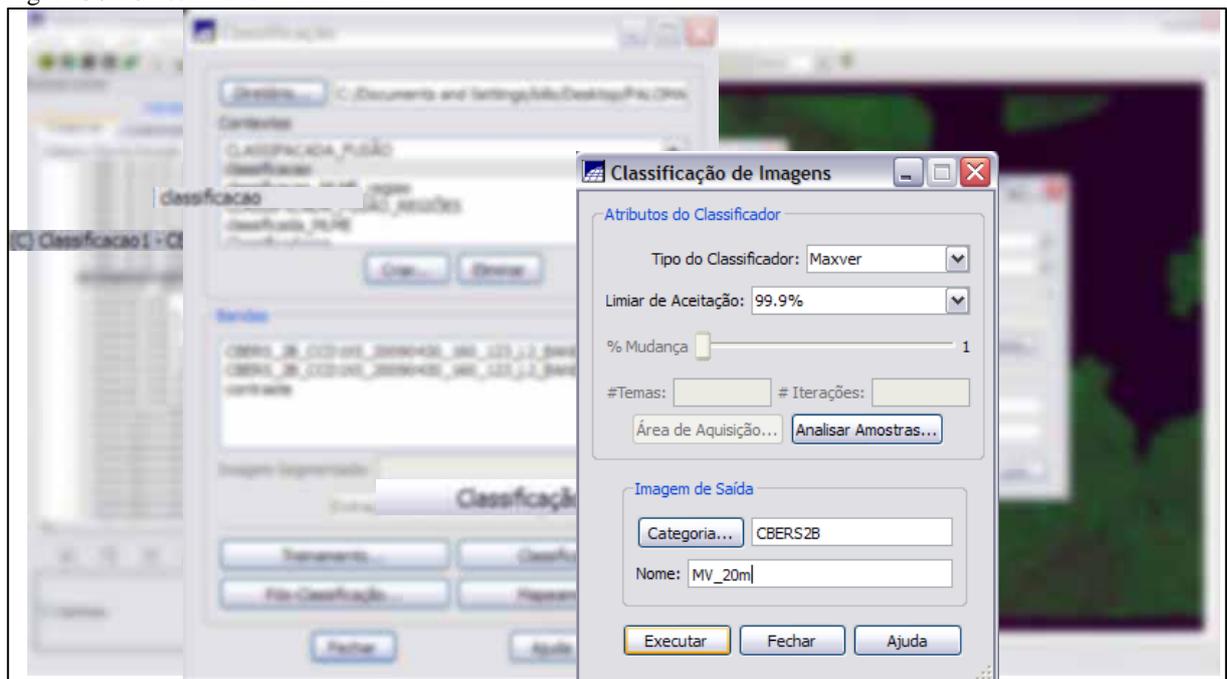
Figura 35 – Exemplo de aquisição de amostra poligonal do atributo Recurso hídrico.



Fonte: Elaboração da própria autora.

3º) O classificador utilizado foi o MAXVER, com um limiar de aceitação de 99,9% (Figura 36);

Figura 36– Classificador MAXVER.



Fonte: Elaboração da própria autora.

4º) Na Pós-classificação, referindo-se ao processo de extração de pixels isolados em função de um limiar e de um peso, respectivamente adotados 2 e 3 (Figura 37). Tal escolha se justifica após vários testes;

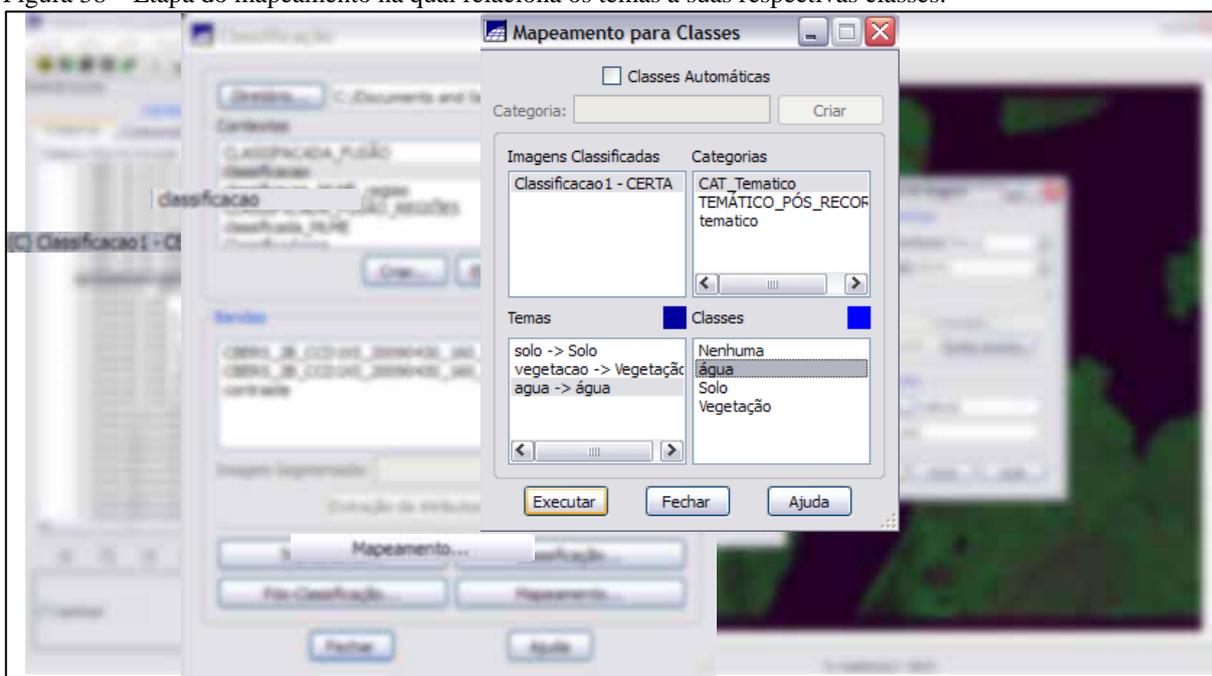
Figura 37 - Pós – classificação com demonstração do peso e limiar empregados.



Fonte: Elaboração da própria autora.

5º) Em todas as classificações foram realizadas o Mapeamento, ou seja, houve a transformações das imagens classificadas (categoria Imagem) em mapas temáticos rasters (categoria Temático).

Figura 38 – Etapa do mapeamento na qual relaciona os temas a suas respectivas classes.



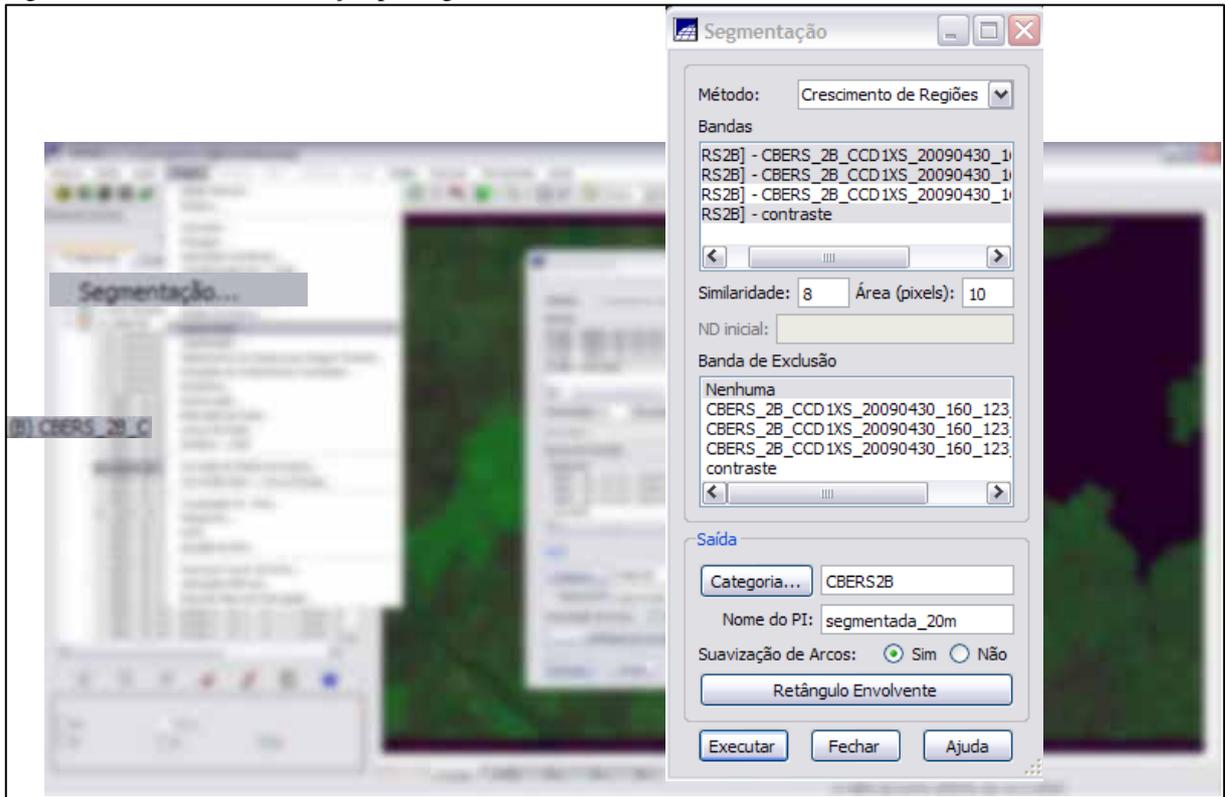
Fonte: Elaboração da própria autora.

3.4.1.2. Classificação por região

Os procedimentos para as execuções destas classificações foram:

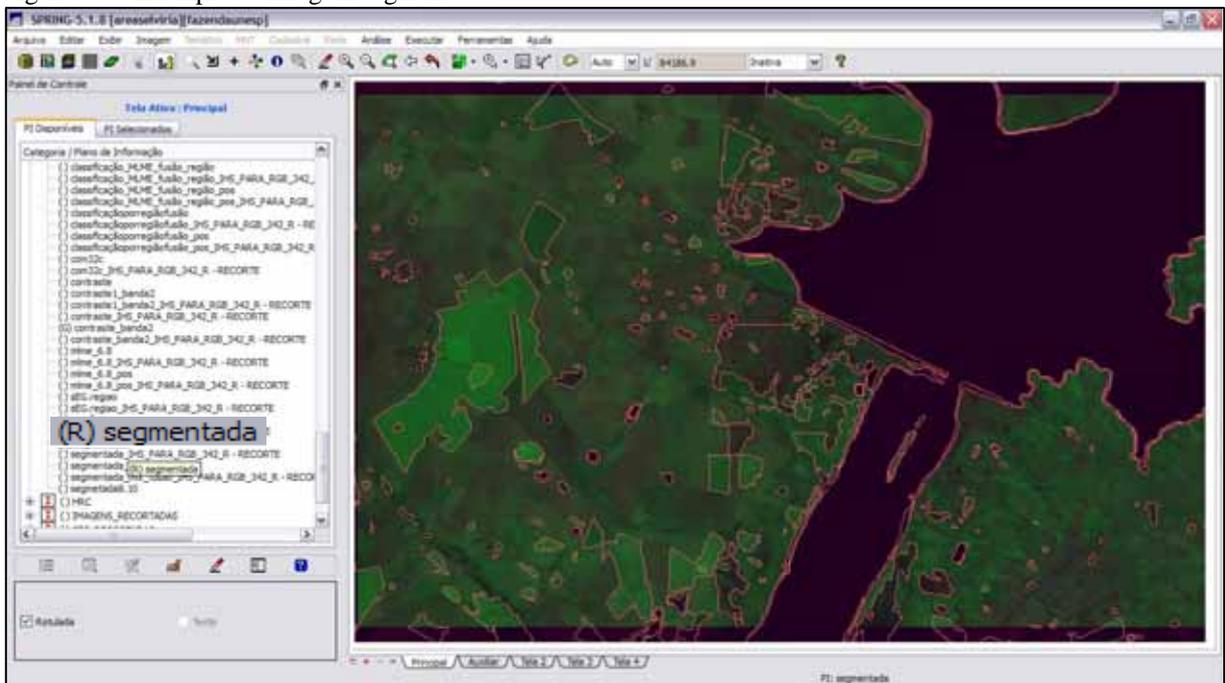
1º) Ativada uma banda das imagens a serem classificadas, no Menu Imagem – Segmentação, a partir do Método de Crescimento de Regiões, selecionando as bandas em apreço, com similaridade oito e área de 10 pixels, selecionar a Categoria, Nomear o PI de saída e Executar (Figura 39). Na qual foram geradas as imagens segmentadas (Figura 40), separada em regiões com base na análise dos níveis de cinza.

Figura 39 – Início da classificação por região.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 40 – Exemplo de imagem segmentada.



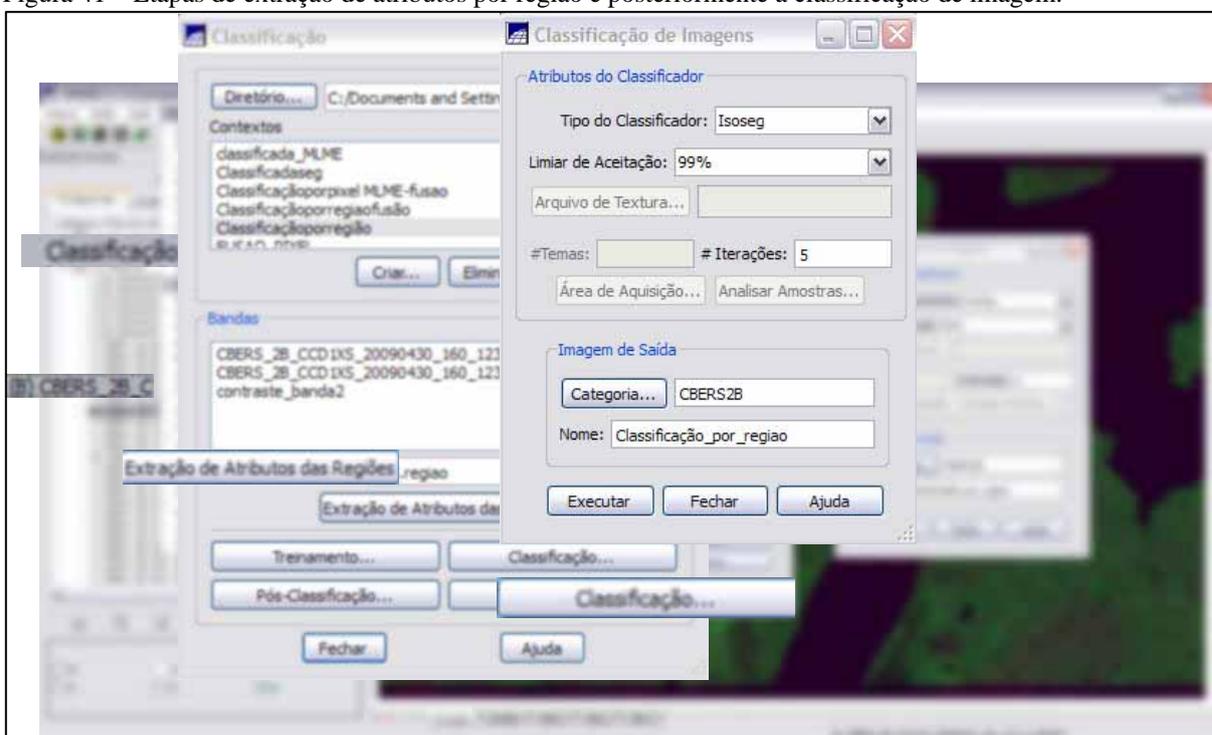
Fonte: Elaboração da própria autora.

2º) Com qualquer PI ativo de um modelo de Imagem, no Menu Imagem - Classificação, foram criados quatro contextos de classificação por região em momentos diferentes e conforme evoluía a pesquisa. Nestes arquivos de Contexto armazenam quais as bandas fizeram parte do processo de classificação;

3º) O próximo passo é a extração de regiões na qual neste procedimento o algoritmo extrai as informações estatísticas de média e variável de cada região, considerando as bandas indicadas no contexto, etapa automática;

4º) Na Classificação o tipo de classificador usado foi o Iseseg com Limiar de Aceitação de 99 (Figura 41);

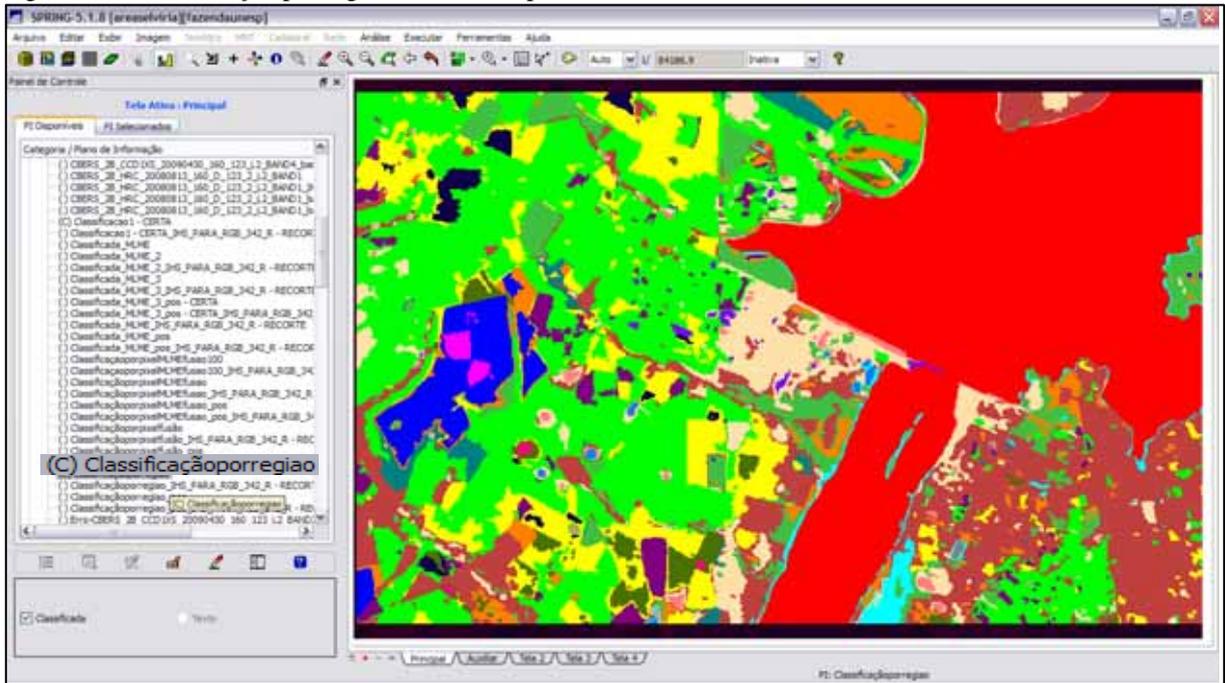
Figura 41 – Etapas de extração de atributos por região e posteriormente a classificação de imagem.



Fonte: Elaboração da própria autora.

A Figura 42, expressa um exemplo de classificação por região antes da etapa de mapeamento.

Figura 42 – Classificação por região antes do mapeamento.

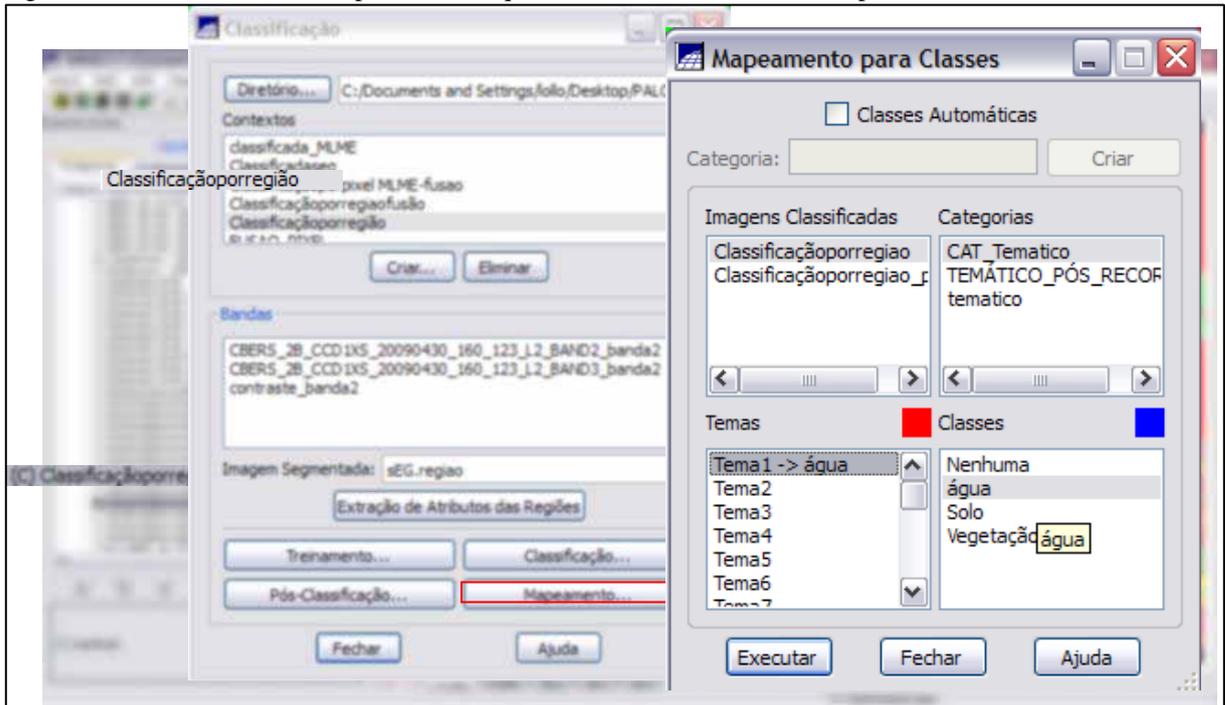


Fonte: Elaboração da própria autora.

5º) Na Pós-classificação, referindo-se ao processo de extração de pixels isolados em função de um limiar e de um peso, respectivamente adotados 2 e 3. Tal escolha se justifica após vários testes;

6º) Em todas as classificações foram executadas o Mapeamento (Figura 44), chegando a ter 49 temas a ser mapeado entre os três atributos analisados (Figura 43).

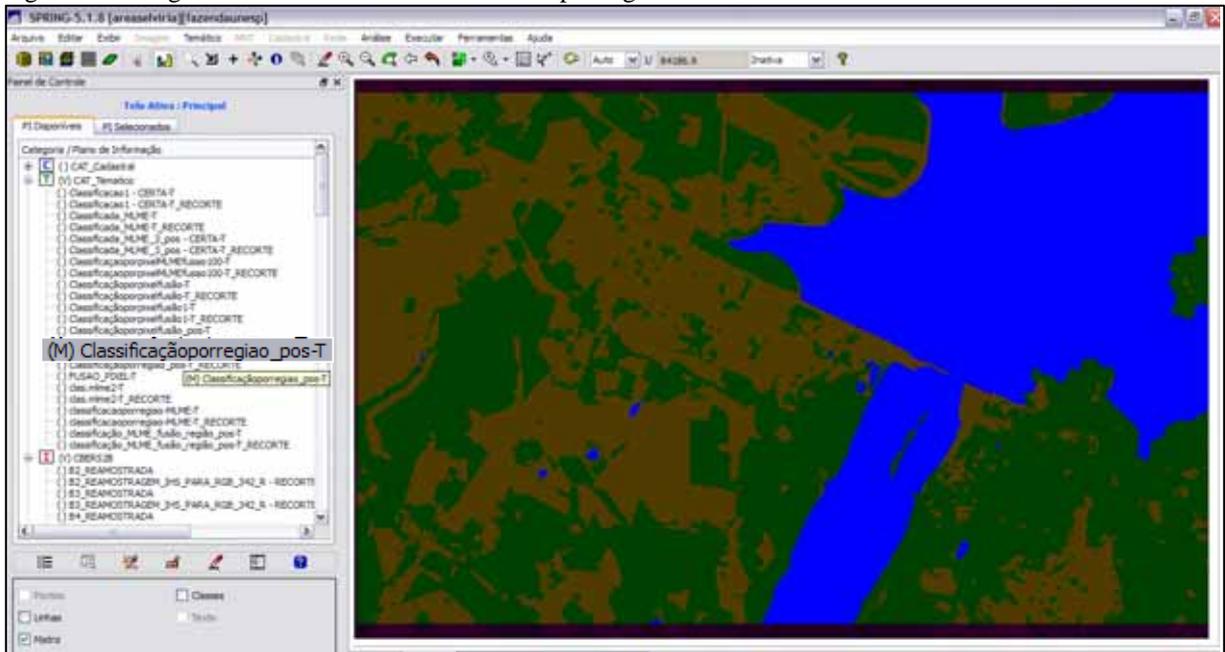
Figura 43 – Procedimento do mapeamento na qual relaciona os temas a suas respectivas classes.



Fonte: Elaboração da própria autora.

A Figura 44 representa o exemplo mencionado na Figura 42 após o processo de mapeamento.

Figura 44– Imagem CCD de 20 metros classificada por região.



Fonte: Elaboração da própria autora.

3.4.2. MLME

Com as imagens importadas no Banco de Dados, abaixo estará listados os procedimentos para tais aplicações.

1º) No Menu Imagem - Modelo de Mistura foram criados dois modelos ao longo da pesquisa, o primeiro referente a aplicação do modelo nas imagens originais CBERS-2B e o outro nas bandas geradas com a fusão da HRC com as CCD;

2º) Na janela PI's de Interesse, foram escolhidos os PIs na primeira aplicação das bandas CCD originais e na outra classificação estes foram os PIs gerados com a fusão. Vale ressaltar que as bandas devem ser as mesmas bandas definidas na criação do modelo;

3º) Nomeia o PI de saída;

4º) Foram solicitadas as imagens de erro e o Retângulo Envolvente ficou o mesmo do PI ativo;

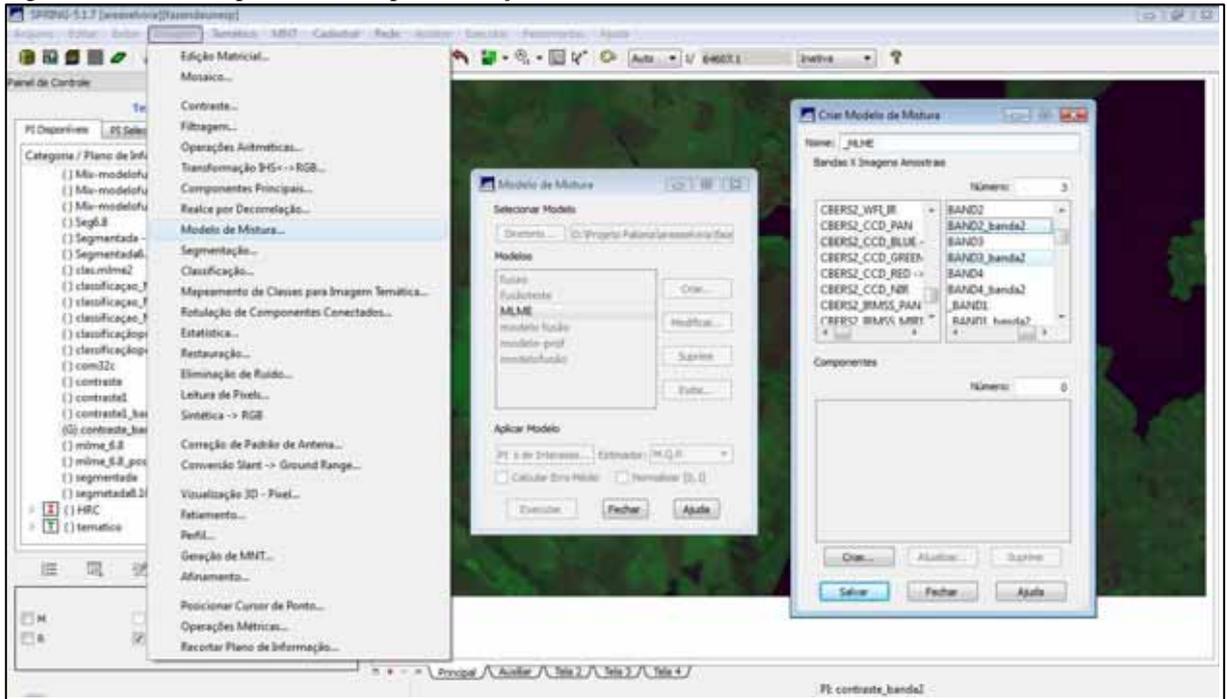
5º) Neste momento é apresentada a janela "Imagens Seleccionadas diferentes das bandas do Modelo. Prosseguir?", sim.

6º) Voltando para janela do Modelo de Mistura, o estimador foi o M.Q.R por tratar-se exatamente 3 atributos analisados;

7º) No final do processamento uma nova janela mostra as imagens geradas e o cálculo do erro total e do erro por banda, o que neste estudo não será tratado uma vez que os erros foram baixos.

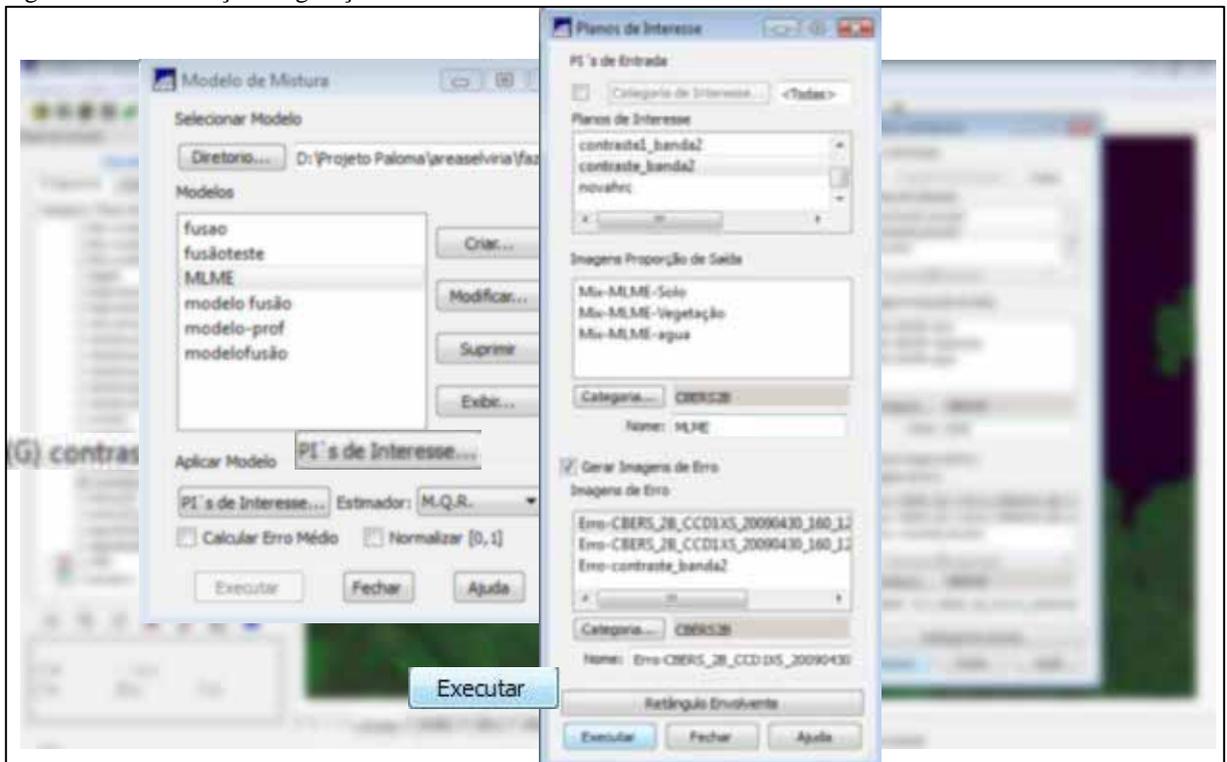
A Figura 45 elucida o começo do processo de geração do MLME (Menu Imagens; Modelo de Mistura; Criar; Nomear; Seleccionar bandas originais e o número de imagens; Salvar), enquanto a Figura 46 expressa a finalização da geração do modelo (Após a criação do Modelo, seguir para PI's de interesse; Gerar Imagens Erro; Manter o Retângulo Envolvente; Executar. Estimador M.Q.R; Executar) e a Figura 47 é o exemplo do resultado da aplicação do MLME.

Figura 45 – Início do procedimento para a criação do MLME.



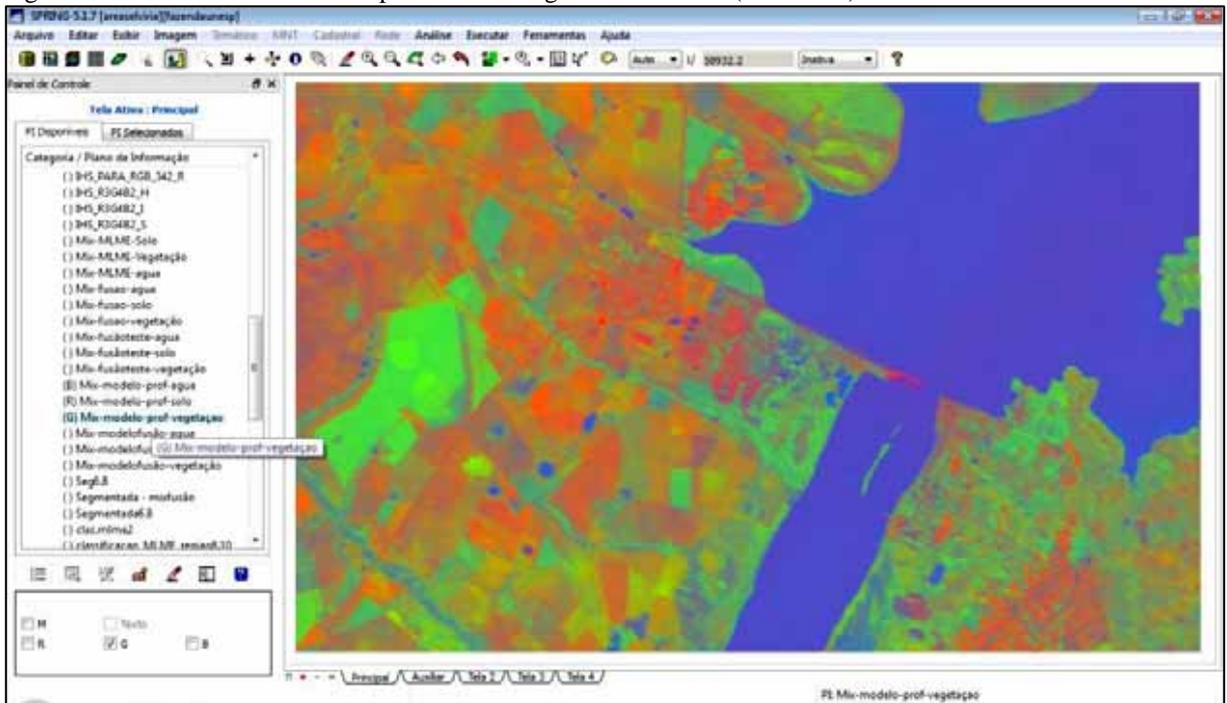
Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 46 – Finalização da geração do modelo.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 47 – Resultado do MLME aplicado em imagens CBERS-2B (20 metros).



Fonte: Elaboração da própria autora.

CAPÍTULO 4

LOCALIZAÇÃO E CARACTERIZAÇÃO GEOAMBIENTAL DA ÁREA ESTUDADA

4.1. LOCALIZAÇÃO DA ÁREA DE ESTUDO

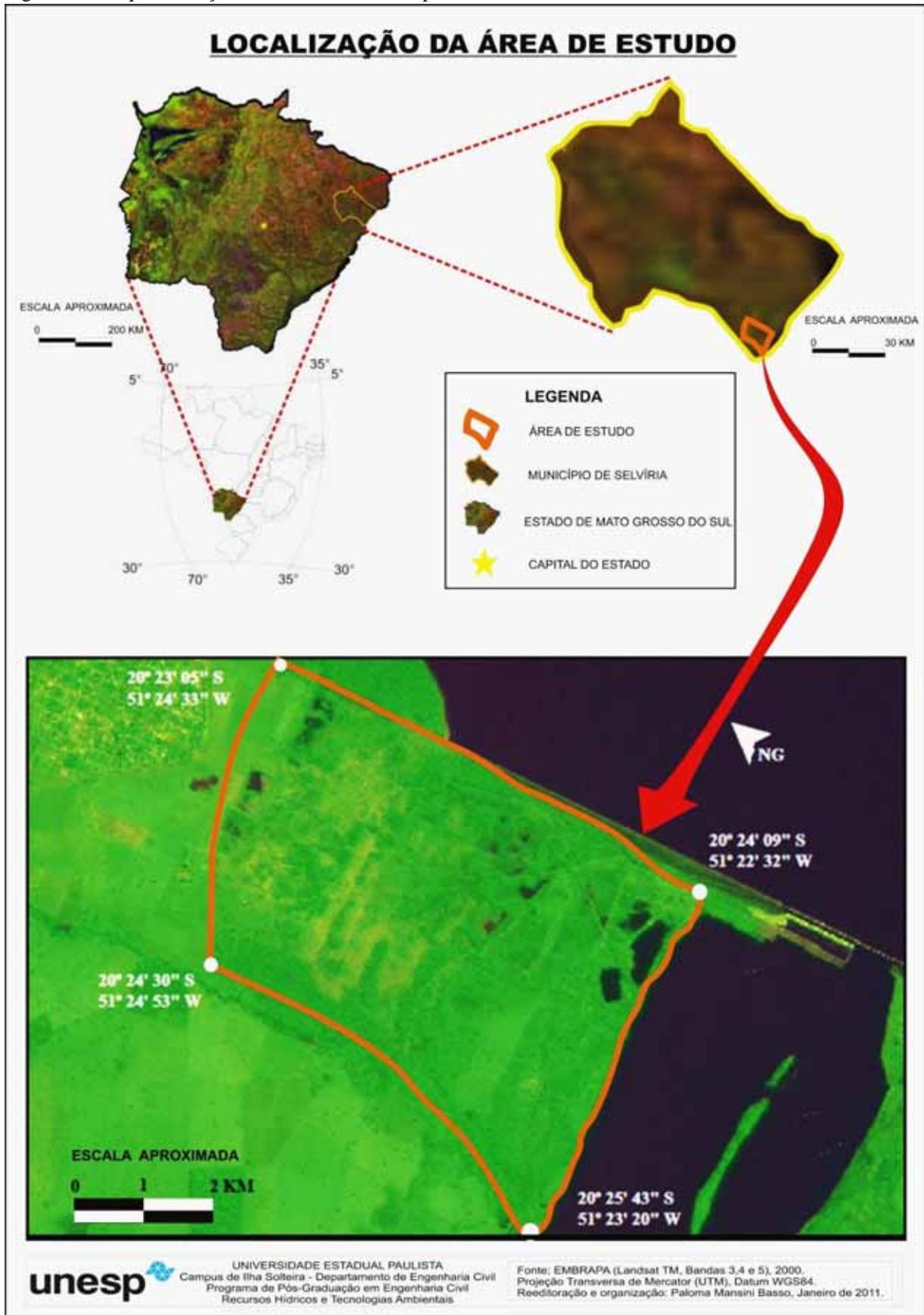
O local em estudo localiza-se no município de Selvíria (Figura 48), porção leste do estado de Mato Grosso do Sul sendo fronteiro com o Noroeste do Estado de São Paulo entre os meridianos 52°25' e 51°58'W e os paralelos 19°59" e 21°60'S. Em 2011, o município alcançou população estimada de 6.303 habitantes e uma área municipal de 3268,15 km².

A área estudada situa-se na bacia hidrográfica do Rio Paraná, na qual é uma das principais bacias hidrográficas da América do Sul. Com características de clima úmido e sub-úmido. Geomorfologicamente enquadra-se na Região do Vale do Rio Paraná, na qual é constituída pelo vale do rio Paraná e seus afluentes, com altimetria variando de 250 a 300 m.

As estruturas geológicas aliadas aos processos de tectonismo propiciaram um acentuado encaixamento do rio Paraná e de grande parte de seus afluentes. Esse encaixamento é responsável pelo aparecimento no leito do rio, de soleiras basálticas resistentes, possibilitando a presença de corredeiras e quedas d'água, aproveitadas como sítio para instalação das usinas hidrelétricas (Jupiá, Ilha Solteira).

A área estudada trata-se de uma área degradada por mineração de solo/rocha para suprir as necessidades da construção da barragem de Ilha Solteira e sua caracterização geoambiental (Figuras 49, 50 e 51) foi realizada com o subsídio do Atlas Multirreferencial (1990) na escala de 1:1.000.000, documento elaborado pela Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral do Estado de Mato Grosso do Sul (SEPLAN).

Figura 48 – Esquemática do local da área de empréstimo de solo estudada.



Fonte: Elaboração da própria autora.

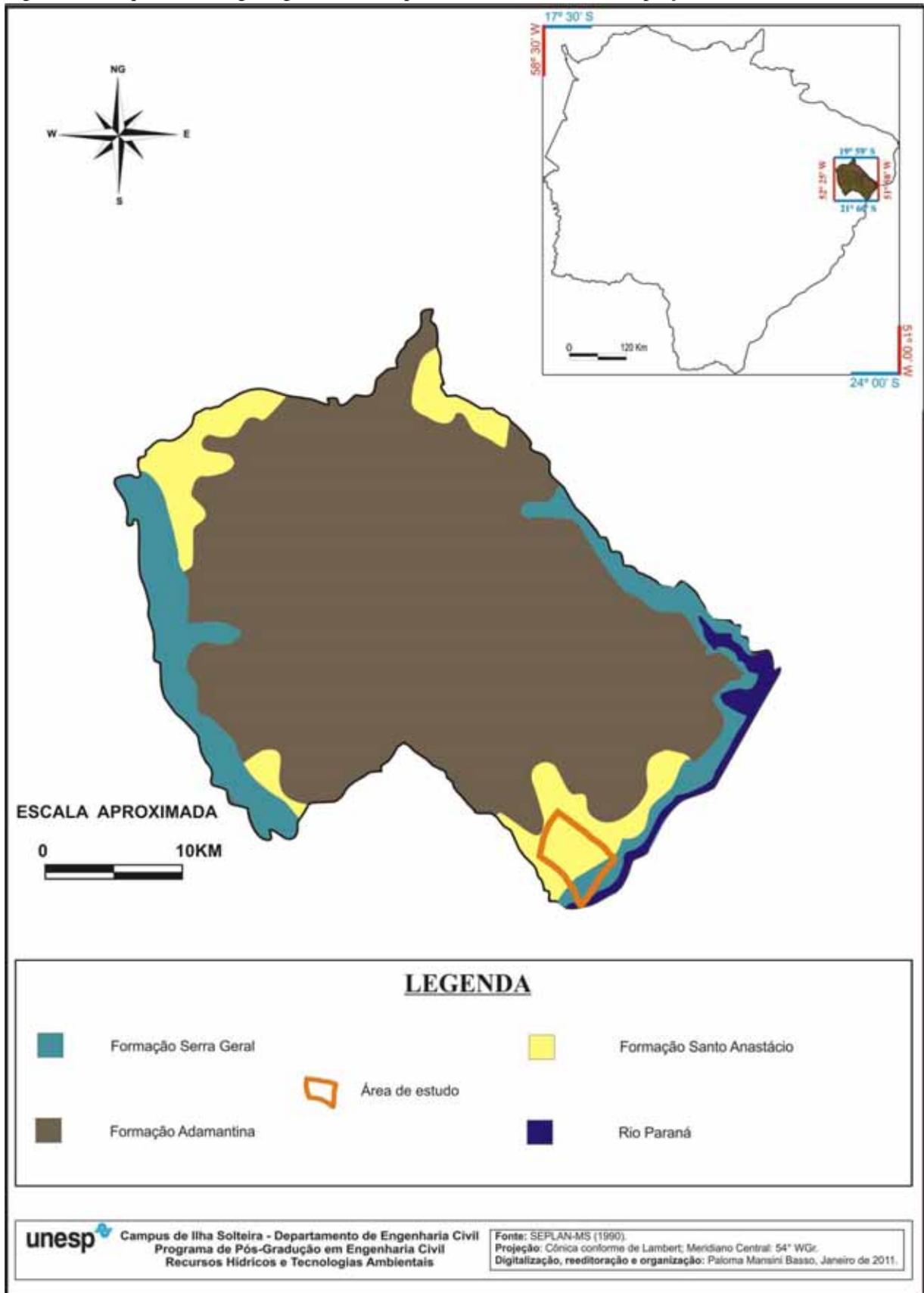
4.2. GEOLOGIA

O contexto geológico tem um papel marcante e decisivo na qualidade da ocupação e aproveitamento dos recursos naturais, que compreendem desde os solos onde se planta e se constrói, até os recursos energéticos e matérias primas industriais. Considerando o município de Selvíria como a abrangência, as unidades geológicas presentes pertencem às formações Adamantina, Santo Anastácio e Serra Geral. E na área de empréstimo estudada se observa a presença das formações Serra Geral na encosta do Rio Paraná e Formação Santo Anastácio (Figura 49).

As Formações Adamantina e Santo Anastácio perfazem o Grupo Bauru originado no período Cretáceo, sendo a formação Adamantina composta por arenitos de finos à médios, de colorações variando entre cinza-róseo, cinza-esbranquiçado a amarelo-esbranquiçados, com grãos subarredondados a subangulosos, e matriz pouco argilosa e pouco consistente.

A Formação Santo Anastácio é composta em sua parte inferior por um arenito cinza-pardo, vermelho-arroxeadado ou creme, envolto por película himonitizada, com granulação fina e esporadicamente média a grosseira, mostrando cimento síltico e carbonático, com tênues intercalações síltico-argilosas, tornando-se mais espessas para cima. Superiormente, ocorre um arenito fino a médio, creme-avermelhado ou pardacento, com selecionamento médio. A Formação Serra Geral é constituída por derrames basálticos de cores verdes e cinza-escuro, localmente vítreas, granulação fina a média, afanítica. Localmente, apresenta camadas areníticas finas fortemente recristalizados pelo contato com os derrames.

Figura 49 – Enquadramento geológico do município de Selvíria e da área em apreço.



Fonte: Adaptado de SEPLAN, 1990.

4.3. SOLOS

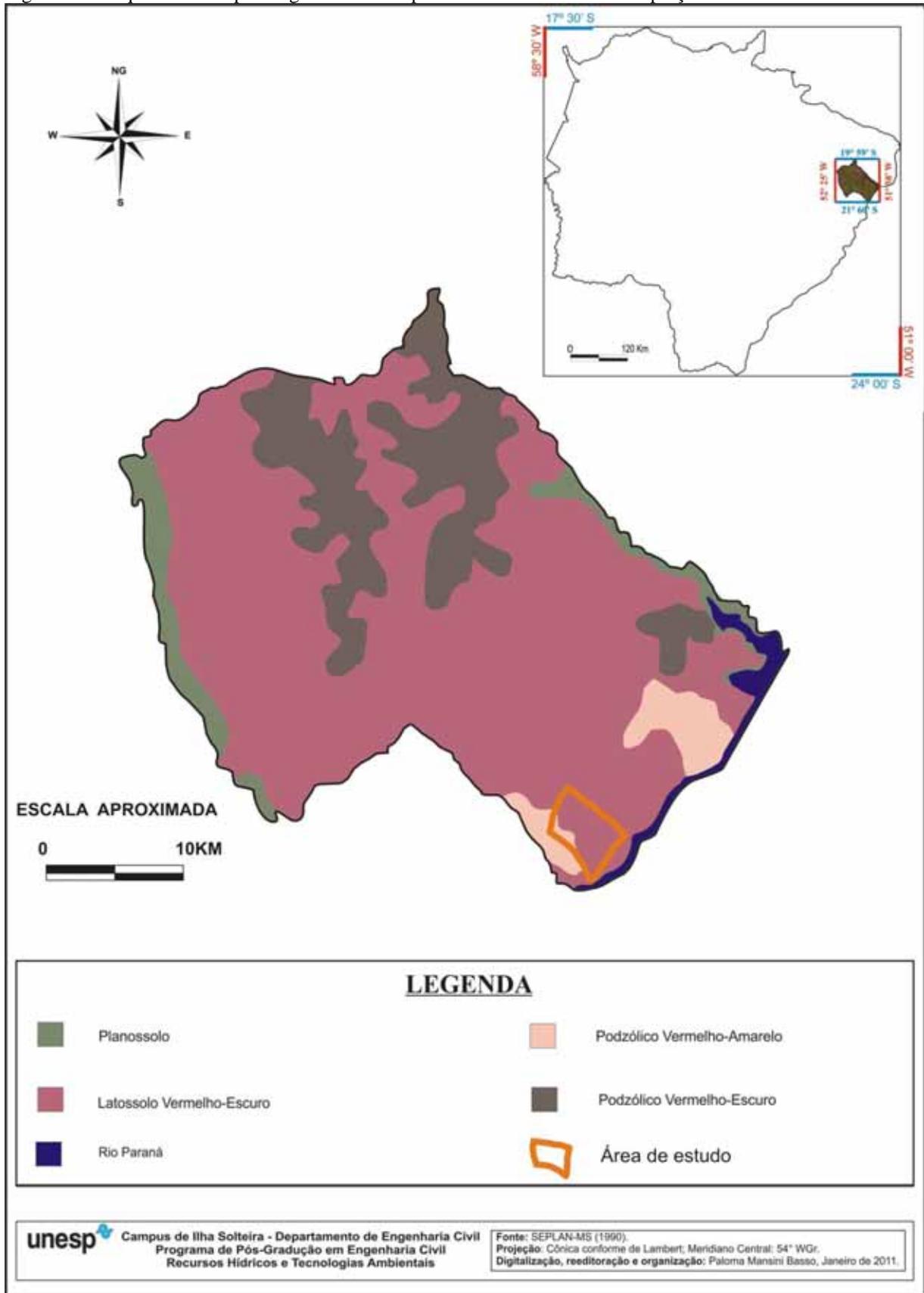
Grande parte do município de Selvíria apresenta Latossolo Vermelho Escuro (SEPLAN, 1990) altamente intemperizado com horizonte B latossólico. Em geral são profundos bem drenados, friáveis e bastante porosos. Essa é a classe de solo que predomina na área de empréstimo estudada.

Há ainda a ocorrência de Podzólico Vermelho Escuro bem desenvolvido e profundo e, geralmente, bem drenados. Caracterizam-se pela diferença textural significativa que, na maioria das vezes, apresentam horizonte A e B e presença de cerosidade no horizonte subsuperficial, tanto nas superfícies verticais como nas horizontais. Na área a distinção de tais diferenças não é possível, pois as porções superficiais do perfil do solo foram escavadas para serem utilizadas como material de empréstimo para obras de engenharia.

Em outras porções do Município de Selvíria é possível observar a presença de Planossolos e Podzólicos Vermelho Amarelos profundos, bem drenados e, em alguns casos, com drenagem moderada.

A distribuição dos tipos de solo no Município de Selvíria e na área em estudo pode ser observada na Figura 50.

Figura 50 - Enquadramento pedológico do município de Selvíria e da área em apreço.



Fonte: Adaptado de SEPLAN, 1990.

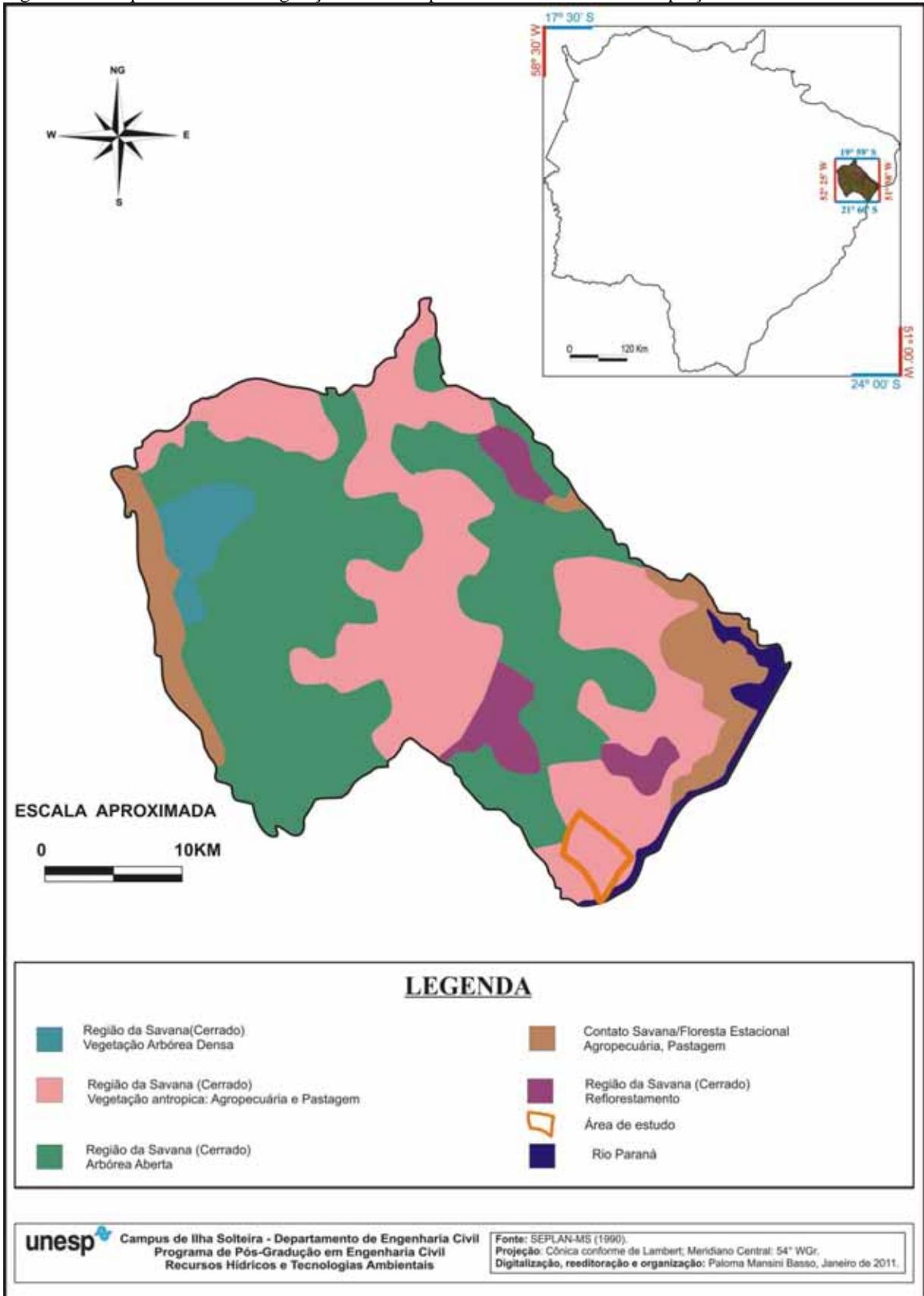
4.4. COBERTURA VEGETAL

A cobertura vegetal levantada por SEPLAN (1990) na região mostra duas classes, coberturas naturais e coberturas por ação antrópica, com várias subdivisões.

As coberturas naturais de Savana que ocorrem na área são Vegetação Natural Arbórea Densa, caracterizada como sendo uma formação campestre com estrato denso de árvores baixas, xeromórficas, de esgalhamento profuso, providas de grandes folhas coriáceas, perenes e casca corticosa, apresentando de maneira geral estratos definidos. Como se pode observar na Figura 51 é o tipo de cobertura vegetal que ocorre na área em estudo.

A cobertura vegetal antrópica é representada no município por Vegetação Antrópica Agropecuária e Pastagem, classificação mais disseminada na região devido à criação bovina. Apesar de sua ocorrência na área, em função das atividades realizadas na Fazenda de Ensino e Pesquisa da UNESP (onde se situa parte da área de empréstimo estudada) as dimensões de tais áreas de pastagem não permitem sua identificação na área em estudo.

Figura 51 – Enquadramento da vegetação do município de Selvíria e da área em apreço.



Fonte: Adaptado de SEPLAN, 1990.

CAPÍTULO 5

RESULTADOS E DISCUSSÕES

As classificações das imagens de satélite foram realizadas por meio dos dois métodos já descritos (classificação tradicional por máxima verossimilhança e a classificação por meio do Modelo Linear de Mistura Espectral). Para cada um dos métodos foram testadas as técnicas de classificação por pixel e por regiões. Na figura 52, observa-se uma imagem sintética oriunda da composição 342 das bandas do sensor CCD das imagens CBERS com resolução espacial de 20 metros, sendo destacada em laranja a delimitação da área em estudo.

Figura 52 – Composição R3 G4 B2 de resolução de 20m.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Com o intuito de gerar produtos comparativos entre as diferentes técnicas e métodos utilizados para as classificações das imagens orbitais, foram consideradas apenas três classes de alvos. Sendo estas a distinção entre Recursos Hídricos, Vegetação e Solo.

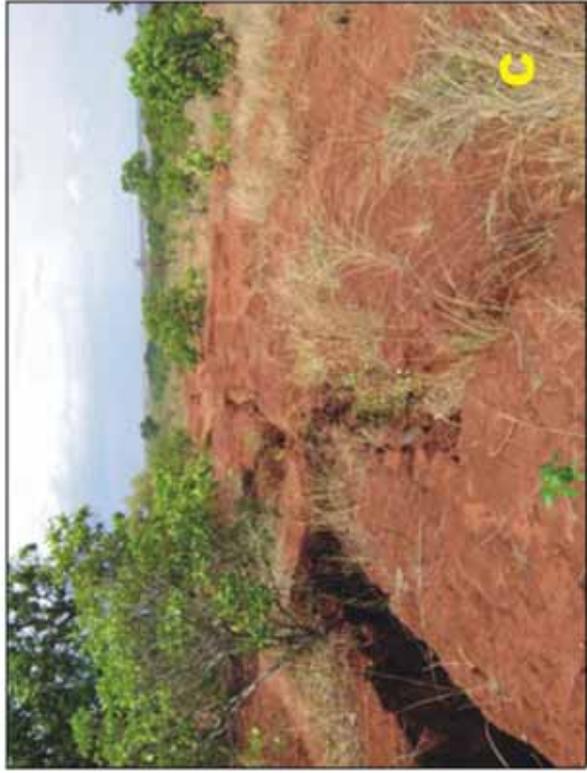
Tal decisão foi importante para excluir dos conjuntos de treinamento usados no processo de classificação, áreas ou pixels cuja identificação não estivesse claramente inclusa em uma destas três classes.

Sem tal cuidado correria o risco de incluir no conjunto de treinamento áreas mistas ou que descaracterizassem o uso do Modelo Linear, tornando-o inviável para a pesquisa.

Esta premissa foi fundamental porque a área em estudo, assim como outras áreas remanescentes do uso para empréstimo de solo apresentam porções com diferentes estágios de degradação (Figura 53), recuperação natural ou induzida pelo homem, o que faz com que a classificação dos alvos seja complexa, justificando assim a utilização de técnicas como o Modelo Linear de Mistura.

Na Figura 53, a foto A representa com clareza a diferenciação das características do local, onde ao fundo apresenta área preservada naturalmente e o restante degradado pela remoção do solo e vegetação; B elucida pequenas áreas preservadas ou que encontram-se em estágios de recuperação natural; a foto C trás o processo de ravinamento que é bem característico da área, uma vez que há intensa remoção de solo e; a foto D representa áreas do local que em sensoriamento remoto são considerados como campo sujo e na maioria das vezes torna a classificação mais complexa.

Figura 53 –Diferentes estágios de degradação ou recuperação do local.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Com as saídas à campo, observou-se que em determinadas parcelas da área estudada existem processos de recuperação antrópica (Figura 54), fruto de outras pesquisas realizadas na Fazenda de Ensino e Pesquisa da UNESP – Campus de Ilha Solteira, as quais não foram passíveis de diferenciação via sensoriamento remoto pelas imagens de satélite utilizadas nesta pesquisa daquelas áreas em processo natural de recuperação (Figura 55).

Importante ressaltar que por meio do campo, constatou-se que esta mistura de áreas em processos diferentes de recuperação não identificável nas análises deste estudo, ocorre essencialmente ao fator da escala e à forma de cultivo das espécies utilizadas, uma vez que as áreas em processo de recuperação induzida apresentam pequenas dimensões (dezenas de metros) e um padrão de vegetação que mistura espécies arbóreas de diferentes alturas e outras espécies de vegetação rasteira cujo padrão em imagem reproduz quase exatamente a vegetação natural de cerrado em processo de recuperação.

Acredita-se que a diferença essencial entre as áreas em processo de recuperação natural e induzida (padrão regular geométrico da vegetação arbustiva cultivada) só seria identificável em grandes áreas ou pelo uso de imagens oriundas de sensores com resolução espacial ainda maior que a câmara HRC, situação comum em outros tipos de imageamento quando se pretende a identificação de padrões regulares de vegetação de pequeno a médio porte com grande porção de solo exposto entre as árvores.

Figura 54 – Áreas com recuperação antrópica.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 55 - Áreas com recuperação natural.



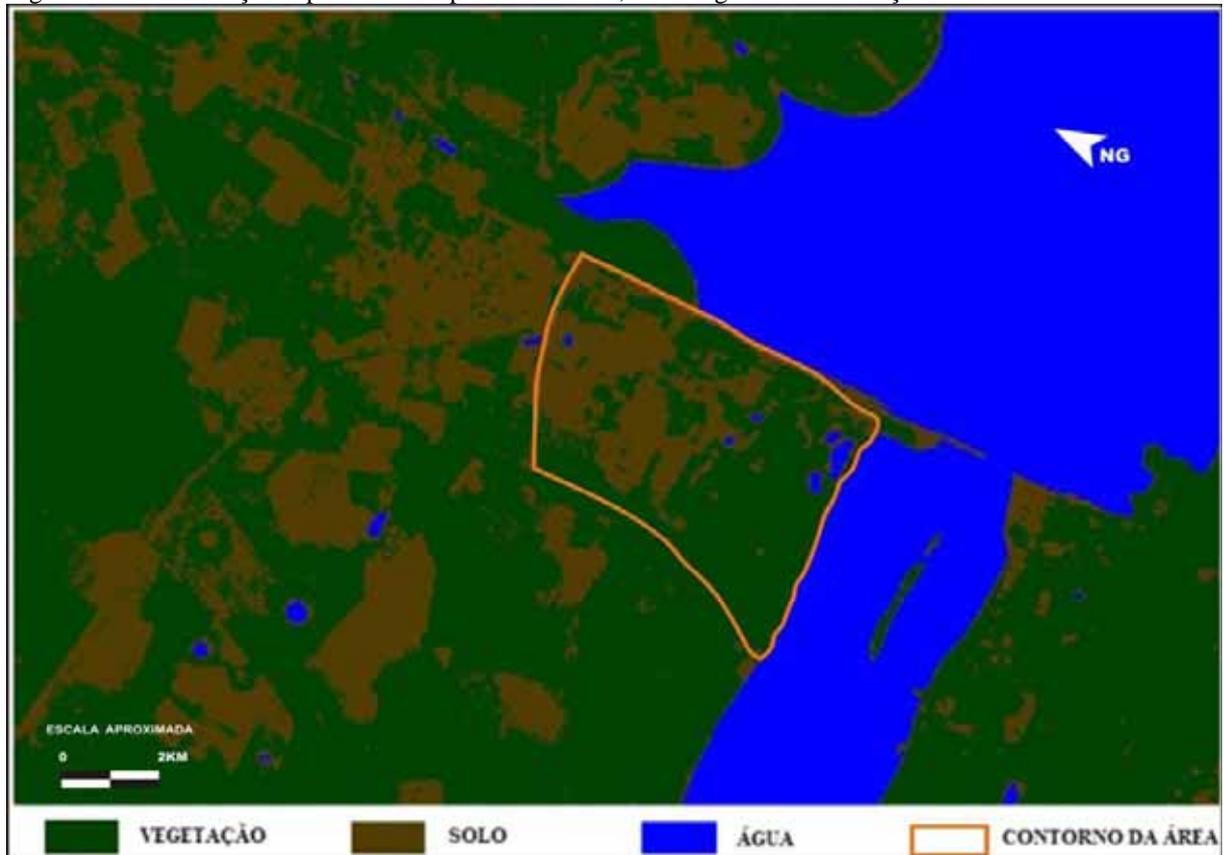
Fonte: Elaboração da própria autora.

5.1. CLASSIFICAÇÕES TRADICIONAIS DAS IMAGENS CCD DO CBERS-2– 20 M

A seguir são observados os resultados das classificações realizadas pelo método de Máxima Verossimilhança usando-se os processos de classificações por Pixels (Figura 56) e por Regiões (Figura 57).

Quando se observa os resultados das duas classificações (Figura 58) feitas com as bandas do sensor CCD com resolução espacial de 20 metros, para a área em estudo fica evidente que as duas classificações não apresentam diferenças significativas.

Figura 56 - Classificação supervisionada pelo MAXVER, nas imagens com resolução de 20 m.



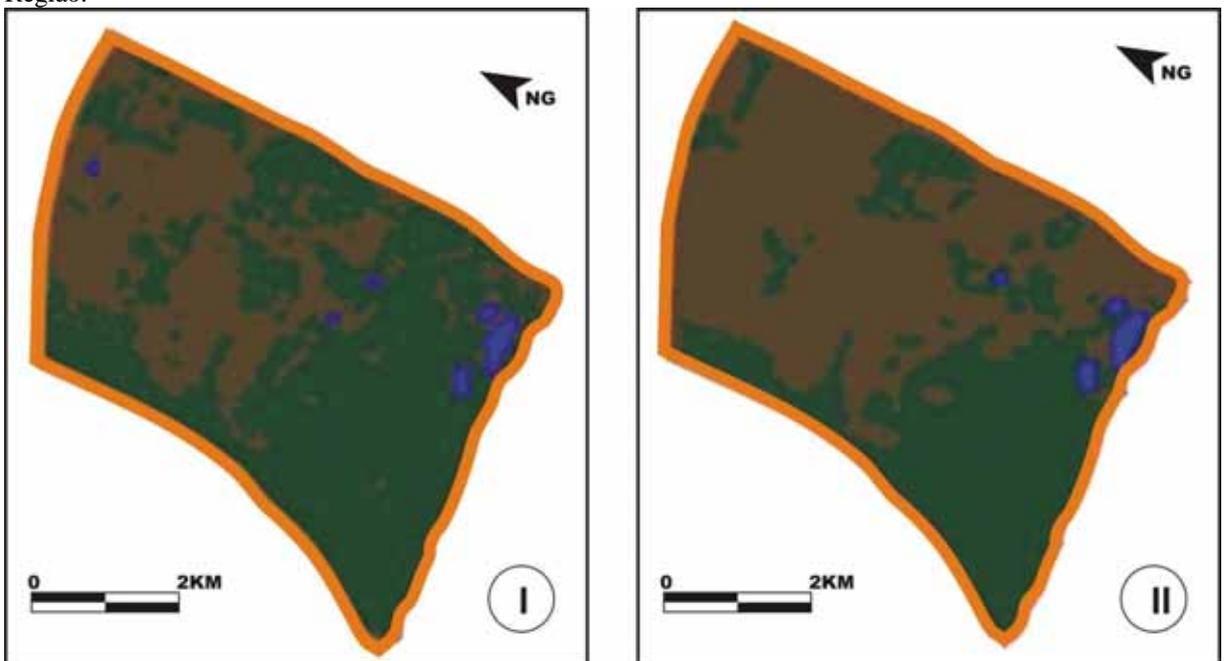
Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 57 – Classificação por região, nas imagens com resolução de 20m.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 58 – Resultado das classificações tradicionais nas imagens com resolução de 20m. I – por Pixel e II – por Região.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Há pequenas diferenças entre as duas classificações na Figura 58, mas as parcelas da área classificadas como “solo” é praticamente as mesmas. Visto que na classificação por Regiões há maior continuidade destas áreas, na qual este fato era esperado e conhecido da literatura já que a amostragem de áreas maiores no conjunto de treinamento gera menor confusão na identificação de padrões visto tais áreas apresentarem mais variações nas respostas espectrais que os pixels puros.

No controle de campo foi possível observar que existem parcelas da área de empréstimo em variados estágios de degradação.

Parte significativa da área foi alvo de escavações bastante profundas que removeram todo o horizonte B do solo tornando a recuperação natural inviável (os pontos A da Figura 61) e que, em áreas com maiores declividades e encostas com perfil convexo o que facilitou a instalação de processos erosivos representados por extenso ravinamento (Figuras 59) e eventual desenvolvimento de voçorocas (Figuras 60). Como exemplo de áreas com tais características têm-se os pontos A representado na Figura 61.

Nesta mesma figura 61, constatam-se no ponto B a existência de parcelas que ainda conservam vegetação arbórea original bastante densa e que não foram alvo de escavação devido a dificuldades operacionais relacionadas ao relevo local (porções mais elevadas da área e com declividades mais acentuadas) pela pequena espessura de solo no perfil (áreas com substrato basáltico quase aflorante). A Figura 62 também ilustra uma destas situações.

Vale ressaltar que tanto no campo como nas imagens de satélite a definição dos limites entre essas duas categorias é relativamente fácil, dada a grande diferença na cobertura vegetal visualizada nas Figuras 62 e 63.

Figura 59 - Processo de ravinamento em áreas com intensa remoção de solo.



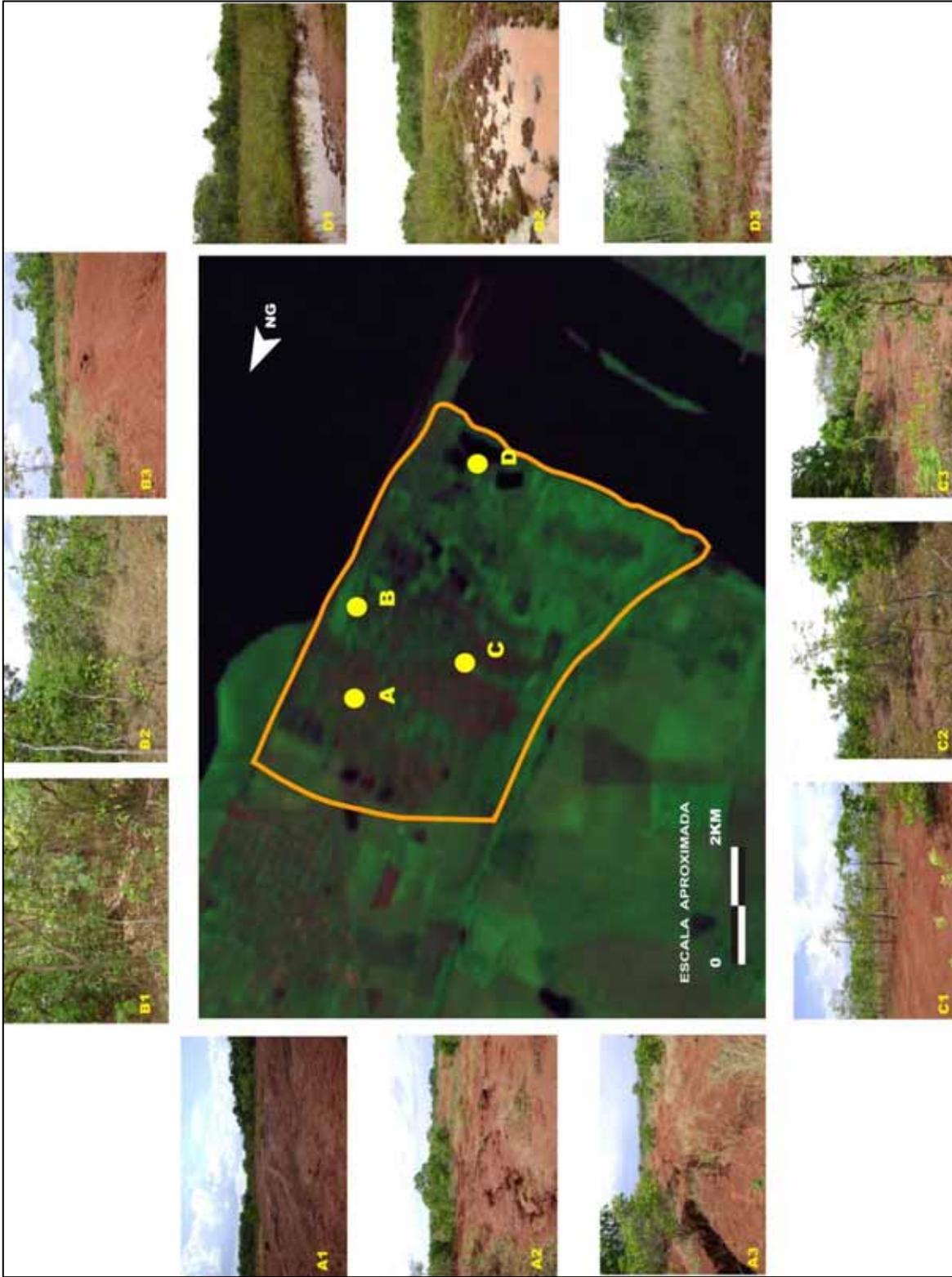
Fonte: Elaboração da própria autora

Figura 60 - Voçorocas desenvolvidas em áreas bastante escavadas.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 61 – Localização de alguns pontos característicos da área de estudo.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 62 – Ao fundo área preservada e a frente fortemente degradada.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 63 - Parcela da área sem escavação do solo e que conserva vegetação original.



Fonte: Elaboração da própria autora.

O terceiro estágio de degradação de parcelas da área corresponde à parcelas em processo de recuperação (natural ou induzida), Nessas áreas parte da vegetação rasteira ou arbórea já se instalou e a distinção visual de qual condição prevalece é praticamente impossível, seja em trabalhos de campo ou de sensoriamento remoto. O ponto “C” na Figura 61 representa esta situação, que é ilustrada também nas Figuras 54 e 55.

Como mencionada anteriormente, a identificação das áreas em processo de recuperação é a principal dificuldade no uso de classificação de imagens para identificar áreas degradadas. Uma vez que a resposta espectral mista destes alvos faz com que às vezes os mesmos sejam identificados como áreas degradadas e outras como áreas não degradadas em função das características da imagem usada e, principalmente, da densidade da vegetação e sua tonalidade em função de maior absorção de água do solo em períodos de maior precipitação pluviométrica.

Por esta razão optou-se por verificar o potencial de uso do MLME para a classificação das imagens e será apresentado nos itens seguintes.

5.2. CLASSIFICAÇÕES COM MLME NAS IMAGENS DE RESOLUÇÃO DE 20M

A seguir apresenta-se a imagem sintética gerada após a aplicação do Modelo Linear de Mistura Espectral nas bandas CCD da imagem CBERS-2 com resolução espacial de 20m (Figura 64). Após a aplicação do MLME a imagem foi classificada segundo o método de Máxima Verossimilhança com as técnicas de classificação por Pixels (Figura 65) e por Regiões (Figura 66).

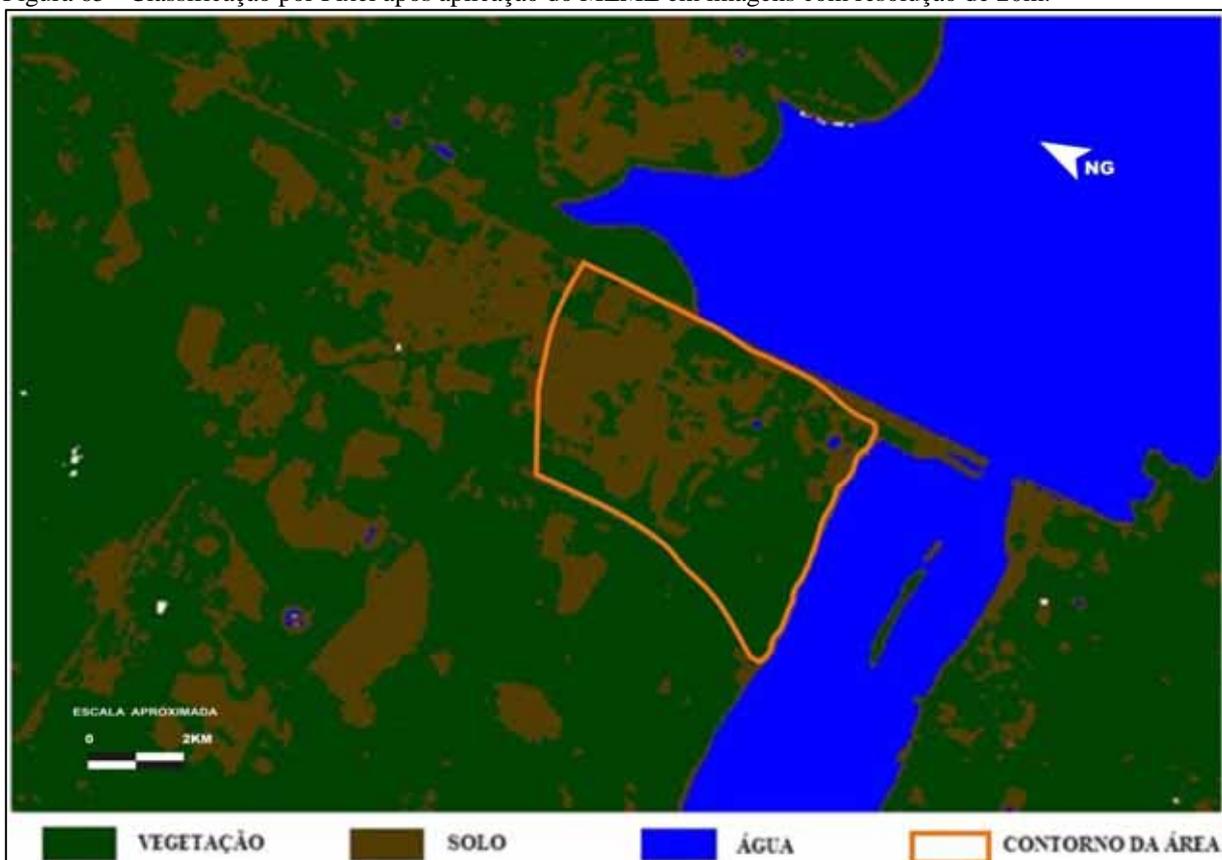
A classificação por pixels pelo MLME nas imagens CBERS-2, resultou uma representação de maior continuidade das áreas degradadas em processo de recuperação (referente ao ponto C da Figura 61) se comparada à classificação das mesmas imagens sem uso do MLME (Figura 67). Isso apresenta a vantagem de ser possível identificar áreas degradadas (mesmo que em processo de recuperação) como tais e não como áreas vegetadas, porém a desvantagem refere-se ao fato de que tais áreas são representadas de forma contínua independentemente do nível de recuperação que apresentam.

Figura 64 - Imagem sintética gerada após a aplicação do modelo linear de mistura espectral nas bandas CCD com resolução espacial de 20m.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 65 - Classificação por Pixel após aplicação do MLME em imagens com resolução de 20m.



Fonte: Elaboração da própria autora.

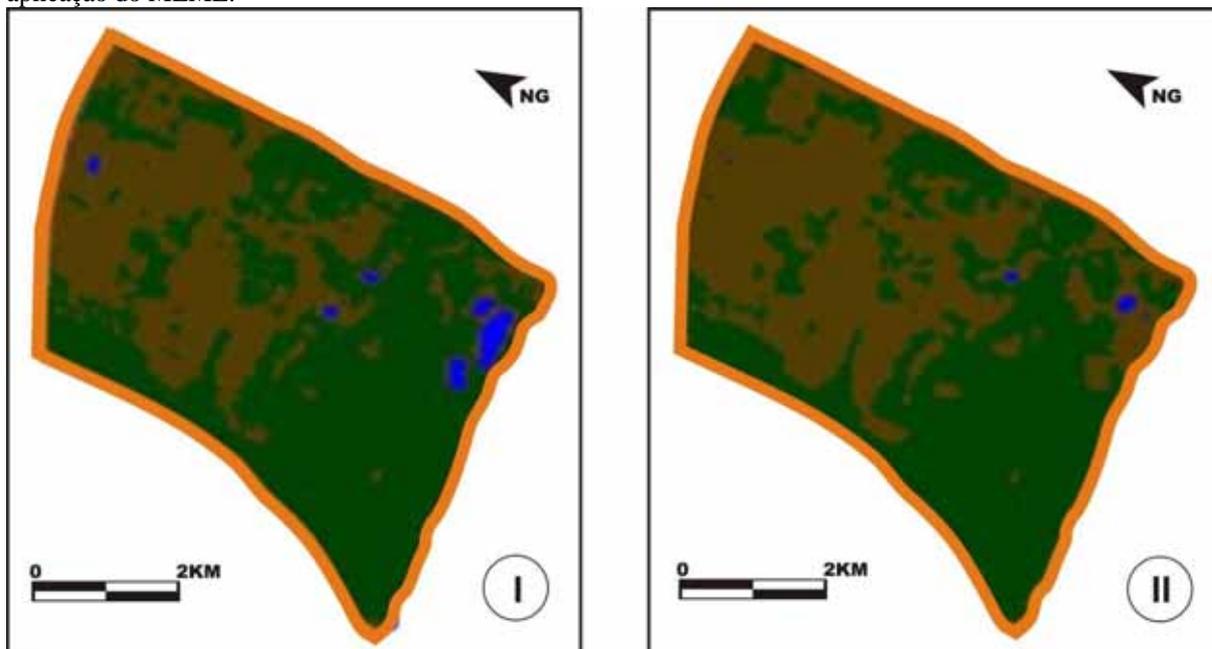
No caso da classificação por região (Figura 66), se observa uma continuidade ainda maior das áreas identificadas como degradadas em relação à classificação por região sem aplicação do MLME (Figura 68) e às classificações por pixels (Figura 67).

Figura 66 - Classificação por Região após aplicação do MLME em imagens com resolução de 20m.



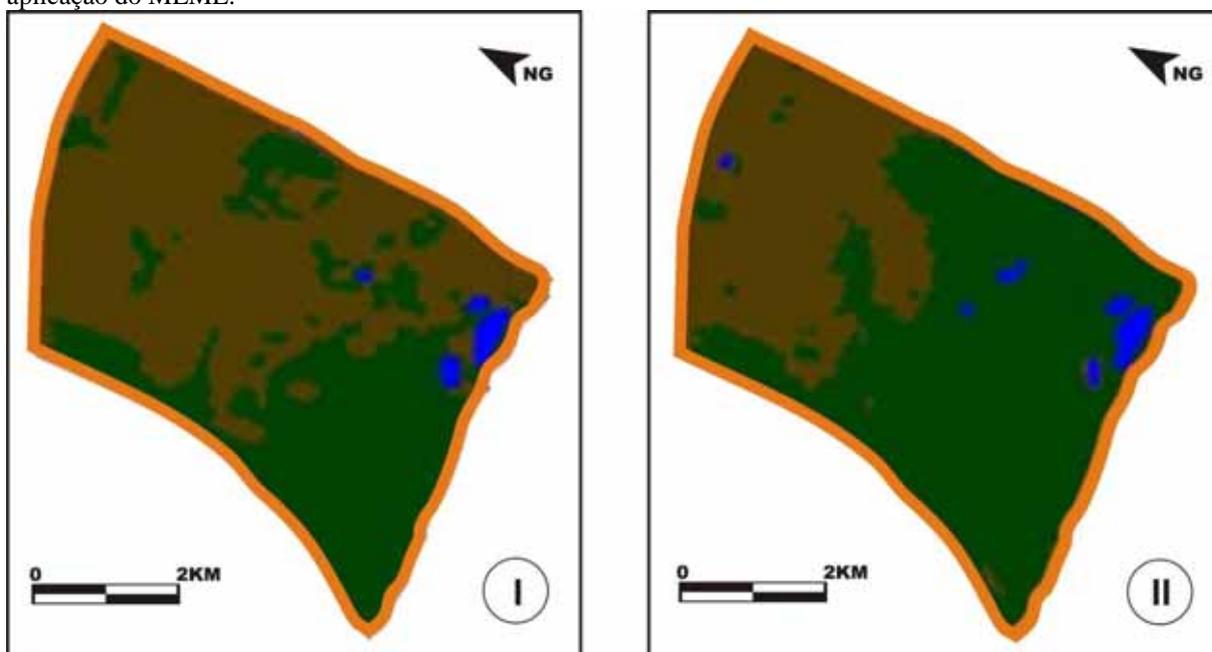
Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 67 – Comparação das classificações por Pixel em imagens de 20m. I sem aplicação do modelo e II com aplicação do MLME.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 68 – Comparação das classificações por Região em imagens de 20m. I sem aplicação do modelo e II com aplicação do MLME.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Esta continuidade na classificação por região com a aplicação do modelo, se deve ao fato, já descrito, de que as áreas utilizadas nos conjuntos de treinamento são maiores resultando representações mais uniformes das respostas espectrais dos alvos o que pode acentuar o efeito generalizador de representação das áreas em processo de recuperação.

Considerando que as dificuldades de classificação de áreas em processo de recuperação poderiam ser fruto da mistura espectral presente nos pixels da imagem e que tal efeito ficaria ainda mais acentuado no caso de pixels maiores, foi utilizada a técnica de fusão de imagens CBERS 2B dos sensores CCD e HRC como forma de se obter uma imagem fusionada com resolução espacial de 2,5m, ou seja, uma resolução espacial significativamente maior.

5.3. CLASSIFICAÇÕES TRADICIONAIS NAS IMAGENS DE RESOLUÇÃO ESPACIAL DE 2.5 m

Após a aplicação do processo de fusão entre as imagens dos sensores CCD e HRC do satélite CBERS 2B obteve-se a imagem sintética apresentada na Figura 69.

Figura 69 – Imagem sintética resultante da fusão nas bandas do sensor CCD com a imagem do sensor HRC, resolução espacial de 2,5m.



Fonte: Elaboração da própria autora.

A classificação por pixel usando o método de máxima verossimilhança obtida com a imagem de resolução espacial de 2.5m (Figura 70), quando confrontada com as observações de campo mostra aumento na identificação das áreas em processo de recuperação se

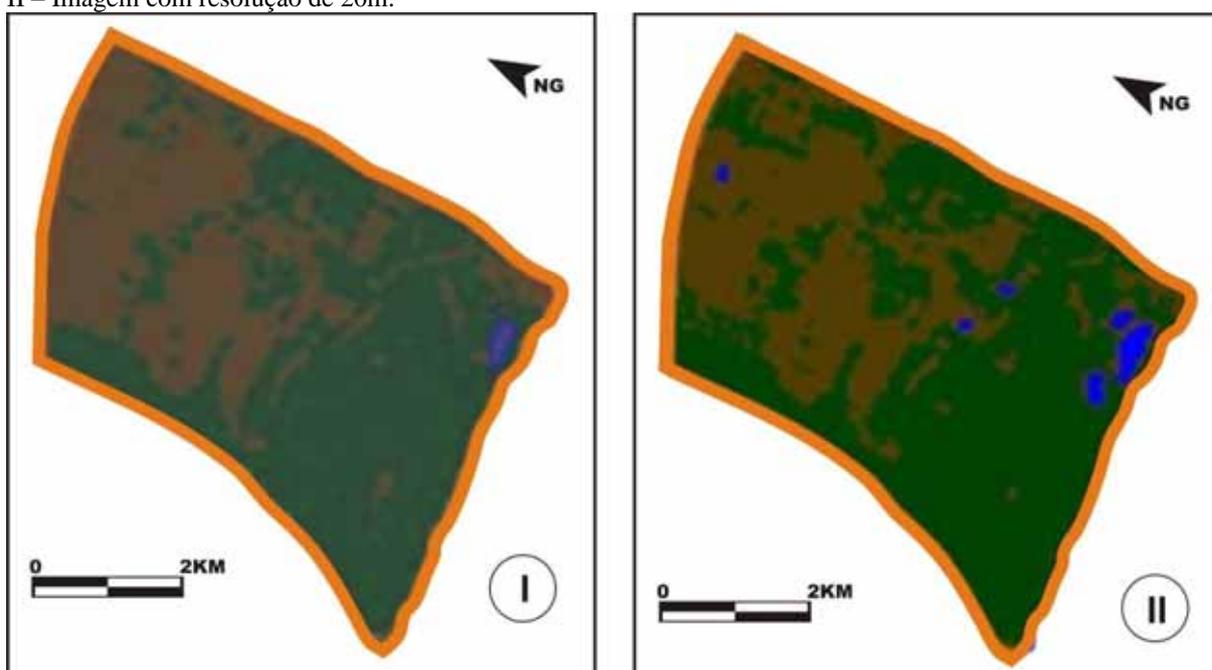
comparada ao mesmo método quando aplicado às imagens com menor resolução espacial - 20m (Figura 71).

Figura 70 – Classificação tradicional por pixel na imagem fusionada com resolução de 2.5m.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Figura 71 – Comparação de classificações tradicionais por Pixel. I – Imagem Fusionada com resolução de 2.5m. II – Imagem com resolução de 20m.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Isso é algo esperado, uma vez que com pixels de menores dimensões as parcelas individualizadas em termos de resposta espectral também são menores, permitindo maior eficiência no reconhecimento de áreas com menores dimensões vizinhas e distintas entre si.

No entanto, tal processo de classificação também mostrou um aspecto negativo, as áreas úmidas (áreas alagadas com lâmina d'água pouco espessa como as ilustradas no ponto D da Figura 61 e na Figura 72) em virtude da tonalidade da água resultante de muito sedimento em suspensão por assoreamento foram erroneamente classificadas como solo exposto, ou seja, áreas degradadas.

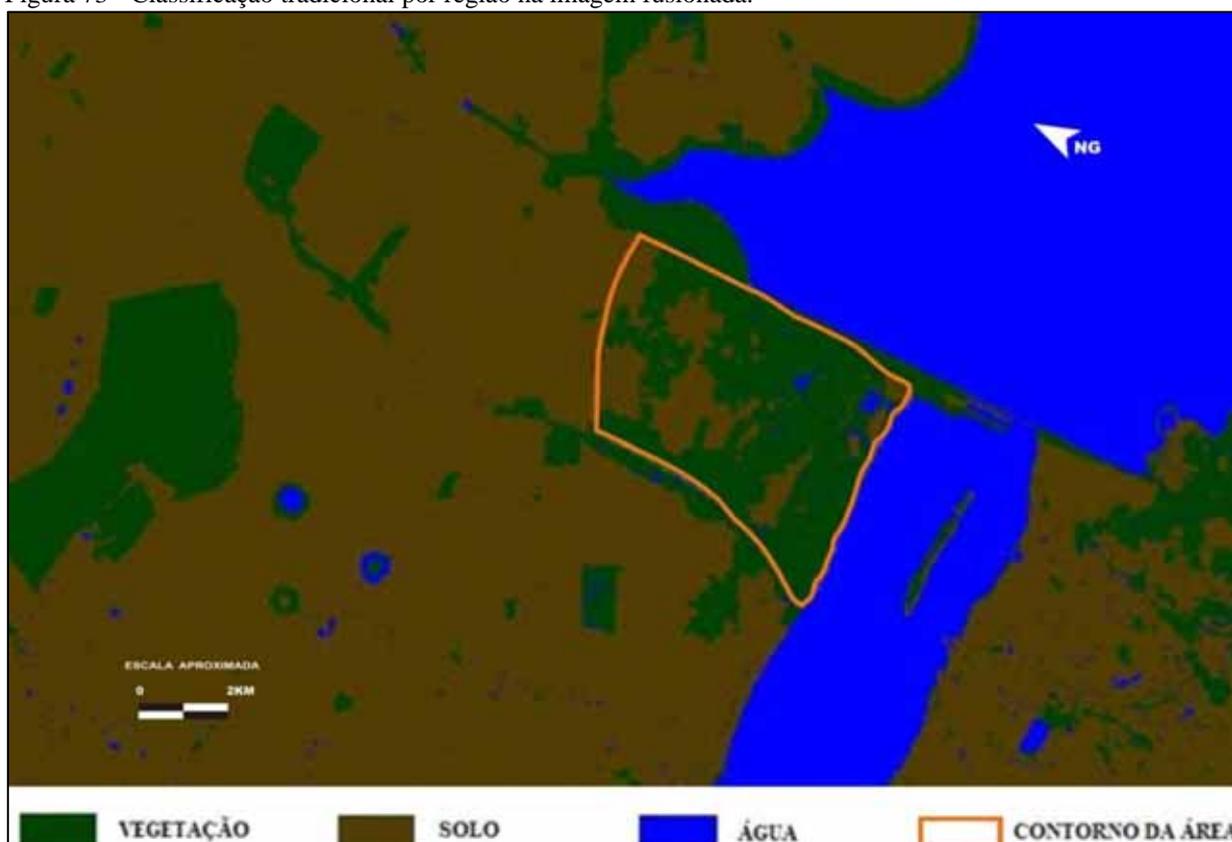
Figura 72 – Áreas úmidas



Fonte: Elaboração da própria autora.

Enquanto que a classificação por região (Figura 73) mostra maior continuidade das áreas identificadas como solo fora da área de estudo. E certa inversão no local estudado, ou seja, maior continuidade de áreas vegetadas.

Figura 73 - Classificação tradicional por região na imagem fusionada.



Fonte: Elaboração da própria autora.

Porém, nesse caso, se observa a predominância da classe água sobre a classe solo, fato que provavelmente se deve as dimensões da área, ou seja, em áreas alagadas com dimensões maiores (classificação por regiões) a resposta espectral da água se sobressai em relação ao efeito dos sedimentos em suspensão.

Tal efeito também é notado em reservatórios rasos e áreas alagadas quando se verifica que a dimensão da área usada como elemento de treinamento e a resolução espacial do produto interferem na identificação de áreas assoreadas ou com maior carga de sedimentos em suspensão.

5.4. CLASSIFICAÇÕES DAS IMAGENS FUSIONADAS COM APLICAÇÃO DO MLME

Após a aplicação do processo de fusão entre as imagens dos sensores CCD e HRC do satélite CBERS-2B e a aplicação do MLME obteve-se a imagem sintética apresentada na Figura 74.

Figura 74 - Imagem sintética com aplicação do MLME e resolução espacial de 2.5m.



Fonte: Elaboração da própria autora.

No caso da classificação por pixel (Figura 75) foi possível notar melhor precisão na identificação de pequenas áreas degradadas ou em processo de degradação, resultado que pode ser explicado pela maior resolução espectral da imagem associada à capacidade da técnica de tratar com pixels misturados.

Trabalhos de campo indicam uma tendência de que a combinação de MLME com imagens de maior resolução reconheça como áreas em processo de recuperação, aquelas áreas com cobertura vegetal de cerrado, especialmente se a vegetação rasteira for menos densa. Essa pode ser uma situação de difícil solução em áreas de cerrado em períodos de seca, o que pode indicar a preferência por imagens de meses chuvosos para tais análises.

Nesse caso, pode ainda ocorrer outro problema, o uso de imagens de períodos chuvosos limita a disponibilidade de imagens com baixa cobertura de nuvens. O uso combinado de imagens de satélite com outros sensores (radar, por exemplo) pode ser alternativa interessante nestes casos.

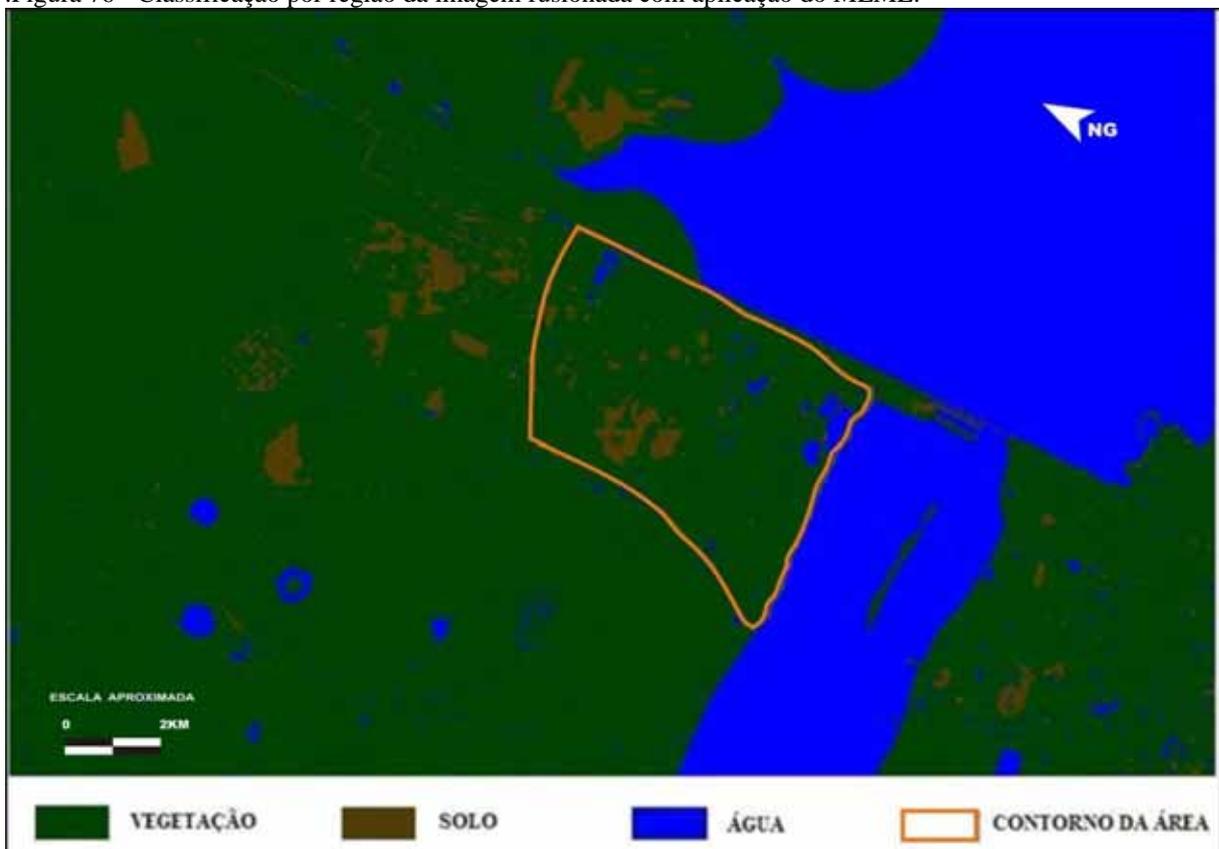
O uso da técnica de classificação por regiões em imagens fusionadas com maior resolução espacial (2,5m) com o modelo linear de mistura espectral resultou uma classificação irreal para a área em estudo (Figura 76).

Figura 75 - Classificação por pixel da imagem fusionada com aplicação do MLME.



Fonte: Elaboração da própria autora.

.Figura 76 - Classificação por região da imagem fusionada com aplicação do MLME.



Fonte: Elaboração da própria autora.

O processo foi feito diversas vezes e apresentou o mesmo resultado sem evidências de sua causa. Essa permanece uma situação a ser mais bem estudada, visto não se encontrar na literatura exemplo similar ou hipótese viável para explicá-la.

CAPÍTULO 6

CONCLUSÕES

Em geral, menor resolução espacial permite melhor definição para classificação de pixels puros (sem mistura) podendo ser usada para identificar as condições extremas da área – com ou sem degradação. Nesse caso, a classificação por pixels pode ser ainda mais interessante, pois a classificação por regiões tende a apresentar um efeito generalizador, agrupando pixels similares em função dos elementos do conjunto de treinamento apresentar uma resposta espectral que corresponde à média das respostas individuais. Vale ressaltar que para a classificação por pixel é importante que a área em estudo seja de dimensões pequenas devido à maneira pixel a pixel necessária para eficiência na amostragem.

A utilização no MLME para classificar imagens de maior resolução espacial (2.5m) tende a permitir a classificação de áreas em processo de recuperação como “áreas degradadas – solo” ao invés de áreas vegetadas, isso é interessante porque torna possível a distinção das áreas em processo de recuperação, ou seja, que sofreram degradação no passado, daquelas não degradadas. Tal efeito é mais notado no processo de classificação por pixels, onde a menor dimensão das áreas identificadas (dimensão de pixel) facilita a identificação da ocorrência de solo exposto entre os pontos vegetados (áreas menores que a unidade de identificação – pixel). Quando a mesma classificação é feita por regiões, a maior dimensão da área analisada (associação de vários pixels) resulta em forte efeito de generalização com visível aumento das áreas identificadas como “vegetação”.

No geral, tanto para MV como para MLME, a classificação por pixel se mostrou melhor para retratar a realidade da área do que a classificação por região (Apêndices A, B e C).

O uso do MLME se mostrou melhor na classificação das áreas em processo de recuperação, em particular quando aplicado às imagens com maior resolução espacial.

Para uso em situações similares sugere-se que a classificação por máxima verossimilhança venha a ser útil especialmente em reconhecimentos preliminares, em particular, quando o objetivo for identificar as áreas preservadas da degradação ou corpos d'água contínuos.

Para estudos detalhados visando identificar áreas em processo de recuperação com menores dimensões, o uso do MLME associado a imagens com maior resolução espacial mostrou-se foi mais eficiente.

A distinção entre estágios de recuperação não foi possível no presente trabalho. Na qual se este for o intuito, o uso de imagens de maior resolução (1m ou mais) associadas a representações tridimensionais do terreno com grande resolução (como GPS de alta resolução ou scanners terrestres - Lidar) para levantamento do relevo local pode ser uma alternativa viável apesar dos altos custos que podem estar envolvidos no processo.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABEL, N. O. J and BLAIKIE, P.M. **Land degradation, stocking rates and conservation policies in the communal rangelands of Botswana and Zimbabwe**. Land Degradation and Rehabilitation 1: 101-123, 1989.

ADAMS, J.B., D.E. SABOL, V. KAPO, R.A. FILHO, D.A. ROBERTS, M.O. SMITH, e A.R. GILLESPIE, (1995). **Classification of multispectral images based on fractions of endmembers**: application to land cover change in the Brazilian Amazon, Remote Sensing of Environment, 52:137–154.

AGUIAR, A. P. D.; SHIMABUKURO, Y. E.; MASCARENHAS, N. D. A. Use of synthetic bands derived from mixing models in the multispectral classification of remote sensing images. **International Journal of Remote Sensing**, v. 20, p. 647-657, 1999.

AJARA, C. et al. **Geomorfologia e Questão Ambiental**. Rio de Janeiro: IBGE, 1993.

ALMEIDA, R. O. P. O.; SÁNCHEZ, L.E. **REVEGETAÇÃO DE ÁREAS DE MINERAÇÃO: CRITÉRIOS DE MONITORAMENTO E AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO**. Viçosa-MG, v.29, n.1, p.47-54, 2005.

ANDRADE, Karoline Rosalen, DE PAULA, Vitor Aparecido, VILLELA, Patrícia Almeida, MESQUITA, Adailson Pinheiro. **Problemas relacionados aos pontos de parada do transporte público nas cidades de porte médio**. IV Seminário Internacional da LARES. São Paulo, Brasil, 2004.

ASNER, G. P.; LOBELL, D. B. A bio geophysical approach for automated SWIR unmixing of soil and vegetation. Remote Sensing of Environment 74, p 99-112, 2000.

ASNER, G. P., KELLER, M., PEREIRA, R., ZWEEDE, J. C. Remote sensing of selective logging in Amazonia Assessing limitations based on detailed field observations, Landsat ETM+, and textural analysis. **Remote Sensing of Environment**, 80, 483-496, 2002.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 6502: Rochas e solos – Terminologia**. Rio de Janeiro, 1995. 18 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **NBR 10.703: Degradação do solo: terminologia**, Rio de Janeiro, 1989.

_____. **Elaboração e apresentação de projeto de reabilitação de áreas degradadas pela mineração**. NBR.13030. Rio de Janeiro: ABNT, 1999.

BARRETO, P., & SOUZA Jr., CARLOS. Controle do desmatamento e da exploração de madeira na Amazônia: diagnóstico e sugestões. Ministério do Meio Ambiente. Instituto Brasileiro de Recursos Naturais Renováveis. PPG7/Promanejo. **Relatório Técnico do Componente III**. Belém, PA. Novembro de 2001.

BARROS, L. C de. et al. Utilização de imagens espectrais de média resolução espacial na análise da expansão urbana do município de Betim (RMBH) por meio de modelo de mistura. **Anais XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, Florianópolis, Brasil, 21-26 abril 2007, INPE, p. 5099-5106.

BAUAD, Pascal, BOUGEAT, Serge, & BRAS, Catherine – **Dicionário de Geografia**. Lisboa. Plátano Edições Técnicas. 1997.

BERGER A. R. & IAMS W. J. (eds). **Geoindicators: Tools for Assessing Rapid Changes in Earth Systems**. Balkema, Rotterdam, 1996.

BERTRAND, G. **Paisagem e geografia física global: esboço metodológico**. Cadernos de Ciências da Terra, São Paulo, n. 13, 1971.

BITAR, O.Y. & BRAGA, T.O. O meio físico na recuperação de áreas degradadas. In: BITAR, O.Y. (Coord.). **Curso de geologia aplicada ao meio ambiente**. São Paulo: Associação Brasileira de Geologia de Engenharia (ABGE) e Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 1995. cap. 4.2, p.165-179.

BOARDMAN, J. W., KRUSE, F. A., & GREEN, R. O. Mapping target signatures via partial unmixing of AVIRIS data: **In summaries**, FIFTH JPL AIRBORNE EARTH SCIENCE WORKSHOP, JPL Publications 95-1, v.1, pp.23- 26. Allen, E. (1990). .Government Development Policies and Deforestation in Brazil Amazon Region .Mahar, Dj..Third World Quarterly 12(1):229-235, 1995.

BRANCO, M. L. G. C & O'NEILL, M. M. V. C. **A distribuição espacial de infra-estrutura social no Brasil: o abastecimento de água e a coleta de lixo**. In: MESQUITA, Olinda Vianna e SILVA, Solange Tietznm (Orgs.). **Geografia e questão ambiental**. Rio de Janeiro: IBGE. p. 85-113, 1993.

BRASIL. LEI Nº 6.938, DE 31 DE AGOSTO DE 1981 - Dispõe sobre a Política Nacional do Meio Ambiente, seus fins e mecanismos de formulação e aplicação, e dá outras providências. Disponível em: <http://www.lei.adv.br/6938-81.htm>. Acesso em 20/02/2009.

BRIGUENTI, E.C. **O uso de geoindicadores na avaliação da qualidade ambiental da bacia do Ribeirão Anhumas, Campinas/SP**. Campinas/SP: UNICAMP, 2005. Dissertação de mestrado.

BRYANT, R.G. 1996. **Validated linear mixture modeling of Landsat TM data for mapping evaporite minerals on a playa surface: methods and applications**. International Journal of Remote Sensing, vol. 17, 2: 315-330.

CÂMARA, G.; DAVIS, C.; MONTEIRO, A. M. **Introdução a ciência da geoinformação**. [S.l.: S.n.], 2001. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/gilberto/livro/introd/>. Acesso em: 25 maio de 2010.

CÂMARA, G; QUEIROZ, G. R. **Arquitetura de Sistemas de Informação Geográfica e Fundamentos de Geoprocessamento**: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 2001.

CÂMARA, G; MONTEIRO, A.M.V., MEDEIROS, J.S. **Representações computacionais do espaço**: Um diálogo entre a geografia e a ciência da informação. São José dos Campos: DPI/INPE, 2000. mimeo.

CÂMARA, G.; SOUZA, R. C. M.; FREITAS, U. M.; GARRIDO. J.; LI, M. F. **SPRING: integrating remote sensing and GIS with object-oriented data modeling. Computers and Graphics.** v. 15, p. 13-22, 1996.

CAMPANA, N. A.; EID, N. J. Monitoramento do uso do solo. In: PAIVA, J. B. D. de; PAIVA, E. M. C. D. de (Org.). **Hidrologia aplicada à gestão de pequenas bacias hidrográficas**. Porto Alegre. Associação Brasileira de Recursos Hídricos (ABRH), 2003. Cap. 18. p. 507-530

CAMPANI, V.; KIANG, C. Caracterização hidroquímica dos aquíferos da bacia de Taubaté. **Revista Brasileira de Geociências**. São Paulo, 2002. p.5-15.

CASSETTI, V. **Ambiente e apropriação do relevo**, 2ª ed. São Paulo: Contexto, 1995.

CATTANIO, M. B. & LORENZ-SILVA, J. L., 1987. Geologia e Geomorfologia de Três Lagoas, Mato Grosso do Sul. *Revista Científica e Cultural da UFMS*. Campo Grande, 2 (2): 36-38.

CESP. **Ilha Solteira: a cidade e a usina**. São Paulo: CESP, 1988.

CHRISTÓFARO I. S. I & NUNES, J. H. **Reabilitação de Caixas de Empréstimo Laterais – Uma Abordagem Interdisciplinar**, In: SEMINÁRIO NACIONAL: A VARIÁVEL AMBIENTAL EM OBRAS RODOVIÁRIAS. Foz do Iguaçu, 1999. Anais... Editado por Edson Roberto Blanchet, Maurício Balensiefer, Nívea Ribeiro Menegazzo e Rosana Scaramella. Curitiba: FUPEF, 1999. 508 p.

COCHRANE, M. A. 1999. **Forest Fire, Deforestation and Landcover Change in the Brazilian Amazon**. In: Crossing the Millenium: Integrating Spatial Technologies and Ecological Principles for a New Age in Fire Management. Neuenschwander, L.F. e K.C. Ryan (Technical Editors).Conference Proceedings.Boise, Idaho (EUA).Disponível em: <http://jfsp.nifc.gov/conferenceproc/Ma-03Cochrane.pdf>.

COSTA, P.da; COSTA, M.C.G.; ZILLI J.E.; TONINI, H. Recuperação de Áreas Degradadas e Restauração Ecológica de Ecossistemas: Definições e Conceitos. Boa Vista: Embrapa Roraima, 2005.

CRÓSTA, A. P. **Processamento digital de imagens de sensoriamento remoto**. Campinas: IG/UNICAMP, 1992. 170 p.

CRUZ, S. P. da. et. al. PROPOSTA DE GEOINDICADORES PARA AVALIAÇÃO DA DEGRADAÇÃO EM ÁREAS DE EMPRÉSTIMO. Uberlândia: 6º Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, 04 a 06 de Junho de 2007. p.752 – 764.

CRUZ, S. P. **Avaliação da degradação do meio físico por áreas de empréstimo usando geoindicadores e sistema de informações geográficas - Área urbana de Ilha Solteira (SP).** Ilha Solteira/SP: UNESP, 2008. Dissertação de mestrado.

CRUZ, S. P.; TAVARES, A. B.; LOLLO, J. A. Proposta de geoindicadores para avaliação da degradação em áreas de empréstimo. In: Simpósio Brasileiro de Cartografia Geotécnica e Geoambiental, VI, ABGE, Urberlândia, 2007. **Anais...**, ABGE, CD Rom.

DAVIDE, ANTÔNIO C. **Seleção de Espécies Vegetais para Recuperação de Arcas Degradadas.** Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas – SINRAD, 1999.

DRAKE, N.A., S. MACKIN, and J.J. SETTLE. 1999. Mapping vegetation, soils, and geology in semi-arid shrublands using spectral matching and mixture modeling of SWIR AVIRIS imagery. *Remote Sens. Environ.*, 68:12-25.

DIAS, L. E.; GRIFFITH, J. J. Conceituação e caracterização de áreas degradadas. In: Dias, L. E.; J. W. V. M (Ed.). **Recuperação de áreas degradadas.** Viçosa: UFV, Departamento de Solos; Sociedade Brasileira de Recuperação de Áreas Degradadas, 1998. p.1-7.

ESPÍNDOLA, E.L.G. et. al. – **A Bacia Hidrográfica do Córrego Monjolinho.** RIMA. USP-Escola de Engenharia de São Carlos. São Carlos, 2000.

FARIA, S. M. de. Reabilitação e Sustentabilidade Ambiental de Áreas degradadas com a Utilização de Plantas Associadas a Microrganismos Simbióticos. Disponível em: <www.ambientebrasil.com.br>.

FERNANDES, M. C. **DIAGNÓSTICO DO PROCESSO DE DEGRADAÇÃO AMBIENTAL NA BACIA HIDROGRÁFICA DO CÓRREGO DA MATA NEGRA, NOVA GRANADA (SP).** Monografia na área de Bacharel em Geografia. Universidade Federal de Mato Grosso do Sul, Três Lagoas/MS, 2008.

FERREIRA, M. E. et al. Uso do modelo linear de mistura espectral para o mapeamento sistemático e operacional do bioma Cerrado: possibilidades, implicações e procedimentos. In.: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 11., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2003. p. 657-664.

FERREIRA, L.G.; YOSHIOKA, H.; HUETE, A.R.; SANO, E.E. 2002. **Seasonal landscape and spectral vegetation index dynamics in the Brazilian Cerrado: An analysis within the Large Scale Biosphere-Atmosphere Experiment in Amazonia (LBA).** LBA special issue, *Remote Sensing of Environment (in press)*.

FLORENZANO, Tereza Gallotti. **Imagens de Satélite para Estudos Ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002.

GARCIA, G.J. Sensoriamento Remoto: Princípios e Interpretação de Imagens. Nobel, São Paulo, 1982. p.357.

GLUFKE, CLARICE. **Espécies Florestais Recomendadas para Recuperação de Arcas Degradadas.** Fundação Zoobotânica do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 1999.

GUERRA, A.J.T. e MARÇAL, M.S. **Geomorfologia Ambiental**. Bertrand Brasil, Rio de Janeiro, 2006.189p.

GUERRA, A. J. T. **Geomorfologia – Uma atualização de bases de conceitos**, 3ª ed. Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 1998.

HOLBEN, B.N.; SHIMABUKURO, Y.E. 1993.**Linear Mixing Model applied to coarse spatial resolution data from multispectral satellite sensors**. International Journal of Remote Sensing, vol. 14, 2231-2240.

INSTITUTO BRASILEIRO DO MEIO AMBIENTE E DOS RECURSOS NATURAIS RENOVÁVEIS, **Manual de recuperação de áreas degradadas pela mineração**. Brasília, DF, 1990. 96 p.

IBAMA. **Manual de Reabilitação de Arcas Degradadas**. 1990.

INSTITUTO BRASILEIRO DE MINERAÇÃO – IBRAM. Comissão Técnica de Meio Ambiente. Grupo de Trabalho de redação. Brasília, 1992.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS - INPE. **Manual de ajuda do SPRING**. São José dos Campos, 2003.

IP - INTERNATIONAL PAPER DO BRASIL LTDA. **Relatório de Estudo Ambiental – EIA Fábrica Três Lagoas**. Três Lagoas MS: (S. N.), 2006. p. 23 - 70 (Documento interno da empresa InternationalPaper).

IP - INTERNATIONAL PAPER DO BRASIL LTDA. **Relatório de Impacto Ambiental – RIMA Fábrica Três Lagoas**. Três Lagoas MS: (S. N.), 2006. p. 35 - 43 (Documento interno da empresa InternationalPaper).

JENSEN, J. (2000). **Remote Sensing of the Environment: An Earth Resource Perspective**. New Jersey: Prentice Hall.

KAGEYAMA, PAULO. et al. **Revegetação de Arcas Degradadas: Modelos de Consorciação com Alta Diversidade**. Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas – SINRAD, 1994.

KAWAKUBO, F. S.; MORATO, R. G.; MIDAGLIA, C. L.; GOMIDE, M. L. C.; LUCHIARI, A. Land use and vegetation-cover mapping of a indigenous land are in the state of Mato Grosso (Brazil) based on spectrallinear mixing model, segmentation and region classification. **GeocartoInternational**. v. 25, n. 2, p. 165-175, 2009.

KESSELRING, A. E. B. & KESSELRING, R. C. S. **Reabilitação de Caixas de Empréstimo Laterais – Uma Abordagem Interdisciplinar**, In: SEMINÁRIO NACIONAL: A VARIÁVEL AMBIENTAL EM OBRAS RODOVIÁRIAS. Foz do Iguaçu, 1999. Anais... Editado por Edson Roberto Blanchet, Maurício Balensiefer, Nívea Ribeiro Menegazzo e Rosana Scaramella. Curitiba: FUPEF, 1999. 508 p.

KOPEZINSKI, ISAAC. **Mineração X Meio Ambiente: Considerações Legais, Principais Impactos Ambientais e Seus Processos Modificadores.** Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Ed. da Universidade. Porto Alegre, 2000.

LEIPNITZ et al. Para trábalo com microfósseis e formas atuais. Em: **Cadernos La Salle.** Canoas. V2. N 1, 2005. p. 49 – 58.

LEPSCH, I. F. **Solos: Formação e conservação.** São Paulo: Melhoramentos, 1993. 157 p.

LICKS, PAULO CÉSAR. et al. **AVALIAÇÃO DO PROCESSO EROSIVO EM ÁREA DEGRADADA POR EMPRÉSTIMO DE SOLO COM A INTRODUÇÃO DE Paspalumnotatum.** REVISTA DE CIÊNCIAS AMBIENTAIS, Canoas, v.2, n.2, p. 5 a 23, 2008.

LINN, S. B.; OLIM, A.; GALVÃO, L. S. Avaliação do modelo de Mistura Espectral com Múltiplos Membros de Referência (MESMA) aplicado aos dados hiperespectrais Hyperion/EO-1 da Planície Costeira do Rio Grande do Sul. **Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p.** 1119-1126.

LOLLO, J. A.; RÖHM, S. A. **Aspectos negligenciados em estudos de impacto de vizinhança.** Estudos Geográficos, Rio Claro, v. 3, n. 2, p. 31- 45, dez. 2005.

LORENZ-SILVA, J.L. **O Espongilito de Três Lagoas, MS. Registro e Caracterização com ênfase em Micropaleontologia.** 170 p. Tese de Doutorado em Geologia,. UNISINOS: São Leopoldo, RS. 2003.

MAAS, S. J. **Linear mixture modeling approach for estimating cotton canopy ground cover using satellite multispectral imagery.** Remote Sensing of Environment, New York, v. 72, p. 304-308, 2000.

MACHADO, K. J; SOARES, E. G. S; CARVALHO, L. T; Mello, M. P. de; VIEIRA, C. A. O. **AVALIAÇÃO DO USO DO MODELO LINEAR DE MISTURA ESPECTRAL NA CLASSIFICAÇÃO DE IMAGEM ALOS.** II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação: Recife - PE, 8-11 de setembro de 2008.

MARCONDES, M. J. A. Cidade e meio ambiente: revendo conceitos. In: **Cidade e natureza.** Proteção dos mananciais e exclusão social. São Paulo: EDUSP, 1999, pp. 19-58.

MARCONDES, J. F. **Utilização do geoprocessamento na análise da susceptibilidade à erosão no assentamento São Manoel em Anastácio-MS.** Dissertação de Mestrado, Universidade Federal de Mato Grosso do Sul: Campus Universitário de Aquidauana, Departamento de Geociências, Aquidauana. 2001.

MAJER, J. D. Fauna studies and land reclamation technology: a review of the history and need for such studies. In: Majer, J. D. (Ed.) **Animals in primary succession: the role of fauna in reclaimed lands.** Londres: Cambridge University. 1989.

MASCHIO, LUCILA. et al. **Evolução, Estágio e Caracterização da Pesquisa em Recuperação de Arcas Degradadas no Brasil.** Simpósio Nacional de Recuperação de Áreas Degradadas – SINRAD, 1992.

MATO GROSSO DO SUL **Atlas multireferencial**. Secretaria Estadual de Planejamento e Coordenação Geral. Geologia. Campo Grande, 1990, p.10.

MONTEIRO, C. A. F. **Geossistemas: a história de uma procura**. São Paulo: Contexto, 2000.

MORAES NOVO, E.M.L. Sensoriamento Remoto: princípios e aplicações. São Paulo, Edgard Blucher, 1989. 308p.

MIURA, T.; HUETE, A. R.; FERREIRA, L. G.; SANO, E. E. Discrimination and biophysical characterization of cerrado physiognomies with EO-1 hyperspectral HYPERION. In: Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, 11. 2003, Belo Horizonte. **Anais**. São José dos Campos: INPE, 2003. p. 1077-1082. Repositório da URLib: <http://iris.sid.inpe.br/1908/rep/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.17.01.11>. Disponível em: <http://iris.sid.inpe.br:1908/rep/ltid.inpe.br/sbsr/2002/11.17.01.11

NOVO, Evelyn M. L. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. São Paulo: Edgard Blucher, 1992.

OECD Environment Directorate. **OECD Key Environmental Indicators**. France, Paris: OECD, 2003.

OKIN, G.S., W.J. OKIN, D.A. Roberts, B. MURRAY. 1998. Multiple endmember spectral mixture analysis: application to an arid/semi-arid landscape. Proceedings of the 8th Annual JPL Airborne Geoscience Workshop, Pasadena, California, USA.

OLIVEIRA, W. de. **Os impactos socio-ambientais motivados pela uhe porto primavera no município de Anaurilândia – MS**. 171 p. Tese de Doutorado em Geografia na área de concentração: Desenvolvimento Regional e Planejamento Ambiental, Universidade Estadual Paulista/Instituto de Geografia, Presidente Prudente, 2004.

PEDRINO, E. C. (2003). **Arquitetura Pipeline para Processamento Morfológico de Imagens Binárias em Tempo Real utilizando Dispositivos de Lógica Programável Complexa**. São Carlos. Dissertação de Mestrado. Escola de Engenharia de São Carlos (USP). Depto de Engenharia Elétrica.

PEDRINO, E. C. Morfologia Matemática Binária Aplicada ao Processamento de Imagens Digitais. In: II Jornada de Matemática, 2005, São Carlos, SP. UNICEP - 2005, 2005.

PEREIRA, K. M. T. et. al. **Reabilitação de Caixas de Empréstimo Laterais – Uma Abordagem Interdisciplinar**, In: SEMINÁRIO NACIONAL: A VARIÁVEL AMBIENTAL EM OBRAS RODOVIÁRIAS. Foz do Iguaçu, 1999. Anais... Editado por Edson Roberto Blanchet, Maurício Balensiefer, Nívea Ribeiro Menegazzo e Rosana Scaramella. Curitiba: FUPEF, 1999. 508 p.

PINTO, A. L. **Saneamento Básico e sua Implicações na Qualidade das Águas Subterrâneas da Cidade de Anastácio (MS)**. 1998. 175p. Tese (Doutorado e Geociências) – Universidade Estadual Paulista/Instituto de Geociências e Ciências Exatas, Rio Claro, 1998.

PINTO, S. A. F.; LOMBARDO, M. A. O Uso do Sensoriamento Remoto e Sistemas de Informações Geográficas no Mapeamento e Uso da Terra e Erosão do Solo. In: Congresso Brasileiro de Cartografia, 21., 2003, Belo Horizonte. **Anais...** Rio de Janeiro: Sociedade Brasileira de Cartografia, 2003.

REGO NETO, C. B. **A integração de geoindicadores e reparcelamento do solo na gestão ambiental urbana.** 2003. 231 f. Tese (Doutorado) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ROGAN, J.; FRANKLIN, J.; ROBERTS, D.A. 2002. A comparison of methods for monitoring multitemporal vegetation change using Thematic Mapper imagery. *Remote Sensing of Environmental*, 80: 143-156.

RÖHM, S.A. **O que é Sistemas de informações geográficas.** Universidade Federal de São Carlos. Departamento de Engenharia Civil, 2003.

ROBERTS, D.A.; Gardner M.; CHURCH, R.; USTIN, S.; SCHEER, G.; GREEN, R.O. Mapping chaparral in the Santa Monica Mountains using multiple endmember spectral mixture models. **Remote Sensing of Environment**, v. 65, n. 3, p. 267-279, 1998.

SABINS, F.F. **Remote Sensing: principles and interpretation** 3ª ed. New York, W.H. Freeman and Company, 494 p, 1997.

SÁNCHEZ, L. E. **Projetos de Recuperação: Usos Futuros e a Relação com a Comunidade.** In: ENCONTRO DE MINERAÇÃO NO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO: SITUAÇÃO ATUAL E PERSPECTIVAS, 1, São Paulo, 1994. **Anais...** PREFEITURA DO MUNICÍPIO DE SÃO PAULO, 1995.

SANTOS, L. C. A. dos. **Estudo da Bacia do Rio Paciência – MA por meio da análise cartográfica.** Qualificação (Mestrado em Geografia) Universidade Estadual Paulista. Faculdade de Ciências e Tecnologia, Campus de presidente Prudente, 2001.

SANTOS, M. **A Natureza do Espaço. Técnica e Tempo.** Razão e Emoção. 2º Edição. São Paulo: Hucitec, 1997.

SANTOS, A. R.; PELUZIO, T. M. O.; SAITO, N. S. **SPRING 5.1.2: passo a passo: Aplicações práticas.** Alegre: Ed. CAUFES, 2010.

SCHWEIK, C.M.; GREEN, G.M. **The use of spectral mixture analysis to study human incentives, actions, and environmental outcomes.** *Social Science Computer Review*. Thousand Oaks 17 (1): 40-63. 1999.

SCHOWENGERDT, R. A. **Remote sensing: models and methods for image processing.** New York: Academic Press, 1997. 2ª ed. 522 p.

SEPLAN, Atlas Multirreferencial. Secretaria de Planejamento e Coordenação Geral, Fundação IBGE, 1990.

SHIMABUKURO, Y. E.; MELLO, E. M. K.; MOREIRA, J. C.; DUARTE, V. **Segmentação e classificação da imagem sombra do modelo linear de mistura para mapear desflorestamento na Amazônia**. São José dos Campos: INPE, Jan. 1997. 16 p. (INPE-6147-PUD/029).

SHIMABUKURO, Y. E.; NOVO, E. M.; PONZONI, F. J. Índice de vegetação e modelo linear de mistura espectral no monitoramento da região do Pantanal. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, v. 33, p. 1729-1737, 1998.

SHIMABUKURO, Y.E.; SMITH, J.A. **Fraction images derived from Landsat TM and MSS data for monitoring reforested areas**. Canadian Journal of Remote Sensing, vol. 21, n. 1, p. 67-74, 1995.

SHIMABUKURO, Y.E.; SMITH, J.A. The least-squares mixing models to generate fraction images derived from remote sensing multispectral data. **IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing**, v.29, n.1, p.16-20, 1991.

SHIMAZAKI, Y.; TATEISHI, R. 2001. **Land cover mapping using spectral and temporal linear mixing model at Lake Baikal Region**. 22nd Asian Conference on Remote Sensing. 5 - 9 November 2001, Singapore.

SILVA, M. 2005. **The Brazilian Protected Areas Program**. In: Conservation Biology 19(3): 608-611.

SOKOLONSKI, H. H. (coord.), 1999, **Manual técnica de uso de terra**. Rio de Janeiro: IBGE. Departamento de Recursos Naturais e Estudos Ambientais; Primeira Divisão de Geociências do Nordeste, 58p. (Manuais técnicos em geociências, ISSN 0103-95-98; n.7).

SOUZA JR., C. e P. BARRETO. 2000. **An Alternative Approach for Detecting and Monitoring Selectively Logged Forests in the Amazon**. International Journal of Remote Sensing 21: 173-179

TAHAL Consulting Engineer Ltda. **Mapa hidrogeológico do Mato Grosso do Sul**. Escala 1: 2.000.000. Israel. SANESUL. 1998.

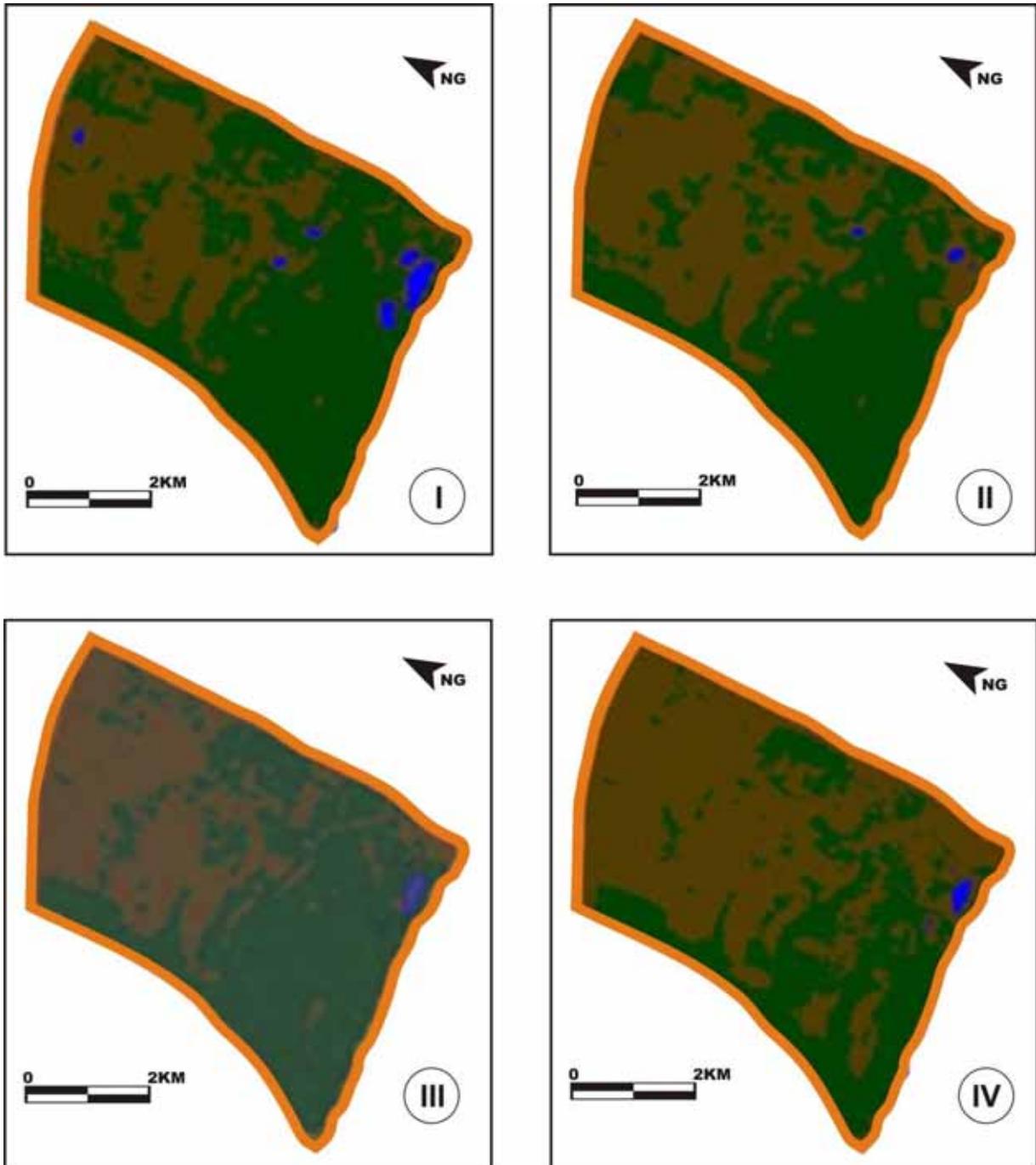
TAVARES, A. B. **Avaliação da Degradação do Meio Físico por Áreas de Empréstimo Utilizando Geoindicadores e Sistema de Informações Geográficas - Área de Expansão Urbana de Ilha Solteira (SP)**. Ilha Solteira, 2008. 192p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira - Universidade Estadual Paulista.

TAVARES, A. B.; CRUZ, S. P.; LOLLO, J. A. **Geoindicadores para a caracterização de estado de diferentes ambientes**. Estudos Geográficos, Rio Claro, v. 5, n. 2, p. 42-57, 2008.

TEIXEIRA, C. G. **Validação do modelo linear de mistura espectral em imagens ASTER/TERRA a partir de dados IKONOS**. São José dos Campos: INPE, 2004. 127p. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós Graduação em Sensoriamento Remoto, Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, São José dos Campos, 2004.

- VILLELA, S. M. & MATTOS, A. **Hidrologia aplicada**. São Paulo-SP: McGraw-Hill, 1975.
- ZHU, L.; TATEISHI, R. Application of linear mixture model to time series AVHRR NDVI data. 22nd Asian Conference on Remote Sensing. 5 - 9 November 2001, Singapore.
- ZUQUETE, L.V.; PEJON, O.J.; COLLARES, J.Q. S. Land degradation assessment based on environmental geoindicators in the Fortaleza metropolitan region, state of Ceará, Brazil. **Environmental Geology**, Springer, Berlin, v. 45, p. 408-425, 2004.
- WWF. Agenda Elétrica Sustentável 2020: **Estudo de cenários para um setor elétrico brasileiro eficiente, seguro e competitivo**. Coord. JANNUZZI, G. De M. . Brasília, 2006.

APÊNDICES



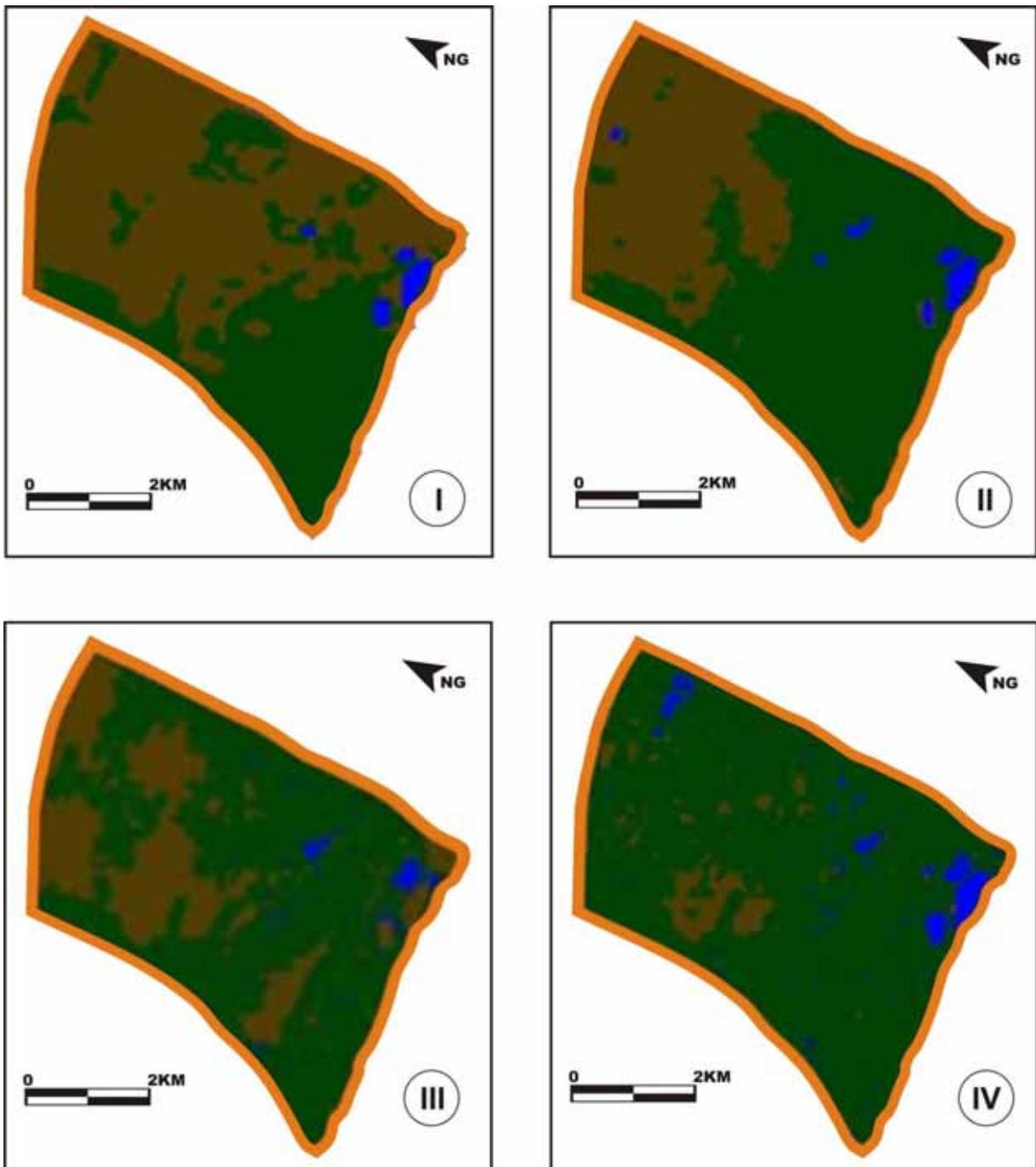
Apêndice A – Classificações por Pixel.

I – Imagens com resolução de 20 metros;

II – Após aplicação do MLME nas imagens com resolução de 20 metros;

III – Imagem fusionada com resolução de 2,5 metros;

IV – Imagem fusionada com resolução de 2,5 metros com aplicação do MLME.



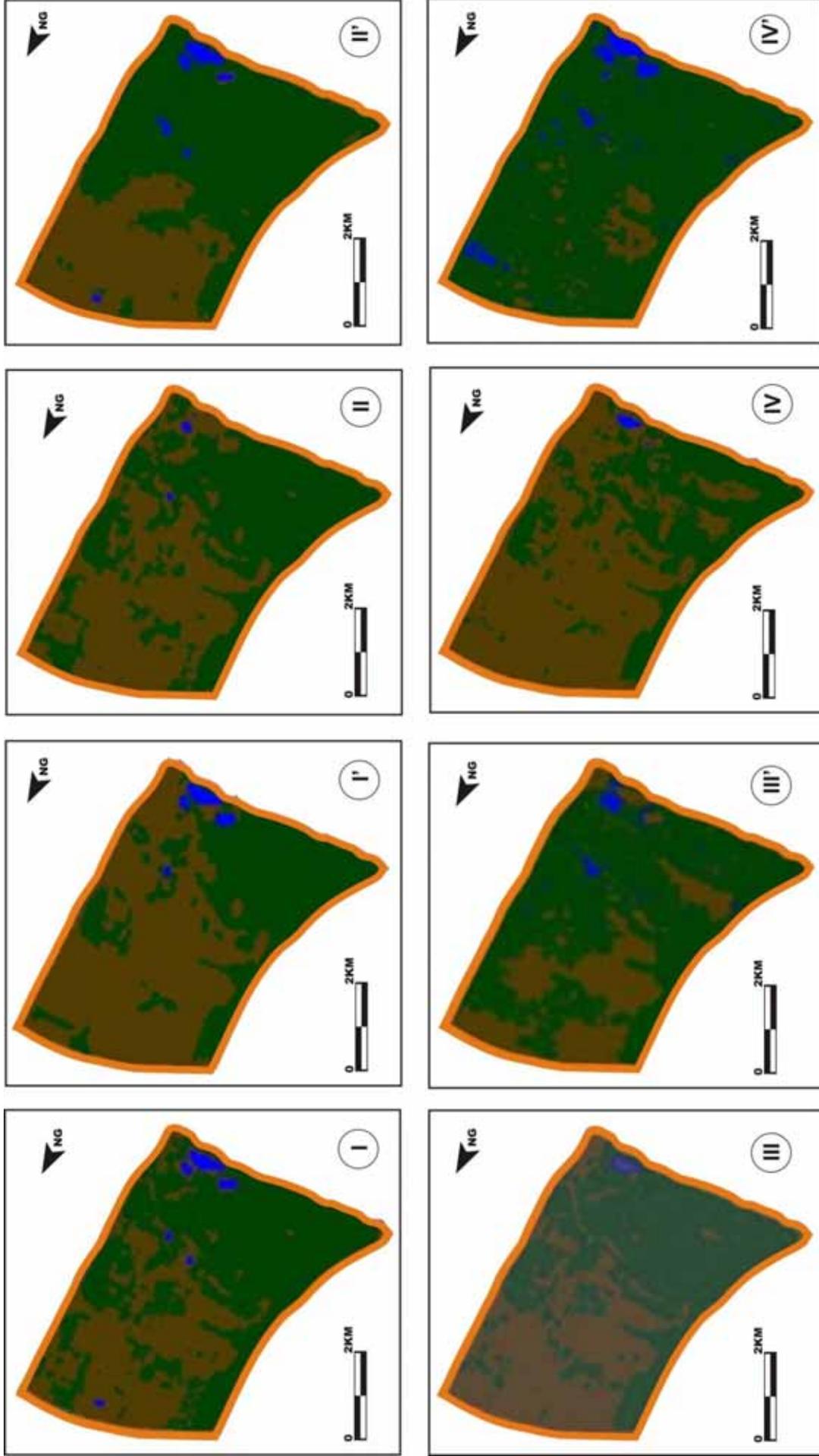
Apêndice B – Classificações por regiões.

I – Imagens com resolução de 20 metros;

II – Após aplicação do MLME nas imagens com resolução de 20 metros;

III – Imagem fusionada com resolução de 2,5 metros;

IV – Imagem fusionada com resolução de 2,5 metros com aplicação do MLME.



Apêndice C – Todas as classificações da área de estudo. I – Classificação por pixel nas imagens com resolução de 20 metros; II – Classificação por pixel após aplicação do MLME nas imagens com resolução de 20 metros; II' – Classificação por região nas imagens com resolução de 20 metros; III – Classificação por pixel na imagem fusionada com resolução de 2,5 metros; III' – Classificação por região na imagem fusionada com resolução de 2,5 metros; IV – Classificação por pixel com aplicação do MLME na imagem fusionada com resolução de 2,5 metros. IV' – Classificação por região com aplicação do MLME na imagem fusionada com resolução de 2,5 metros.

