

**UNIVERSIDADE FEDERAL DE UBERLÂNDIA**  
**INSTITUTO DE GEOGRAFIA - IGUFU**  
**Curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica**

**ANALIS DA SILVA SOARES**

**MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE  
GRUPIARA/MG USANDO TÉCNICAS DE SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS**

**Monte Carmelo - MG**

**2018**

**ANALIS DA SILVA SOARES**

**MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE  
GRUPIARA/MG USANDO TÉCNICAS DE SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS**

Projeto apresentado/defendido, na disciplina Trabalho de Conclusão de Curso II, como requisito básico para a obtenção do certificado de conclusão do Curso de Graduação em Engenharia de Agrimensura e Cartográfica.

Orientador: Prof. Dr. Claudionor Ribeiro da Silva

Coorientadora: Profa. Dra. Tatiane Assis Vilela Meireles

**Monte Carmelo - MG**

**2018**

**MAPEAMENTO DO USO E OCUPAÇÃO DO SOLO DO MUNICÍPIO DE  
GRUPIARA/MG USANDO TÉCNICAS DE SEGMENTAÇÃO DE IMAGENS**

Trabalho de Conclusão de Curso aprovado para  
obtenção do título de Engenheiro Agrimensor e  
Cartógrafo pela Universidade Federal Uberlândia,  
pela banca examinadora formada por:

Monte Carmelo, 20 de junho de 2018

---

Orientador: Prof. Dr. Claudionor Ribeiro da Silva

---

Coorientadora: Profª. Dra. Tatiane Assis Vilela Meireles

---

MsC. Douglas Santana Serato

## **AGRADECIMENTOS**

A Deus, pelo primeiro gesto de amor e carinho: a vida.

Agradeço ao meu orientador, Prof. Dr. Claudionor Ribeiro da Silva, pelo suporte e paciência.

Agradeço: Profa. Dra. Tatiane Assis Vilela Meireles, pela disponibilidade em avaliar este trabalho, e pelo auxílio.

Em especial aos meus pais, Elizabete e Geraldo pelo amor, dedicação e sacrifícios.

E aos meus irmãos Anderson e Janaina pelo amor e apoio.

E a Leticia Cristina, minha irmã de coração, pelo carinho e força nos momentos de incerteza.

Finalmente ao Rangel, pelo amor e compreensão, sempre incentivando a concretizar este sonho.

## RESUMO

Este estudo trata da análise da paisagem a partir da segmentação orientada a objeto, tendo em vista que essa abordagem da segmentação multiresolução tem se mostrado bastante eficiente na discriminação de alvos em imagens digitais. Essa técnica permite extrair e classificar os padrões de interesse de acordo com as classes previamente criadas pelo usuário. O produto gerado nesse estudo, apresentara dados geométricos como limites e áreas, bem como informação da espacialização de cada cobertura, tipo de classe/feição. Nesse contexto, o objetivo desse trabalho foi avaliar os produtos da segmentação e classificação de imagens CBERS 4 para o mapa temático do município de Grupiara/MG. A segmentação e classificação foram realizadas por meio de técnica orientada a objeto, gerando um mapa temático de uso e ocupação da área do município em questão. O mapa temático representa a realidade da cobertura e uso do solo do município de Grupiara/MG, de forma fidedigna, 27.25% de sua área coberta por pastagem e agricultura, 20.57% com vegetação natural, 22.98% com solos expostos e 29.20% coberta por água da represa. Alguns polígonos extraídos na segmentação foram comparados com outros vetorizados manualmente e o erro RMS detectado foi 0.8335. Embora os experimentos sejam incipientes, a metodologia proposta mostrou-se promissora para o estudo em análise, classificando os produtos gerados nas classes A e C do PEC-PCD, nas respectivas escalas, 1:2.000, 1:5.000, 1:10.000 e 1:25.000.

**Palavras-chave:** Orientação a Objeto, Segmentação, Mapa temático.

## SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	8
1.1 Objetivos.....	9
1.2 Justificativas .....	9
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	11
2.1 Cerrado .....	11
2.2 Sensoriamento Remoto.....	13
2.2.1 Série CBERS .....	14
2.3 Segmentação de Imagens.....	16
2.3.1 Segmentação pixel-a-pixel .....	18
2.3.2 Segmentação orientada ao objeto .....	18
2.3.3 Dados vetoriais .....	20
2.3.4 Validação da classificação.....	21
2.4 Classificação de uso e ocupação do solo .....	23
3. MATERIAL E MÉTODO .....	24
3.1 Área de Estudo .....	24
3.2 Material Utilizado.....	25
3.3 Metodologia.....	25
3.3.1 Pré-processamento.....	25
3.3.2 Segmentação e Classificação Orientada ao Objeto .....	27
3.3.3 Vetorização Manual da Referência.....	28
3.3.4 Classificação do mapa temático gerado.....	29
<u>3.3.5 Padrões de exatidão cartográfica .....</u>	<u>30</u>
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO .....	31
5. CONCLUSÃO.....	39
6. RECOMENDAÇÕES.....	40
REFERÊNCIAS .....	41

## 1. INTRODUÇÃO

De acordo com Vieira Junior (2011), desde sua origem, o homem interfere de várias maneiras no espaço geográfico. Sua atuação nesse meio se deu de diferentes formas ao longo de sua história. Entretanto, o conhecimento do território sempre foi um diferencial na tomada de decisão, de modo a potencializar ao máximo o uso das características e recursos de cada região. Nessa perspectiva, pode-se inferir que o conhecimento do território está assentado na qualidade e diversidade de informações que se tem acerca do mesmo. Consequentemente, faz-se necessário assegurar a veracidade e consistência de tais informações, igualmente importante, deve-se verificar a representatividade das informações na realidade de intervenção, avaliando a variação temporal entre o dado que se tem em mãos e a realidade a ser analisada (VIEIRA JUNIOR, 2011).

Atualmente, os avanços tecnológicos favoreceram o surgimento e o aperfeiçoamento de diversas técnicas de coleta de dados. Dentre os vários métodos de obtenção de dados e informações acerca do espaço geográfico, o sensoriamento remoto tem apresentado elevado potencial na aquisição de grandes volumes de dados georreferenciados, em diferentes escalas, por meio de imagens digitais (VIEIRA JUNIOR, 2011). Além disso, do grande volume, os produtos de sensoriamento remoto são atuais e contínuos, o que favorece seu uso e difusão em vários estudos, tais como no monitoramento dos processos da hidrosfera, no planejamento e gestão urbana, na cartografia, nos estudos florestais, na geologia e na agricultura (NOVO, 2008).

O sensoriamento remoto aliado aos sistemas de informações geográficas são instrumentos importantes nos processos de levantamento, mapeamento e monitoramento dos recursos naturais, pois permitem a obtenção de imagens em variadas resoluções espaciais bem como a análise, processamento, manipulação e interpretação de objetos em diferentes escalas (ROSA, 2009). As etapas pertinentes ao processamento e manipulação dos dados estão incluídas no processamento digital de imagens (PDI). Os principais métodos de PDI para extração de informações em imagens de satélites são a classificação e segmentação (VIEIRA JUNIOR, 2011).

A segmentação é geralmente o primeiro passo na análise de uma imagem, pois se tem como premissa a ideia de que segmentar algum objeto possibilita dividir a imagem em partes ou blocos considerados homogêneos de acordo com algum critério de uniformidade, sendo o processo finalizado quando os objetos de interesse tiverem sido separados. Diversas são as

técnicas de segmentação existentes, sendo em geral baseadas no valor numérico de cada pixel (nível de cinza), na análise de textura e no histograma da imagem (GONZALEZ E WOODS, 2000).

Para realização desse estudo foram utilizadas imagens do satélite CBERS 4, que foram processadas pela técnica de segmentação orientada ao objeto afim de extrair os principais fragmentos que possam descrever as características de uso e ocupação dos solos no município de Grupiara/MG. No processamento foi utilizado o algoritmo de segmentação implementado no software ENVI EX. Nesse contexto, a hipótese do presente estudo foi: será possível realizar o mapeamento de uso e ocupação do solo usando a técnica de segmentação orientada a objeto em imagens CBERS 4 ?

## 1.1 Objetivos

O objetivo geral deste estudo é analisar a informação extraída do processo de segmentação de imagens do satélite CBERS 4, com foco no mapeamento de uso e cobertura do solo para o município de Grupiara/MG.

Os objetivos específicos, para realização das etapas propostas, são:

- Realizar a fusão das imagens CBERS 4 (RGB x PAN);
- Segmentar e classificar a imagem fusionada;
- Vetorizar manualmente algumas feições previamente escolhidas;
- Analisar os resultados do mapa de uso e ocupação do solo município de

Grupiara/MG.

## 1.2 Justificativas

O presente trabalho consiste na validação do produto gerado pelo método de segmentação/classificação orientada a objetos, usando imagem CBERS 4. Essas imagens são novos produtos, fornecidos gratuitamente pelo INPE (Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais), que apresentam boa qualidade em termos de resolução espacial e radiométrica. Trata-se de imagens com bandas espectrais na região do visível, com 10 metros de resolução espacial, e uma banda Pancromática com 5 metros de resolução espacial.

O mapa temático de uso e ocupação da Terra. Nesse mapa serão definidos segmentos que caracterizam alguma feição em específico, permitindo a geração de vetores/*shapes* de forma automática. Esse procedimento é geralmente feito de forma manual, que demanda tempo



e um alto custo. Portanto, esse estudo propõe a geração de um produto de forma mais rápida e mais econômica, dado que as imagens CBERS 4 são disponibilizadas de forma gratuita para os órgãos públicos no país.

Nesse estudo foi gerado um mapa temático com descrição de uso e ocupação dos solos e essa informação é muito valiosa para diversos estudos e análises do ambiente urbano, tais como: mapeamento de áreas verdes para avaliação da qualidade ambiental e conforto (GRIMMOND, 2007); estudos de ilha de calor e do fluxo de energia para a caracterização da camada-limite urbana (VOOGT, 1997); espacialização da impermeabilidade como insumo à modelagem de escoamento superficial (SCHULTZ, 1988), dentre outras aplicações.

Outra área que esse estudo se torna relevante é na representação do tipo predominante do uso do solo local, que geralmente está associado às práticas sociais, econômicas e culturais que ocorrem naquela área (DI GREGÓRIO, 2005). Pode-se dizer que o uso do solo resulta de um tipo de atividade social com um tipo de edificação (DEÁK, 1985). Portanto, o solo admite uma variedade tão grande de usos quanto as atividades da própria sociedade. Isto faz com que categorias ou classes de uso do solo devam ser criadas principalmente com a finalidade de classificação das atividades e tipos de assentamento para efeito de sua regulação e controle através de leis de zoneamento, ou leis de uso do solo (DEÁK, 1985).

## 2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Nessa seção é apresentada uma breve descrição teórica dos conceitos gerais relacionados ao tema abordado, incluindo uma descrição do bioma cerrado, bem como alguns conceitos relacionados ao sensoriamento remoto e aos métodos de segmentação/classificação analisados nesse estudo; concluindo com uma apresentação acerca do mapeamento de uso e ocupação dos solos.

### 2.1 Cerrado

No Brasil pode-se considerar a ocorrência de seis grandes biomas: o Cerrado, os Campos e Florestas Meridionais, a Floresta Atlântica, a Caatinga, a Floresta Amazônica e o Pantanal onde a localização geográfica destes biomas é condicionada predominantemente pelos fatores climáticos, como a temperatura, a pluviosidade e a umidade relativa, e em menor escala pelo tipo de substrato, como visto em Ribeiro e Walter (2008).

O Cerrado *sensu stricto* caracteriza-se pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, e geralmente com evidências de queimadas. Os arbustos e subarbustos encontram-se espalhados, com algumas espécies apresentando órgãos subterrâneos perenes (xilopódios), que permitem a rebrota após queima ou corte. Na época chuvosa os estratos subarbusivo e herbáceo tornam-se exuberantes devido ao seu rápido crescimento (RIBEIRO; WALTER, 2008).

De acordo com Novais (2011), o Triângulo Mineiro\Alto Paranaíba apresentam dois domínios morfoestruturais denominados “Bacias e cobertura Sedimentares Inconsolidadas Plio-Pleistocênicas” e “Faixa de Desdobramentos e Coberturas Sedimentares Associadas”. Estes domínios estão subdivididos em: planície sedimentar fluvial, planalto central da bacia sedimentar do Paraná, planalto da faixa de desdobramentos do Brasil central, patamares das coberturas metassedimentares da bacia do São Francisco e depressão do alto São Francisco.

A área de estudo faz parte do Planalto da faixa de desdobramentos do Brasil central; sua superfície é plainada, bastante fragmentada, com forma de relevo bastante diversificada. As rochas localizadas na área são principalmente do tipo sedimentar, como arenito, que cobre praticamente todo o Triângulo Mineiro, intercalados de rochas magmáticas (NOVAIS, 2011).

Como pode-se visto em Ribeiro e Walter (2008), nas variadas fitofisionomias do Cerrado, os solos, na maioria, são profundos, com baixa fertilidade natural, acidez acentuada em função da presença de sílica em relevo plano e suavemente ondulado, com boa estrutura

para mecanização. A drenagem é perene. Os cursos d'água são normalmente acompanhados por formações vegetais de tipos fisionômicos variados, não sendo contínuas ao longo dos cursos d'água, podendo, serem intercaladas por áreas de Campo e Cerrado *Stricto sensu*. Formam o grande domínio do Trópico Subúmido, coberto por uma paisagem com um mosaico de fisionomias, desde campos abertos (heliófitos), até áreas florestadas (umbrófilas).

Para diferenciar os tipos fitofisionômicos tem-se por base a fisionomia, que é definida pela estrutura, forma de crescimento e mudanças estacionais, seguidos ainda dos aspectos do ambiente (fatores edáficos) e da composição florística. Existindo subtipos fitofisionômicos, o ambiente e a composição florística, nesta ordem, são os critérios de separação. São descritos doze tipos principais de fitofisionomias de vegetação para o Cerrado, enquadrados em: formações florestais (Mata Ciliar, Mata de Galeria, Mata Seca e Cerradão), savânicas (Cerrado sentido restrito, Parque de Cerrado, Palmeiral e Vereda) e campestres (Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre) (RIBEIRO; WALTER 2008, p. 164).

As formações florestais do Cerrado englobam os tipos de vegetação com predominância de espécies arbóreas, com a formação de dossel contínuo. Por outro lado, as formações savânicas do Cerrado, que englobam o Cerrado sentido restrito, caracterizado pela presença de árvores baixas, inclinadas, tortuosas, com ramificações irregulares e retorcidas, geralmente com evidências de queimadas, bem como com presença de arbustos e subarbustos espalhados. Nessa mesma formação estão presentes os tipos “parque de Cerrado”, que é uma formação savânica caracterizada pela presença de árvores agrupadas em pequenas elevações do terreno; o “palmeiral”, que é uma formação savânica caracterizada pela presença única de espécies de palmeiras arbórea. Por fim, as formações campestres do Cerrado englobam três tipos de vegetação principais: Campo Sujo, Campo Limpo e o Campo Rupestre. É caracterizada pela presença evidente de arbustos e subarbustos entremeados no estrato arbustivo-herbáceo, bem como trechos com presença de afloramentos rochosos e composição florística (RIBEIRO; WALTER, 2008, p. 164-180).

A partir de um olhar macro, é possível estimar que a maior parte da área de estudo (município de Grupiara/MG) é ocupada por área de Cerrado protegida, constando grande predominância de pecuária e de grandes áreas de plantios de grãos, como soja e milho. O Cerrado presente nesse município é composto pela formação florestal campestres (Campo Sujo, Campo Limpo e Campo Rupestre).

## 2.2 Sensoriamento Remoto

Os primeiros indícios que marcam o surgimento do Sensoriamento Remoto apontam para o desenvolvimento da fotografia e a pesquisa espacial (NOVO, 2008). De modo simultâneo ao desenvolvimento da aviação, os avanços nos estudos da ótica impulsionaram o uso e difusão das fotografias aéreas. Posteriormente, os esforços empregados nas duas grandes guerras mundiais surtiram em investimentos nessa área. Logo, foram desenvolvidos estudos sobre o comportamento dos alvos na região do infravermelho, de modo a detectar inimigos camuflados (NOVO, 2008).

Com o fim da guerra, essa tecnologia ficou disponível para uso civil e seu uso foi direcionado aos recursos naturais. Assim, o aporte tecnológico permitiu a expansão dos sistemas de sensoriamento remoto baseados em satélites e não mais somente em aviões. Tais características induziram um conjunto de avanços nos diversos campos do conhecimento (NOVO, 2008).

Atualmente, existe uma grande variedade de sistemas de satélites com sensores que permitem analisar alvos em diferentes escalas e características, direcionados aos estudos em áreas urbanas, agrícolas, geológicas, ecológicas, florestais, cartográficas, oceanográficas, hidrológicas e muitas outras (NOVO, 2008).

O Sensoriamento Remoto é uma ciência que tem o intuito de desenvolver e obter imagens da superfície terrestre por meio da detecção e medição quantitativa das respostas das interações da radiação eletromagnética com os materiais terrestres. Assim, o objeto imaginado é registrado pelo sensor por meio das medições da radiação eletromagnética, como a luz solar refletida da superfície de qualquer objeto. Nenhum outro tipo de sensor que obtenha imagens que não seja pela detecção da radiação eletromagnética deve ser classificado como sensoriamento remoto, a partir da definição de sensoriamento remoto fica óbvio que só se pode entender o processo de aquisição e de análise das imagens, se conhecermos primeiro o que é a radiação eletromagnética - REM (ALMEIDA et al., 2012).

Para começar a entender o que é a radiação eletromagnética (REM) devemos entender a dualidade do comportamento da sua natureza: onda e energia. Isso quer dizer que a REM que se propaga pelo espaço vazio, como a luz solar, é, ao mesmo tempo, uma forma de onda e uma forma de energia. Esse conceito é muito importante para o sensoriamento remoto, pois sempre que alguém estiver analisando qualquer tipo de imagem de sensoriamento remoto, a coexistência da radiação eletromagnética na forma de onda e na forma de energia deverá ser

considerada para que se possa explicar tudo o que se observa nas imagens com referência às características dos objetos (ALMEIDA et al., 2012).

Após captar a energia refletida, emitida ou retroespalhada pelos alvos contidos no campo de varredura do satélite, o sensor a registra como um sinal elétrico e o armazena como valor digital numa matriz, constituindo assim uma imagem. Durante essa conversão analógico-digital o sensor cria valores digitais entre 8 e 16 bits, onde são chamados de nível de quantização do dado ou resolução radiometria. Cada valor digital contido na imagem está associado a um pixel (*picture element*) que pode ser definido como “(...) um elemento de cena bidimensional que constitui o menor elemento não-divisível de uma imagem digital” (JENSEN, 2009).

Nessa perspectiva, o pixel representa uma porção da superfície terrestre imageada pelo sensor, podendo-se afirmar que “há uma relação entre o tamanho de um objeto ou área a ser identificada e a resolução espacial de um sistema sensor de sensoriamento remoto”. Assim, “a resolução espacial nominal é definida como a dimensão em metros do IFOV (campo de visada instantâneo) projetado no terreno” (JENSEN, 2009).

Atualmente, são vários os satélites lançados no espaço para uso no sensoriamento remoto, cada um com sensores criados para atender particularidades espectrais, sendo a maioria com foco em estudos dos recursos naturais. Dentre os mais importantes estão os satélites americanos, da série LANDSAT (*Land Remote Sensing Satellite*), e os satélites franceses, da série SPOT (*Satellite Pour l'Observation de la Terre*). O Brasil entrou nesse seleto grupo de países que exploram o espaço para obtenção de imagens, fazendo uma parceria com a China, no lançamento da série CBERS (*China-Brazil Earth Resources Satellite - Satélite Sino-Brasileiro de Recursos Terrestres*). Atualmente, o satélite dessa série em operação é o CBERS 4, com diferentes sensores acoplados.

### **2.2.1 Série CBERS**

De acordo com Freitas (2010), o satélite CBERS surgiu em 1988 a partir de uma parceria entre o Brasil e a China, no setor técnico científico espacial. Essa iniciativa foi impulsionada pela necessidade de monitorar constantemente os territórios destes países, considerando os diversos recursos naturais e potenciais agrícolas e ambientais existentes. O acordo entre Brasil e China contribuiu para reverter o quadro de dependência dos países em desenvolvimento, no acesso as tecnologias de observação da Terra. No início, o Programa CBERS contemplava dois satélites de sensoriamento remoto (CBERS 1 e 2); momentos depois, ambos os governos

decidiram expandir o programa com três novos satélites (CBERS 2B e CBERS 3 e 4) (FREITAS, 2010).

O primeiro satélite do programa a ser lançado foi o CBERS 1, em 1999, seguido do CBERS 2, lançado em 2003. Teoricamente esses dois satélites são idênticos, são contemplados pelos sistemas ópticos CCD (câmara imageadora de alta resolução) e IRMSS (imageador por varredura de média resolução) e WFI (câmara imageadora de amplo campo de visada). Em 2007 foi lançado o CBERS 2B, com a inserção de algumas melhorias, sendo a principal, a substituição do imageador IRMSS por uma câmara pancromática de alta resolução (HRC) (FREITAS, 2010).

O CBERS-4 é o quinto produto do programa de satélite entre Brasil e China. Este satélite teve seu lançamento em 7 de dezembro de 2014 e imagea toda a superfície terrestre em 5 dias, com baixa resolução temporal: 26 dias (média resolução espacial) e 52 dias (imageamento de alta resolução espacial). Estas imagens são fornecidas gratuitamente para milhares de usuários para fins de uso nas áreas ambiental, agrícola e/ou planejamento urbano (SANTOS, 2014).

O satélite é equipado com 4 câmeras de alta resolução e tem capacidade de 15 minutos de gravação por dia, deslocando-se com uma velocidade de 4,2 km/s os 4 sensores acoplados enviam imagens de 120 km a 860 km de extensão (SANTOS, 2014). As especificações destes sensores são apresentadas no Quadro 1.

Quadro 1 - Características das câmeras do CBERS 4.

	<b>MUX</b>	<b>PAN</b>	<b>IRS</b>	<b>WFI</b>
<b>Bandas Espectrais (µm)</b>	0.45-0.52 (B) 0.52-0.59 (G) 0.63-0.69 (R) 0.77-0.89 (NIR)	0.51-0.85 (PAN) 0.52-0.59 (G) 0.63-0.69 (R) 0.77-0.89 (NIR)	0.50-0.90 (PAN) 1.55-1.75 (SWIR) 2.08-2.35 (SWIR) 10.40-12.50 (TH)	0.45-0.52 (B) 0.52-0.59 (G) 0.63-0.69 (R) 0.77-0.89 (NIR)
<b>Resolução Espacial (m)</b>	20	5 / 10	40 / 80	64
<b>Largura da Faixa Imageada (km)</b>	120	60	120	866
<b>Revisita (dias)</b>	26	5		
<b>Revisita real (dias)</b>	26	Não	26	5
<b>Quantização (bits)</b>	8	8	8	10

Fonte: [http://www.cbbers.inpe.br/sobre\\_satelite/cameras\\_imageadoras\\_cbbers3e4.php](http://www.cbbers.inpe.br/sobre_satelite/cameras_imageadoras_cbbers3e4.php).

De acordo com o INPE (2007), pode-se observar algumas aplicações dos produtos/imagens gerados com o sensor CCD:

- ✓ **Vegetação:** identificação de áreas de florestas, alterações florestais em parques, reservas, florestas nativas ou implantadas, quantificações de áreas, sinais de queimadas recentes.
- ✓ **Agricultura:** identificação de campos agrícolas, quantificação de áreas, monitoramento do desenvolvimento e da expansão agrícola, quantificação de pivôs centrais, auxílio em previsão de safras, fiscalizações diversas.
- ✓ **Meio ambiente:** identificação de anomalias antrópicas ao longo de cursos d'água, reservatórios, florestas, cercanias urbanas, estradas; análise de eventos episódicos naturais compatíveis com a resolução da Câmera, mapeamento de uso do solo, expansões urbanas.
- ✓ **Água:** identificação de limites continente-água, estudos e gerenciamento costeiros, monitoramento de reservatórios.
- ✓ **Cartografia:** dada a sua característica de permitir visadas laterais de até 32° a leste e a oeste, em pequenos passos, possibilita a obtenção de pares estereoscópicos e a consequente análise cartográfica em três dimensões. Essa característica também permite a obtenção de imagens de uma certa área no terreno em intervalos mais curtos, o que é útil para efeitos de monitoramento de fenômenos dinâmicos.
- ✓ **Geologia e solos:** apoio a levantamentos de solos e geológicos.
- ✓ **Educação:** geração de material de apoio a atividades educacionais em geografia, meio ambiente, e outras disciplinas.

### 2.3 Segmentação de Imagens

A principal função da segmentação é subdividir uma imagem em regiões ou objetos que a compõem. O nível de detalhe em que a subdivisão é realizada depende do problema a ser resolvido. Ou seja, a segmentação deve parar quando os objetos ou as regiões de interesse de uma aplicação forem detectados (GONZALEZ e WOODS, 2000). A segmentação de imagens consiste num processo de agrupamento de pixels que possuem características semelhantes (ALMEIDA et al., 2012).

O processo pode se dar de forma manual ou automática. Na forma manual é estabelecido sobre a imagem os polígonos que representam regiões homogêneas, de forma semelhante à usada pelos fotointérpretes. Comumente, diferentes intérpretes podem gerar produtos diferentes

a partir de uma mesma imagem. O processo automático, considera dados de natureza quantitativa, produzindo resultados bastante bons em uma fração do tempo muito menor do que seria dispendido no caso da segmentação manual. Em virtude desses aspectos, é ele o mais utilizado em processamento de imagens (ALMEIDA et al., 2012).

O processo de segmentação faz com que o contexto em que se encontra inserido o pixel seja considerado na classificação, levando em conta as características do meio (regiões) e não apenas os valores espectrais dos pixels. Isso o distingue dos processos de classificação realizados pixel a pixel. O processamento das imagens, inicialmente utiliza um algoritmo de segmentação que, ao definir regiões homogêneas na imagem, a prepara para uma classificação posterior com base nessas regiões e não com base em valores individuais dos pixels (ALMEIDA et al., 2012).

As condições texturais da imagem passam a ser consideradas nesse tipo de abordagem, a classificação por segmentação que se aproxima mais daquela feita, de forma qualitativa, por intérpretes humanos, produzindo índices de exatidão mais elevados, surgindo com o advento dos modernos sensores de alta resolução espacial, que produzem imagens onde os objetos podem ser identificados individualmente. Assim, uma mudança substancial teve de ser implementada na concepção dos tradicionais algoritmos de classificação, ficando assim mais preparados para classificar imagens de baixa resolução espacial (ALMEIDA et al., 2012).

De acordo com Gonzalez e Woods (2000) os algoritmos para segmentação de imagens são geralmente baseados nas propriedades básicas de valores de níveis de cinza, descontinuidade e similaridade. Na primeira categoria, a abordagem é particionar a imagem baseada em mudanças bruscas de tons de cinza. Este tipo de segmentação é utilizado quando se deseja detectar bordas e pontos isolados. A segunda categoria (similaridade) baseia-se em limiarização e crescimento de regiões.

Matematicamente, a operação de limiarização pode ser descrita como uma técnica de processamento de imagens na qual uma imagem de entrada  $f(x, y)$ , de  $N$  níveis de cinza, produz uma imagem de saída  $g(x, y)$ , chamada limiarizada, cuja quantidade de tons de cinza é menor que  $N$ . A técnica mais simples de limiarização é a do particionamento do histograma da imagem por um limiar único  $T$ . Assim, a limiarização é dada por:  $g(x, y) = 1$ , se  $f(x, y) \geq T$ ; e  $g(x, y) = 0$ , se  $f(x, y) < T$ , gerando uma imagem binária onde os pixels rotulados com valores 1s representam o objeto de interesse e com valores 0s indicam a área de fundo do objeto (GONZALEZ; WOODS, 2000).

Esse processo de segmentação é realizado varrendo a imagem, pixel a pixel, e associando cada pixel a uma determinada classe ou objeto, dependendo se o nível de cinza é



maior ou menor que  $T$ . Neste caso, considera-se apenas a informação espectral de cada pixel para determinar as regiões homogêneas. Outro processo de segmentação é o orientado ao objeto, onde cada segmento é definido com base em alguns parâmetros (forma, tamanho, textura, cor, etc.) definidores do objeto que é composto por esse segmento (ANTUNES, 2003).

### **2.3.1 Segmentação pixel-a-pixel**

A classificação de uma imagem digital resulta em um mapa de pixels classificados, representando em polígonos, os padrões homogêneos de classes de alvos (mapa digital temático). Assim a maioria dos classificadores executa a classificação por pixel, que se utiliza somente da informação espectral de cada pixel para encontrar regiões homogêneas, a partir de medidas de distâncias ou de probabilidades de um pixel pertencer a uma classe específica (ALMEIDA et al., 2012).

Os métodos classificadores dividem-se em dois grandes grupos, o mais simples é o classificador “pixel a pixel”, ou por pixel, que considera apenas as informações de nível de cinza de cada pixel para agrupá-los em padrões homogêneos, baseando-se em conceitos de probabilidade (método estatístico) ou não (método determinístico) (CRUZ, 2008).

De acordo com INPE (2014), a unidade pixel é um elemento crucial na classificação e segmentação de imagens de sensores orbitais. Relata ainda que cada pixel tem duas coordenadas espaciais  $x$ ,  $y$  e uma espectral  $L$ , sendo que essa terceira representa a radiância do alvo em cada banda espectral. O conjunto de características espectrais de um pixel é denotado pelo termo atributo espectral.

Segundo Silva (2015) a eficiência da classificação “pixel a pixel” ocorre principalmente em imagens com média e baixa resolução espacial. Contudo, com o aparecimento de sensores de alta resolução no sensoriamento remoto, a eficiência da classificação “pixel a pixel” é questionada, pois o alto grau de detalhes destas imagens torna mais evidentes as variações espectrais entre os objetos.

Resumindo, a segmentação pixel-a-pixel considera apenas as informações presentes nessa unidade (pixel), que é a característica espectral.

### **2.3.2 Segmentação orientada ao objeto**

Segundo Definiens (2001), conforme citado por Campos (2005), o processo de classificação orientada ao objeto utiliza os polígonos gerados na segmentação como objetos de

imagem. Assim, as características espectrais, de forma, de textura e relações de vizinhança são as informações utilizadas na descrição destes objetos. A partir destes descritores, os objetos podem ser agrupados em categorias com significado ou em classes temáticas.

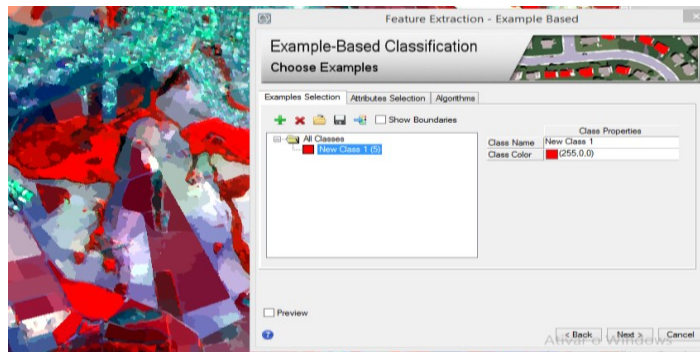
A segmentação prévia das imagens e o uso de lógica fuzzy na classificação orientada ao objeto aproximam-se do processo cognitivo humano, melhorando significativamente a qualidade de um mapeamento automático, como consequência da classificação mais acurada. Deste modo, uma grande parte das informações necessárias para o manejo e conservação dos recursos naturais podem ser extraídas de imagens pelo processo digital da classificação automática orientada ao objeto. O mapa, assim obtido, pode ser utilizado em um sistema de informações geográficas para análise espacial, aplicada na análise de impacto ambiental, monitoramento da cobertura vegetal e estudos da paisagem (CAMPOS, 2005).

O termo orientação ao objeto denota um paradigma de trabalho que vem sendo utilizado de forma ampla para o projeto e implementação de sistemas computacionais. No entanto, o paradigma da orientação ao objeto encontra a sua maior expressão na elaboração de programas de computadores. A ideia geral da abordagem de orientação ao objeto é aplicar as técnicas de classificação por divisão ou agrupamento de classes ou objeto (MEDEIROS, 1999).

Segundo Medeiros (1999), um objeto denota uma entidade capaz de ser individualizada, única, com atributos próprios, porém com as mesmas propriedades da classe que lhe deu origem. É uma “materialização” ou instanciação da classe. O mesmo autor destaca que para uma análise mais completa é útil reconhecer sub-classes, derivadas de uma classe básica. As classes derivadas herdam as propriedades das classes básicas, acrescentando novos atributos que serão específicos destas novas classes.

O outro mecanismo fundamental da teoria de orientação ao objeto é a agregação ou composição. Contudo, um objeto composto ou objeto complexo é formado por agrupamento de objetos de tipos diferentes o relacionamento de agregação permite combinar uma grande quantidade de objetos para formar um objeto de nível semântico superior, no qual cada parte tem funcionalidade própria (ANTUNES, 2003). Um exemplo dos objetos detectados por segmentação orientada ao objeto pode ser visto na Figura 1.

Figura 1 – Exemplo de objeto detectado por segmentação orientada ao objeto.



Fonte: A autora.

Seguidamente à segmentação é sempre aplicada a classificação para rotular os segmentos detectados na segmentação para as classes existentes na área analisada. Cada segmento é então classificado à classe que mais se assemelha. São vários os classificadores existentes para executar essa tarefa.

### 2.3.3 Dados vetoriais

De acordo com SCARIN e TEIXEIRA (1994) muitos softwares de SIG apresentam algum tipo de restrição quando se trata de imagens matriciais, principalmente no processo de ligação das entidades gráficas ao banco de dados (processo necessário para a visualização na base cartográfica digital das consultas realizadas no banco de dados). Esse tipo de dado apresenta também restrições no volume de dados que o mesmo gera e a dificuldade na geração da topologia. Estes softwares necessitam de algoritmos mais elaborados para tal tarefa. As restrições acima, são facilmente contornadas quando se utiliza imagens no formato vetorial. Desta forma, recomenda-se proceder a conversão da imagem do formato matricial para o vetorial, adequando-o assim ao software. Entre os processos de conversão existentes pode-se citar alguns dos mais comuns:

a) vetorização manual (direta na tela - heads-up digitizing); b) vetorização semi-automática; e c) vetorização automática.

A vetorização manual consiste em seguir cada feição linear do raster com o cursor e inserir, de forma seletiva, os vértices que constituem o objeto (INUI,2006). Esse método manual apresenta uma vantagem, pelo fato de a vetorização ser mais seletiva, registram-se apenas os vértices principais do objeto de interesse, proporcionando assim um melhor contorno e menor volume do arquivo. Porém, demanda um tempo de vetorização longo, por depender totalmente do operador. Um outro problema está no cuidado em realizar a vetorização dos objetos,

seguindo exatamente o centro dos pixels. Devido esses dois fatores, o método provoca baixa produtividade em relação às outras técnicas, além de causar fadiga física de quem executa, devido a repetitividade (INUI, 2006).

O método automático utiliza técnicas de processamento digital de imagens para filtrar e localizar os pixels correspondentes às linhas/bordas, geralmente representados por valores zero (preto) em imagens binárias, e convertê-los para a estrutura de dados vetorial. Nesse processo a intervenção do operador é mínima, tendo como principal vantagem o tempo gasto na vetorização, que é reduzido (SCARIM; TEIXEIRA, 1994).

O método semiautomático, conhecido também como vetorização supervisionada, é a junção da técnica automática com a manual. Seleciona-se um ponto inicial de uma determinada linha e, em seguida, essa linha é identificada e, automaticamente, vetorizada pelo sistema. A vetorização será interrompida na presença de um obstáculo, no qual o operador tem que interferir, redirecionando o cursor, dando continuidade ao rastreamento (INUI, 2006).

#### **2.3.4 Validação da classificação**

De acordo com Almeida et al (2012) uma das últimas etapas da classificação digital de imagens é a da validação dos resultados da classificação, que se busca avaliar a acurácia da classificação. Um resultado com 100% de acurácia significa que todos os pixels da imagem foram classificados de forma correta, segundo um conjunto de dados que compõe a verdade terrestre. Um resultado com 50% de acurácia significa que, em teoria, metade dos pixels da imagem foi classificada corretamente. A acurácia depende de uma série de fatores como a complexidade do terreno, as resoluções espaciais e espectrais do sistema sensor, o próprio algoritmo de classificação utilizado, a legenda utilizada no processo de classificação e o conjunto de dados que representa a verdade terrestre.

A acurácia é normalmente expressa em termos de índices que são calculados a partir de matrizes de erros que expressam a concordância entre a imagem classificada e o conjunto de amostras de referência. A matriz de erros compara, classe por classe, a relação entre os dados de verdade terrestre (dados de referência) e os correspondentes resultados da classificação. O número de linhas e o número de colunas dessa matriz devem ser iguais ao número de classes espectrais do estudo (ALMEIDA et al., 2012).

A maneira mais comum para representar uma classificação de dados de sensoriamento remoto é sob a forma de uma matriz de confusão. A matriz de confusão pode ser usada como

um ponto de partida para uma série de análises e técnicas descritivas e estatísticas (CENTENO, 2004).

O índice mais utilizado na literatura é o índice Kappa, que pode ser definido como uma medida de associação usada para descrever e testar o grau de concordância na classificação (KOTZ; JOHNSON, 1983). Segundo Landis e Koch (1977), a qualidade da classificação pode ser analisada a partir do valor do índice Kappa, como explicitado na Tabela 1.

Tabela 1 - Valores referência do índice de Kappa

<b>Valor de Kappa</b>	<b>Qualidade da Classificação</b>
<0	Péssima
0,00 - 0,20	Ruim
0,20 – 0,40	Razoável
0,40 – 0,60	Boa
0,60 – 0,80	Muito boa
0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

### 2.3.5 Padrões de exatidão cartográfica

Segundo DSG (2015) o Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) é um indicador estatístico utilizado no Brasil, criado pela Norma da Especificação Técnica para Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV). Para que um produto cartográfico seja classificado em uma determinada classe e escala, devem ser atendidas as seguintes condições: a) o erro padrão (EP) \* 1,6449 deve ser igual ou inferior ao valor de tolerância denominado PEC, previsto na norma, para determinada escala; e b) o EP deve ser igual ou inferior ao previsto na norma para determinada escala. Os valores oficiais de tolerância PEC e EP para as 1:2.000, 1:5.000, 1:10.000 e 25.000 são iguais aos apresentados na Quadro 2.

Quadro 2 - Padrão de Exatidão Cartográfica e Erro Padrão para os produtos cartográficos digitais.

	<b>PEC (m)</b>	<b>EP (m)</b>
<b>1:2.000</b>	1.0	0.6
<b>1:5.000</b>	2.5	1.5
<b>1:10.000</b>	5.0	3.0
<b>1:25.000</b>	125.0	75.0

Fonte: DSG (2015).

De acordo com o PEC-PCD, os produtos cartográficos digitais podem ser classificados nas classes A, B, C e D, nas escalas de 1:1.000, 1:2.000, 1:5.000, 1:10.000, 1:25.000, 1:50.000, 1:100.000 e 1:250.000 (SANTOS, 2010).

O software GeoPEC fornece ao usuário uma ferramenta amigável e de fácil utilização para a verificação da qualidade de produtos cartográficos com base na norma cartográfica nacional, ou seja, avaliação e classificação dos produtos cartográficos por meio do PEC, instituído pelo decreto-lei nº. 89.817 de 20 de junho de 1984 (SANTOS,2008).

#### **2.4 Classificação de uso e ocupação do solo**

O levantamento do uso e ocupação do solo é importante para analisar a forma pela qual determinado espaço está sendo ocupado, podendo este servir para planejadores e legisladores, pois ao verificar a utilização do solo, em determinada área, pode-se elaborar uma melhor política de uso da Terra para o desenvolvimento de uma região (ROSA, 2009).

Na classificação, os pontos de uma imagem são associados a uma classe ou grupo, chamadas aqui de categorias de uso, podendo ser: água, culturas anuais, culturas perenes, vegetação nativa, pastagem. A classificação consiste em identificar as classes de informação (tipos de cobertura do solo) presentes na imagem e posteriormente é desenvolvida uma caracterização estatística, matemática ou probabilística das reflectâncias para cada classe de informação. Nesse tipo de classificação o analista identifica os tipos específicos de cobertura do solo já conhecidos da área de estudo (ROSA, 2009).

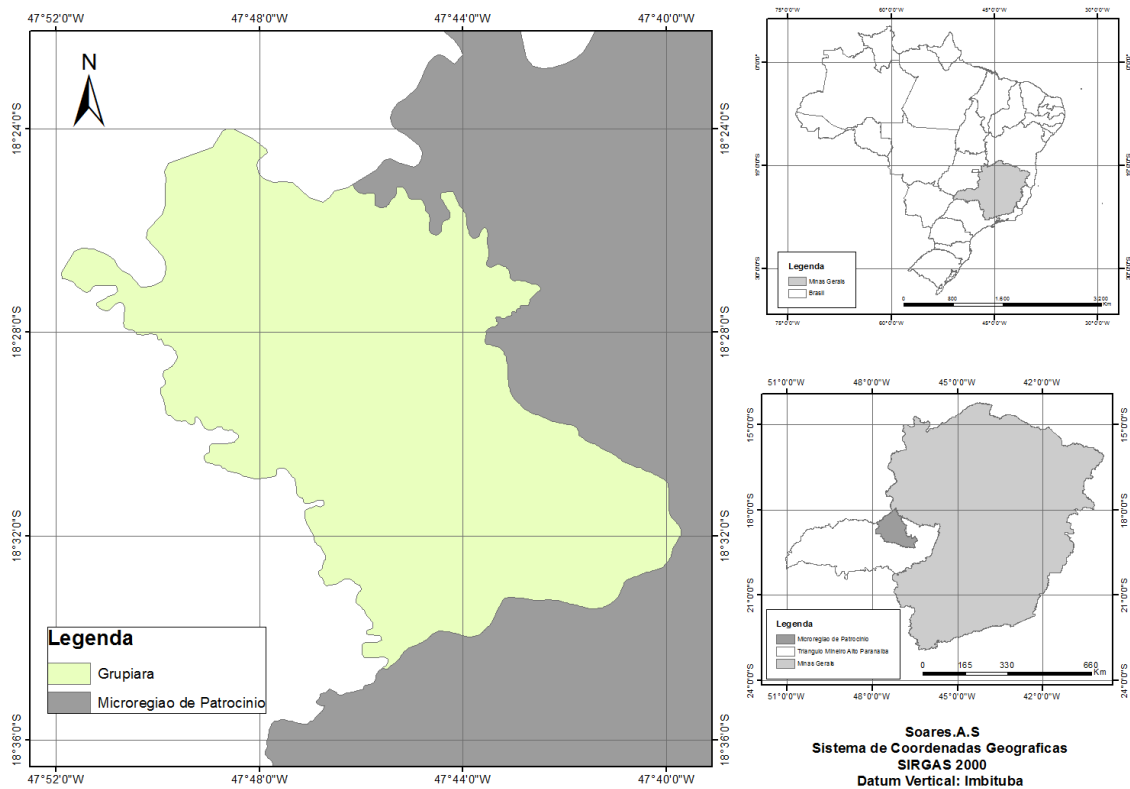
A análise do uso e cobertura do solo diante das informações de Sensoriamento Remoto comporta técnicas de grande utilidade para o planejamento e administração da ocupação ordenada e racional do meio físico, possibilitando avaliar e monitorar a preservação das áreas de vegetação natural. Através da classificação de imagens de satélite obtém-se, de forma rápida, um mapa temático atualizado e preciso, discriminando as feições presentes na superfície terrestre, que descrevem o tipo de uso dos solos.

### 3. MATERIAL E MÉTODO

#### 3.1 Área de Estudo

A área de estudo corresponde o município de Grupiara-MG (Figura 2). Sua sede municipal contempla uma área de  $193,141 \text{ km}^2$ , de acordo com IBGE (2017). O município fica totalmente localizado no Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba. Possui, conforme o último senso do IBGE, uma população igual a 1.373 habitantes.

Figura 2 – Localização da área de estudo – Grupiara/MG.



Fonte: A autora

Grupiara tem um clima tropical e classificado como segundo a Köppen e Geiger. Há muito menos pluviosidade no inverno que no verão, com pluviosidade média anual de 1409 mm. O mês mais seco é julho, com pluviosidade mínima de 5 mm e pluviometria média de 282 mm. O mês de dezembro é o mês de maior precipitação. Tem uma temperatura média anual de  $22,6^{\circ}\text{C}$ , sendo janeiro o mês mais quente do ano, com uma temperatura média mensal de

24,2°C. A temperatura média em junho é de 19,5°C. É a temperatura média mais baixa de todo o ano (CLIMA-GRUPIARA, 2017).

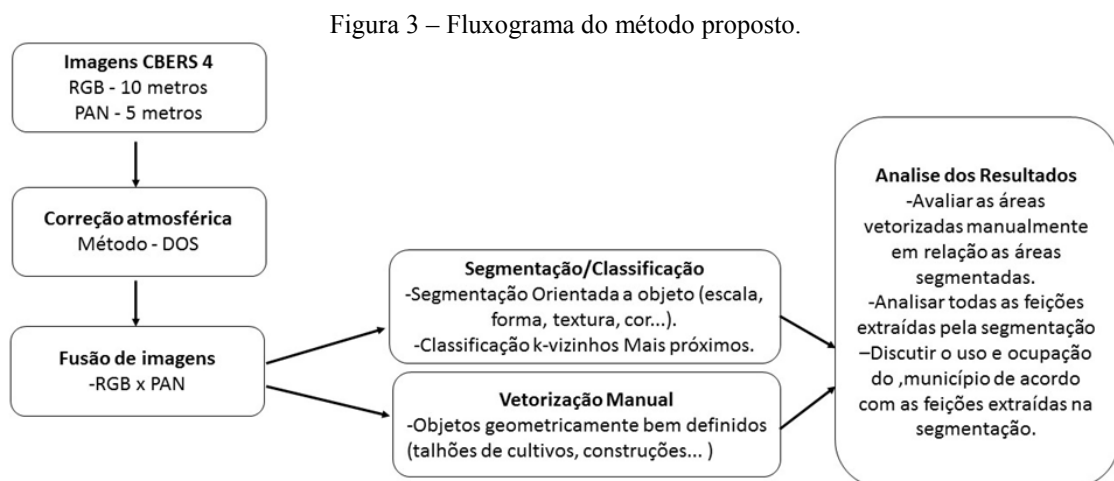
### 3.2 Material Utilizado

Estão listados abaixo os materiais que foram utilizados para o desenvolvimento do presente estudo:

- ✓ Imagens CBERS 4, com as bandas 1, 2, 3 e 4, do sensor PAN10, apresentadas na seção 2.2.1 acima, todas correspondentes ao município de Grupiara-MG;
- ✓ Softwares ENVI 4.8 e ENVI EX e ArcGIS, usados no processamento de imagens.
- ✓ Software GEOPEC, usado no processo de análise estatística dos dados vetoriais e na classificação dos mapas temáticos de acordo com a PEC-PCD.

### 3.3 Metodologia

O método proposto foi realizado em três fases: pré-processamento, segmentação das imagens e discussão dos resultados, como mostra o fluxograma da Figura 3.



Fonte: A autora.

#### 3.3.1 Pré-processamento

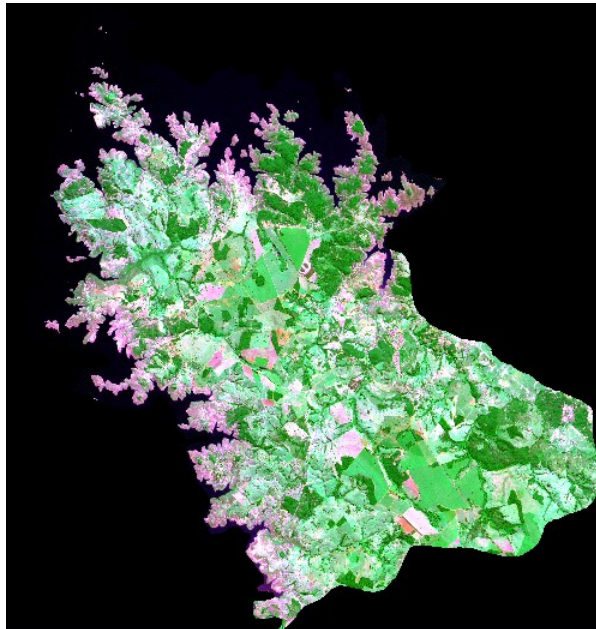
A princípio, foram realizadas a correção atmosférica nas imagens Pan-5metros e RGB-10 metros realizada com o algoritmo DOS (Dark Object Subtraction), para mitigar os efeitos atmosféricos sobre a REM captada por esses sensores. Segundo Chávez (1988) esse método utiliza dados da própria imagem e considera somente os valores de espalhamento atmosférico,



mas apresenta bons resultado, apesar da simplicidade do modelo. Para essa tarefa foi utilizada a rotina *Dark Subtract* implementada no software ENVI 4.8.

As distorções geométricas não foram corrigidas, devido à utilização de apenas uma imagem, sendo assim o erro do polígono será o mesmo da imagem. Posteriormente realizou-se a etapa de fusão das imagens (Figura 4), que teve por objetivo combinar a informação espectral das bandas multiespectrais com a informação geométrica (espacial), mais detalhada, da banda pancromática do mesmo sensor. Foram utilizados para esse fim o algoritmo de fusão “*HSV*” e os interpoladores disponíveis no sistema ENVI 4.8.

Figura 4 - Área do município de Grupiara com a fusão de imagens CBERS 4 (RGB x PAN).



Fonte: A autora.

O objetivo da fusão de imagens é a criação de uma imagem multiespectral com altas resoluções espectral e espacial (RANCHIN; WALD, 2000). Isto é, juntar a informação útil das imagens pancromática e multiespectral. Atualmente existem vários métodos de fusão de imagens, existindo, no entanto, algumas limitações para a sua satisfatória utilização. Muitos dos métodos de fusão encontram-se implementados em softwares de processamento de imagem, como por exemplo o PCIGeomatics (PCI Geomatics, 2005), o Erdas Imagine (Leica Geosystems, 2007) e o ENVI (ITT Corporation, 2007).

Nos métodos mais clássicos de fusão, as imagens pancromática e multiespectral têm uma fraca correlação, quer devido à diferença de tempo entre a aquisição das duas imagens, quer devido às diferenças espectrais entre elas. Normalmente, estas diferenças são atenuadas

através da alteração dos valores radiométricos, possibilitando efetuar a fusão e obter resultados satisfatórios. Nos métodos de fusão mais recentes, a distorção da informação espectral é muito menor, ou até inexistente, no entanto podem ocorrer distorções a nível espacial (LI et al, 2005). Nesse estudo foram utilizadas imagens multiespectrais e pancromática de um mesmo sensor, isto é, coletadas no mesmo instante e com características similares. Assim, os problemas apontados acima são minimizados/eliminados com uso dessas imagens.

### **3.3.2 Segmentação e classificação orientada ao objeto**

A etapa da segmentação constitui-se de uma fase de processamento inerente à pré-classificação. Assim, em um primeiro momento, esta imagem é segmentada, sendo subdividida em regiões/objetos/segmentos que possuem características similares internas ao segmento, definindo a segmentação orientada ao objeto. Para esse processo de segmentação orientada ao objeto foi utilizado o algoritmo de segmentação implementado no software ENVI EX. Para realizar a aplicação desse algoritmo é necessário determinar alguns parâmetros, em especial, a escala e o nível de fusão.

Nesse algoritmo, primeiramente é estabelecida a “Escala“ em que o agrupamento de pixels é realizado. Quanto maior for esse valor, maior será a área de aglomerados resultantes. Posteriormente, é necessário definir o parâmetro “Nível de Fusão”, para estabelecer o nível de fusão que ocorrerá com os segmentos detectados na escala definida na etapa anterior. Quando maior o valor atribuído para ao nível de fusão, maiores serão os aglomerados criados. Assim, foram concedidos valores com base no interesse desse trabalho, buscando a definição de objetos em tamanhos similares aos reais.

Em seguida ao processo de segmentação, é necessário definir a função “Encontrar Objetos”, escolhendo uma das opções: “Com-Limiar” ou “Sem-Limiar”. O limiar define o ponto a partir do qual a aglomeração de segmentos será feita, para apurar o resultado da segmentação. A opção “Sem-Limiar” ignora a anterior. Já estabelecido o tamanho dos segmentos, é necessário determinar alguns atributos em relação aos aspectos dos objetos que seriam levados em consideração no processo de medida de similaridade, que seria o uso ou não dos parâmetros: “espectral”, “textura” e/ou “espacial”. Os atributos têm a ideia inicial de ajudar na identificação de objetos na área de interesse do estudo. No presente trabalho foi definido a opção “Com-Limiar”, já que possui o interesse em feições pontuais. Foram, ainda, atribuídos à “Escala” e ao “Nível de Fusão”, os respectivos valores de 30 e 90.

Após realização da segmentação, inicia-se o processo de classificação dos segmentos. O software ENVI EX disponibiliza apenas duas opções de classificadores: K-Nearest Neighbors (KNN) e o Support Vector Machine (SVM). No presente estudo foi utilizado o método k-Nearest Neighbor (Vizinho Mais Próximo), pois apresentou melhores resultados nos experimentos empíricos realizados. Na classificação por KNN foram utilizados os respectivos valores de 5 e 1 para os parâmetros “Limiar-Threshold” e “Vizinhança-Neighbors”. No que diz respeito ao primeiro parâmetro, quanto maior o seu valor, maior será o índice de confiança das interações em relação ao vizinho mais próximo. Quanto ao “Vizinhança-Neighbors”, quanto maior o valor, maior a interação com a vizinhança, podendo reduzir a chance de erros.

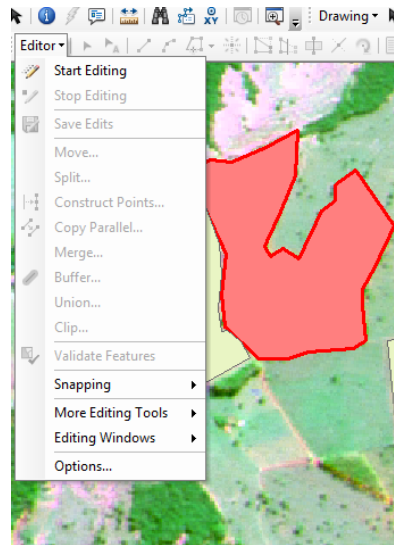
Em uma interpretação visual da área de estudo foram observadas formações de Cerrado e diferentes usos/ocupações, o que levou a definição das seguintes classes: solo exposto, vegetação, água e pastagem. Essas classes foram utilizadas na fase de classificação, onde foram base para a coleta de amostras para de verificação/classificação.

Após executada a classificação, os segmentos extraídos foram vetorizados automaticamente no processo de segmentação/classificação do próprio ENVI EX. Nessa metodologia a vetorização é feita a partir da detecção de bordas dos segmentos extraídos e posteriormente salvos em formato vetorial.

### **3.3.3 Vetorização manual da referência**

Todo o processo de vetorização foi feito utilizando o *software* ArcGIS 10.0 disponíveis para o uso dos acadêmicos da Universidade Federal Uberlândia e instalados no laboratório de SIG-SIGEO, do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica. Na ferramenta *ArcCatalog* foram criados os dados *shapefile*, por meio da vetorização manual, através das ferramentas de edição (*editor e start editing*) e de criação de feições (polígonos, linhas). A Figura 5 ilustra um exemplo de feição vetorizada no ArcGIS.

Figura 5 - Ferramentas e exemplo de vetorização manual no ArcGIS.



Fonte: A autora.

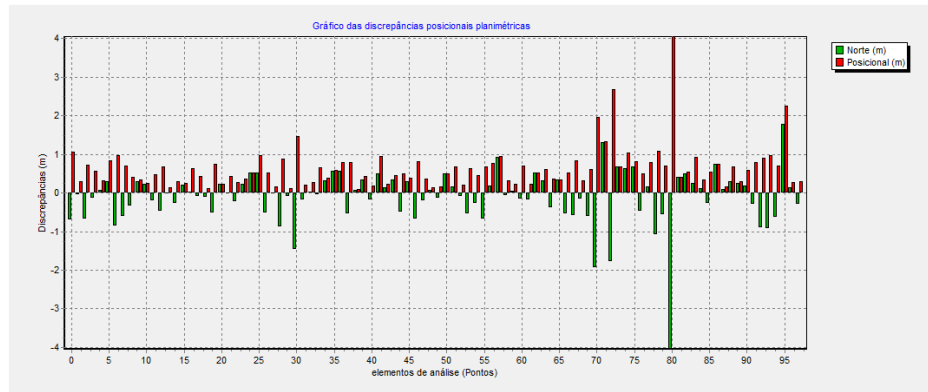
Após a vetorização de todos os objetos de interesse foram finalizados e salvos em formato vetorial/*shape*, servindo de base para posterior análise da qualidade dos vetores detectados pela segmentação.

### 3.3.4 Classificação do mapa temático gerado

A técnica utilizada para a classificação do mapa temático resume-se em avaliar a acurácia posicional nas escalas 1:2.000, 1:5.000, 1:10.000 e 1:25.000. A escolha dessas escalas é com referência na ET-ADGV e ET-PCDG (Especificações Técnicas dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais). A avaliação deste produto constitui em determinar as amostras de pontos, a avaliação dos pontos ditos como outliers, a análise de tendência, e a classificação do produto quanto as classes e escalas definidas.

Para tanto, foram coletadas as coordenadas dos pontos de referência, de forma manual/visual na imagem original CBERS 4, e dos pontos de teste, obtidas automaticamente no processo de segmentação. Essas coordenadas foram tabuladas no formato “.CSV” para entrada no GeoPEC, para a detecção outlier. Em seguida, foram obtidas as discrepâncias posicionais, mostrando 4 outlier para a escala de 1:2.000 e nenhum outlier para as demais escalas analisadas. Na Figura 6 são ilustradas as discrepâncias para a escala 1:2.000.

Figura 06 – Discrepância posicional dos pontos amostrais na escala 1:2.000 (GeoPEC).



Fonte: A autora.

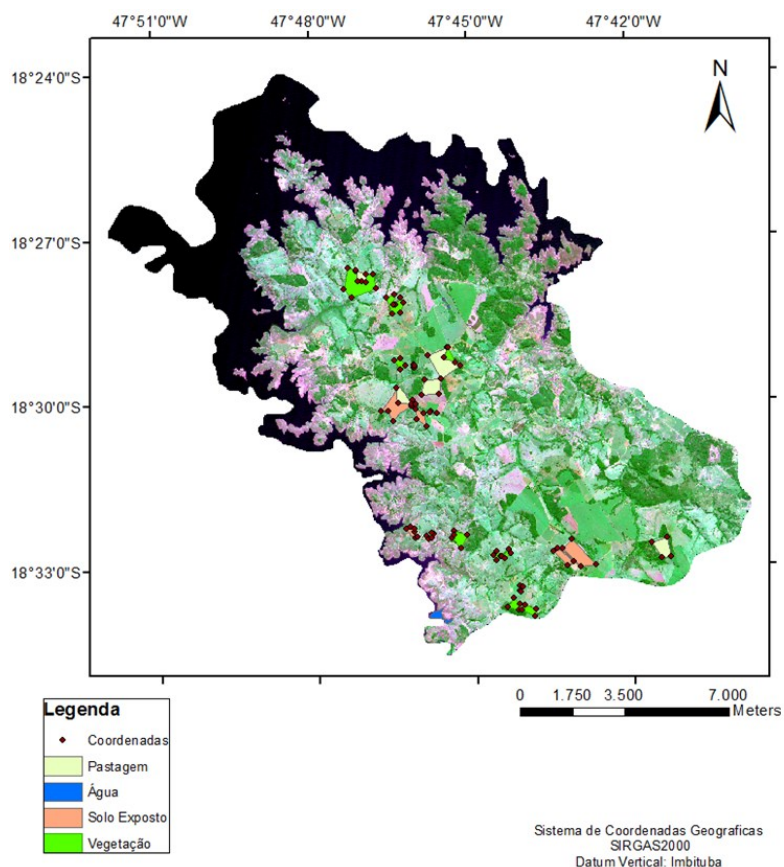
Avaliou-se a acurácia posicional com base no Decreto Lei nº 89.817/ ET-ADGV e classificou-se a imagem nas escalas de 1:2.000, 1:5.000, 1:10.000 e 1:25.000, com o auxílio do software GeoPEC, atendendo as condições de que 90% das discrepâncias dos pontos não ultrapassam o valor do PEC, para a escala determinada e, juntamente, seu erro médio quadrático seja menor que o EP.

#### 4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

No processo de fusão das imagens CBERS 4 foram realizadas a combinação das informações espectrais das bandas multiespectrais com a informação geométrica da banda PAN. Com base em uma análise visual percebe-se que a fusão apresentou ganho espacial, melhorando as informações usadas de base para a segmentação/classificação.

A fusão das imagens possibilitou a vetorização manual, gerando um mapa com boa qualidade visual, o que possibilitou a visualização nítida das classes de interesse. Após a escolha das amostras, que tiveram com requisito para vetorização, serem bem definidas, como por exemplo, os talhões de áreas com agricultura e as áreas de proteção ambiental, com cobertura vegetal. Foi criado um *shape* com pontos que definiram as coordenadas de referência. Esses pontos foram coletados no entorno das classes vetorizadas, como é mostrado na Figura 7.

Figura 07 – Vetores de feições de uso e ocupação do solo de Grupiara-MG.



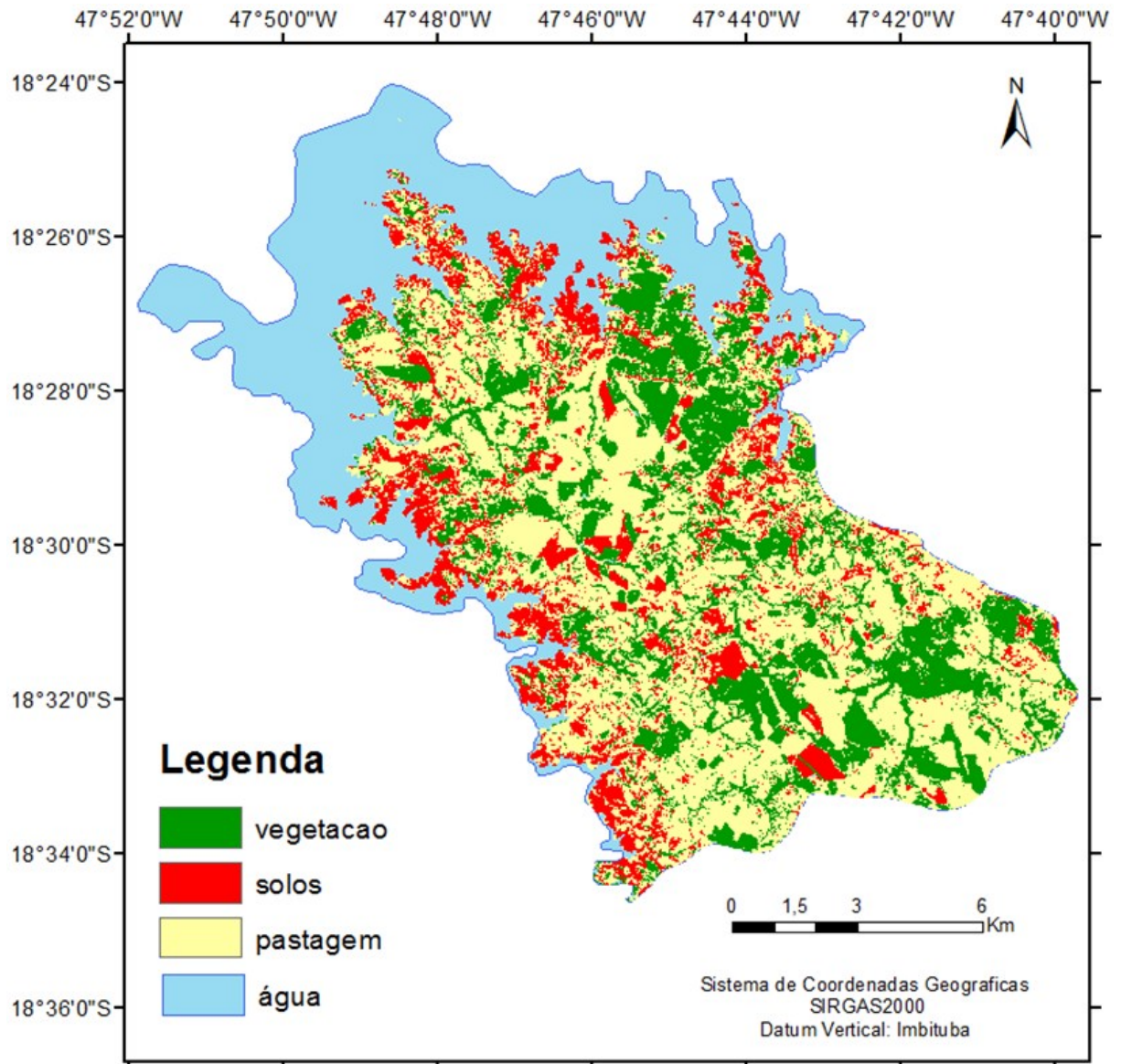
Fonte: A autora.

Essas coordenadas foram utilizadas na classificação do mapa temático gerado no processo de segmentação, usando o software GeoPEC.

##### 4.1 Análise Visual do Mapa Temático Gerado

O mapa temático obtido na segmentação/classificação, ilustrado na Figura 8, apresenta uma boa aproximação da realidade, ao compará-lo à imagem original. É possível verificar uma grande aproximação das classes detectadas com as classes existentes na imagem original.

Figura 8 – Mapa de uso e ocupação do solo de Grupiara-MG obtido pela segmentação/classificação.



Fonte: A autora.

Na análise visual da área de estudo, dentro da imagem original, foram observadas formações de Cerrado e diferentes usos/ocupações. o que levou a definição das seguintes classes: solo exposto, vegetação, água e pastagem. Analisando o mapa temático resultante, é possível evidenciar consideráveis áreas de solo exposto, causadas por ações antrópicas, que podem trazer prejuízos à natureza e desgaste do solo.

Com exceção da água, que apresenta uma distribuição mais homogênea, devido à presença da represa/usina, as demais classes estão distribuídas por toda a área de estudo. A classe “solos” é representada por solos expostos naturalmente, por áreas preparadas para a agricultura e pela área urbana do município, apresentando uma distribuição por toda a área, com maior concentração nas regiões norte e oeste de Grupiara/MG. Igualmente aos solos, a classe “vegetação” encontra-se distribuída por toda a área de estudo, apresentando maior agrupamento na região centro-sul do município. Por fim, a vegetação também encontra-se espacializada por toda área, com maiores agrupamentos nas regiões norte e sul da área de estudo.

#### **4.2 Análise Quantitativa do Mapa Temático Gerado**

O mapa temático obtido da classificação, apresentado na Figura 8, revela uma superioridade de áreas contemplada na classe “pastagem”, representando 27.22% da área total do município de Grupiara/MG. Ressalta-se que segundo Pereira (2015), a economia do município gira entorno das atividades do setor primário, nos quais, destacam-se a agricultura como as plantações de banana, café, laranja, mandioca, milho e soja e a pecuária bovina, galináceos, asininos, bufalinos, equinos, muares, suínos, caprinos e ovinos, concordando com o mapa obtido.

Com representação considerável está a classe “água”, com 29.19% da área total, representando a área da represa existente na região. Segundo Pereira (2015) a maior microbacia presente no município compreende uma área de aproximadamente 2.975 ha. Pode-se ver que é uma grande área coberta por água, com tamanho similar à área usada para pastagem. Tendo em vista que essa área inundada não fica disponível para uso, entende-se que o município perde fisicamente parte de seu território e economicamente, uma vez que se trata de área fértil, útil para cultura.

Grande parte da margem da represa é composta por solo exposto, ocasionados por desmatamento e erosões, como mostra a Figura 9. Devido as atividades agrícolas e pecuária, o município apresenta grande porção do seu território inserida na classe “solo exposto”, com 22.95% de sua área total. Isso pode ser observado no mapa obtido na classificação realizada.

Figura 9 - Avanço de uma erosão ao longo da margem do Córrego Grupiara.





Fonte: Pereira (2015).

Ao longo das margens dos córregos dos Bambus e Grupiara, a cobertura vegetal original foi parcialmente extinta, sendo em parte substituída por pastagens e por solos expostos, não mantendo a preservação legal nas suas margens. Devido a isso, pode-se observar que a vegetação das áreas de preservação permanentes (APP) nas margens da represa apresenta pouca representatividade na área. Com essa perda, a classe “vegetação” é a feição de menor cobertura dos solos do município, correspondente a 20.54% da sua área total.

Neste tópico foi realizado o processo de validação da classificação, que é uma etapa imprescindível na pesquisa, visto que há a necessidade de analisar a acurácia da imagem classificada na forma estatística. Assim, a Tabela 2 exibe os resultados da matriz de confusão, assim como os erros de comissão e omissão. Neste trabalho, o índice Kappa foi calculado para a classificação e apresentou valor de 0.9987, sendo considerado excelente pelo valor de referência (Tabela 1) de Landis e Koch (1977).

Tabela 2 - Matriz de confusão obtida no processo de classificação.

<b>Classes</b>	<b>Erros de comissão (%)</b>	<b>Erro de omissão (%)</b>
<b>Pastagem</b>	0.00	0.08
<b>Vegetação</b>	6.00	0.09
<b>Solo Exposto</b>	0.50	0.20
<b>Água</b>	0.00	0.06

Fonte: A autora.

Com relação ao erro de comissão a classe que apresenta maior erro é a de “Vegetação”, com 6%; e menor erro, as classes “Água” e “Pastagem”, ambas com 0.0%. Já em relação ao erro de omissão, pode-se perceber que nas classes “vegetação” e “solo exposto” se mostrou

menor em relação ao erro de comissão nas mesmas classes. A classe que apresentou maior erro de omissão foi a de “Solo Exposto”, com 0.20%; a classe “Água” apresentou menor erro de omissão, com o valor 0.06%.

Os erros de comissão apontam áreas que foram indevidamente incluídas em uma categoria, sem pertencer a ela. Pela Tabela 2 pode ser observado que 6% da área de outras classes foram indevidamente incluídos na classe “vegetação”. Por outro lado, o erro de omissão significa o erro cometido com a omissão de áreas a uma determinada classe, por exemplo, 0.20% da área corresponde à classe “solo exposto” foi retirada e classificada em outra classe diferente.

### 4.3 Classificação PEC dos Produtos Vetoriais Detectados

Inicialmente foi classificada a imagem para a escala de 1:2.000 (Figura 10). Pode-se verificar que o produto se classificou segundo o Decreto Lei nº 89.817/ET-ADGV na Classe C, com 90% das discrepâncias menores que PEC correspondente, que é 1.0 metro. O erro médio quadrático (RMS) foi de 0.83 metros, sendo maior que os 0,6 metros definidos pelo EP.

Figura 10 – Resultado da avaliação da acurácia Posicional Planimétrica para a escala de 1:2.000.

Padrões do Decreto 89.817/ET-CQDG:					
Classe	ET-CQDG	PEC (mm)	EP (mm)	PEC (m)	EP (m)
	A	0,280	0,170	0,56	0,34
A	B	0,500	0,300	1	0,6
B	C	0,800	0,500	1,6	1
C	D	1,000	0,600	2	1,2

Estadísticas	Este	Norte	Posicional
nº pontos	98	98	98
média	-0,0708	-0,1112	0,6323
desvio	0,4513	0,6933	0,5458
variância	0,204	0,481	0,298
RMS	0,4545	0,6986	0,8335
máximo	0,8989	1,786	4,055
mínimo	-1,9913	-4,049	0,0847
curtose	5,548	12,6991	19,1757
assimetria	-0,8383	-1,9179	3,4222
soma	19,756	46,620	28,899
nº outliers	-	-	4

Classificação do Decreto 89.817 / ET-CQDG:						
Classe	ET-CQDG	%d(E) < PEC	%d(N) < PEC	%d(abs) < PEC	RMS < EP	Resultado
	A	80,612	74,490	54,082	Falhou	Reprovado
A	B	100,000	97,959	90,816	Falhou	Reprovado
B	C	100,000	98,980	95,918	Passou	Aprovado
C	D	100,000	100,000	96,939	Passou	Aprovado

Fonte: A autora.

Em seguida, o produto (mapa temático) foi classificado para a escala de 1:5.000 (Figura 11). O produto teve melhor resultado, se comparado com a classe para a escala 1:2.000, sendo classificado na classe A. Nesse caso, 97% das discrepâncias foram menores que o PEC, que é 2.5 metros. O RMS foi de 0.83 metros, sendo menor que os 1.5 metros definidos pelo EP.

Figura 11 – Resultado da avaliação da acurácia Posicional Planimétrica para a escala de 1:5.000.

Padrões do Decreto 89.817/ET-CQDG:					
Classe	ET-CQDG	PEC (mm)	EP (mm)	PEC (m)	EP (m)
	A	0,280	0,170	1,4	0,85
A	B	0,500	0,300	2,5	1,5
B	C	0,800	0,500	4	2,5
C	D	1,000	0,600	5	3

Estadísticas	Este	Norte	Posicional
nº pontos	98	98	98
média	-0,0708	-0,1112	0,6323
desvio	0,4513	0,6933	0,5458
variância	0,204	0,481	0,298
RMS	0,4545	0,6986	0,8335
máximo	0,8989	1,786	4,055
mínimo	-1,9913	-4,049	0,0847
curtose	5,548	12,6991	19,1757
assimetria	-0,8383	-1,9179	3,4222
soma	19,756	46,620	28,899
nº outliers	-	-	0

Classificação do Decreto 89.817 / ET-CQDG:

Classe	ET-CQDG	%d(E) < PEC	%d(N) < PEC	%d(abs) < PEC	RMS < EP	Resultado
	A	98,980	94,898	94,898	Passou	Aprovado
A	B	100,000	100,000	97,959	Passou	Aprovado
B	C	100,000	100,000	98,980	Passou	Aprovado
C	D	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado

Fonte: A autora.

Para a escala 1:10.000, o produto também foi acurado, sendo classificado na Classe A. Os resultados da classificação bem como alguns de seus dados estatísticos se encontram na Figura 12.

Figura 12– Resultado da avaliação da acurácia Posicional Planimétrica para a escala de 1:10.000.

Padrões do Decreto 89.817/ET-CQDG:					
Classe	ET-CQDG	PEC (mm)	EP (mm)	PEC (m)	EP (m)
	A	0,280	0,170	2,8	1,7
A	B	0,500	0,300	5	3
B	C	0,800	0,500	8	5
C	D	1,000	0,600	10	6

Estadísticas	Este	Norte	Posicional
nº pontos	98	98	98
média	-0,0708	-0,1112	0,6323
desvio	0,4513	0,6933	0,5458
variância	0,204	0,481	0,298
RMS	0,4545	0,6986	0,8335
máximo	0,8989	1,786	4,055
mínimo	-1,9913	-4,049	0,0847
curtose	5,548	12,6991	19,1757
assimetria	-0,8383	-1,9179	3,4222
soma	19,756	46,620	28,899
nº outliers	-	-	0

Classificação do Decreto 89.817 / ET-CQDG:

Classe	ET-CQDG	%d(E) < PEC	%d(N) < PEC	%d(abs) < PEC	RMS < EP	Resultado
	A	100,000	98,980	98,980	Passou	Aprovado
A	B	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
B	C	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
C	D	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado

Fonte: A autora.

Do mesmo modo, o produto na escala de 1:25.000 também obteve classificação classe A (Figura 13), com 100% das discrepâncias menores que a PEC, que é 12.5 metros. O RMS de 0.83 metros é um valor menor que os 7.5 metros definidos pelo erro padrão (EP).

Figura 13 – Resultado da avaliação da acurácia Posicional Planimétrica para a escala de 1:25.000.

Padrões do Decreto 89.817/ET-CQDG:					
Classe	ET-CQDG	PEC (mm)	EP (mm)	PEC (m)	EP (m)
	A	0,280	0,170	7	4,25
A	B	0,500	0,300	12,5	7,5
B	C	0,800	0,500	20	12,5
C	D	1,000	0,600	25	15

Estadísticas	Este	Norte	Posicional
nº pontos	98	98	98
média	-0,0708	-0,1112	0,6323
desvio	0,4513	0,6933	0,5458
variância	0,204	0,481	0,298
RMS	0,4545	0,6986	0,8335
máximo	0,8989	1,786	4,055
mínimo	-1,9913	-4,049	0,0847
curtose	5,548	12,6991	19,1757
assimetria	-0,8383	-1,9179	3,4222
soma	19,756	46,620	28,899
nº outliers	-	-	0

Classificação do Decreto 89.817 / ET-CQDG:						
Classe	ET-CQDG	%d(E) < PEC	%d(N) < PEC	%d(abs) < PEC	RMS < EP	Resultado
	A	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
A	B	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
B	C	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado
C	D	100,000	100,000	100,000	Passou	Aprovado

Fonte: A autora.

Observou-se que o produto não foi classificado na classe A, na escala de 1:2.000, devido à alta acurácia demanda para essa grande escala. Somado a isso, cita-se o fato de os pontos de referências terem sido coletados por vetorização manual e sobre a imagem, o que não garante certeza posicional absoluta sobre o produto vetorizado. Contudo, os resultados mostraram-se acurados para as demais escalas, mostrando que os erros inerentes aos processos de geração do produto são menores que aqueles exigidos pelas escalas analisadas.

#### 4.4 Análise dos Resultados a partir do uso e ocupação do solo de Grupiara/MG

A partir do presente estudo é possível detectar áreas de degradação ambiental em algumas áreas do município, como exemplo as áreas de APPs, o que demanda uma análise ambiental mais detalhada *in loco*, para a elaboração de medidas mitigadoras, buscando minimizar os impactos ambientais na região.

É importante destacar que como a agropecuária é base na economia, suportada pela convergência da modernização da agricultura, junto ao acelerado crescimento da criação de gado, são inevitáveis as mudanças aceleradas no meio ambiente, tornando-se necessário a atuação do município na ação de conscientização social em termos de preservação e plano conservacionista, para buscarem juntos uma solução viável e sustentável. Esse tipo de ação demanda informações de uso e ocupação do solo, como o mapa gerado nesse estudo.

O conhecimento entorno do uso e ocupação do solo terá grande importância no planejamento e elaboração das políticas públicas para que sejam mais assertivas. Servirá de orientação não apenas para os gestores, mas também para a sociedade em geral, para que seja respeitada as características de cada área de desenvolvimento, respeitando o meio ambiente. Enfim, o mapa temático gerado é uma das camadas de informações que deve ser usada nessas discussões, o que dá segurança aos envolvidos nas tomadas de decisão. O mapa temático obtido mostrou-se apto a esse uso, dadas as grandes escalas nas quais foi classificado.

## 5. CONCLUSÃO

De acordo com o objetivo proposto pelo presente trabalho, os processamentos se mostraram eficazes no mapeamento dos alvos, principalmente devido ao resultado gerado pela segmentação/Classificação orientada ao objeto, uma vez que ela possibilitou evidenciar as áreas de interesse.

O processo de segmentação/classificação mostrou-se excelente, tendo por base os valores de referência de LANDIS; KOCH (1977), devido ao valor do índice Kappa ser superior a 80% (0.8370). Esse valor de Kappa possibilita afirmar que o produto apresenta qualidade satisfatória para análise do uso e ocupação do solo de um determinado município.

A classificação do uso e ocupação do solo busca destacar especificidades, ambientais, vulnerabilidades e as potencialidades existentes na área de um município, buscando identificar alternativas de uso e gestão do território.

Destaca-se ainda o fato de que as imagens do satélite CBERS 4 são gratuitas, o que proporciona uma redução no custo de execução do trabalho para de um município. Outro fator relevante é que estas imagens são produtos novos, portanto, estudos que envolvem sua utilização, validação e aplicação são importantes para mostrar a sua utilidade, dando apoio à continuidade do projeto CBERS.

## 6. RECOMENDAÇÕES

Em relação ao ganho de desempenho é recomendado a utilização de coordenadas de referência coletadas em campo para melhor qualidade na acurácia do mapa e também devido ao processo de coleta de amostra de forma manual/visual na imagem, uma vez que se mostrou demorado e vulnerável a erros grosseiros.

Avaliar outros produtos, como o Rapideye, que apresenta mesma resolução no modo multiespectral, sem necessidade da aplicação da fusão. Um problema nesse dado é a temporalidade, uma vez que o material disponível gratuitamente corresponde ao período de acordo da empresa fornecedora das imagens *Rapideye* com o MMA.

## REFERÊNCIAS

- ALMEIDA, Tati de et al. **Introdução ao processamento de imagens de sensoriamento remoto**. Brasília: Unb, 2012. 266 p. Disponível em: <<http://www.cnpq.br/documents/10157/56b578c4-0fd5-4b9f-b82a-e9693e4f69d8>>. Acesso em: 11 out. 2017.
- ALVARENGA, A.V et al. **Aplicação de operadores morfológicos na segmentação e determinação do contorno de tumores de mama em imagens por ultra-som**. Revista Brasileira de Engenharia Biomédica, Rio de Janeiro, v. 19, n. 2, p.91-101, ago. 2003.
- ANTUNES, A. F. B. **Classificação de ambiente ciliar baseada em orientação a objeto em imagens de alta resolução espacial**. Tese (Doutorado em Ciências Geodésicas) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2003.
- CAMPOS, M. A. A. **Padrão e dinâmica de floresta tropical, através de classificação orientada a objeto e da análise da paisagem com imagens Landsat**. Tese (Programa de Pós-graduação em Engenharia Florestal, Setor de Ciências Agrárias) – Universidade Federal do Paraná, Curitiba 2005.
- CARDOSO, E. S. J. (1999), **Compressão de Imagens Utilizando Decomposições em Multi-resolução Morfológicas**, Tese de Mestrado, Programa de Engenharia Elétrica, COPPE, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 114 p.
- CHAVEZ, J. P.S. **An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction of multispectral data**. Remote Sensing of Environment. New York, v.24, p. 459-479, 1988.
- CENTENO, J. A. S. **Sensoriamento Remoto e Processamento de Imagens Digitais**. Curitiba: Universidade Federal do Paraná, 2004.
- CLIMA-GRUPIARA. Disponível em: <<https://pt.climate-data.org/location/176087/>>. Acesso em: 20 out. 2017.
- CRUZ, Z Q. **Ensaio de segmentação e classificação digital de imagens Cbers utilizando o sistema Spring em uma unidade de conservação ambiental estudo de caso: parque nacional da serra dos órgãos(parnaso)**. II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife /PE, 2008 p.
- CUNHA, K. L. **Uso de imagens landsat e cbers no mapeamento da suscetibilidade à erosão na região de Primavera DDo Leste – MT**. 2009. 130 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Física Ambiental, Universidade Federal de Mato Grosso, Cuiabá, 2009.
- DI GREGORIO, A. **Land cover classification system (LCCS), version 2 – classification concepts and user manual**. Rome: FAO, 2005. 208 p. ISBN 92-0510-5327-8.
- DEÁK, C. **Rent theory and the price of urban land/ Spatial organization in a capitalist economy**. 289 p. 1985. Tese (Doutorado em Filosofia) – Cambridge University, Cambridge, 1985



FACON, J. **Morfologia Matemática: Teoria e Exemplos**. Editora Champagnat, 1996. 304 p

FREITAS, L. O. **Avaliação da Utilização de Imagens CBERS em Estudos de Uso e Cobertura do Solo**. 2010. 35 f. Monografia (Especialização) - Curso de Curso de Especialização em Geoprocessamento, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte, 2010.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. **Processamento de imagens digitais**. São Paulo: Ed. Edgard Blücher, 2000. 509 p.

GRIMMOND, S. **Urbanization and global environmental change: local effects of urban warming**. *Geographical Journal*, n. 173, p. 83–88, 2007.

INPE - Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **CBERS: usos e aplicações**. 2007. Disponível em: <<http://www.cbears.inpe.br/>>. Acesso em: 12 out 2017.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>>. Acesso em: 09 de outubro de 2014.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>>. Acesso em: 29 de outubro de 2017.

INUI, C. Metodologia para Controle de Qualidade de Cartas Topográficas Digitais. Dissertação (Mestrado) - Universidade de São Paulo. Programa de Pós-Graduação em Geografia Humana. São Paulo, Brasil, 2006. 119 p.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres**. São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009. 4-29p.

KOTZ, S.; JOHNSON, N. **Encyclopedia of statistical sciences**. New York: John Wiley e Sons, 1983.

LANDIS, J.R.; KOCH, G.G. **The measurement of observer agreement for categorical data**. *Biometrics*, v.33, n.1, p. 159-174, 1977.

LEONARDI, F; RODRIGUES, T.; SILVA, E. A. **Aplicação de rotina morfológica para detecção de pistas de aeroportos em imagens de alta resolução**. II Simpósio Brasileiro de Geomática. Presidente Prudente/SP, 2007p.

LI, J.; LUO, J.; MING, D.; SHEN, Z., “A New Method for Merging IKONOS Panchromatic and Multispectral Image Data”, *IEEE Publications*, 2005, pp. 3916 – 3919.

MEDEIROS, J. S. **Bancos de Dados Geográficos e Redes Neurais Artificiais: Tecnologias de Apoio à Gestão de Território**. São Paulo, 1999. 221 f. Tese (Doutorado em Geografia) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo.

MOREIRA, M. A. Fundamentos do Sensoriamento e Metodologia de Aplicação. Viçosa, ED UFV, 3 ed. 2011.

NEVES, S. R.; MENDONÇA, G.V.; SILVA, E. A. B. **Um método para segmentação morfológica de imagens infravermelhas utilizando wavelets**. XIV Congresso Brasileiro de Automática. Natal/RN, 2002 p.

NOVAIS, G.T. **Caracterização Climática da Mesorregião do Triângulo Mineiro/Alto Paranaíba e do entorno da Cerra da Canastra.**, 2011. 189 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

NOVO, E. M. L. de M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 3. ed., rev. e ampl. São Paulo: Edgard Blucher, 2008. 1-10;256-289p.

PEREIRA, T. A. J.; NERO, M. A. **Análise de Normas de Controle de Qualidade Posicional em Cartografia ao Redor do Mundo: Exemplos Atuais De Alguns Países**. IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação. Recife - PE, 06- 09 de Maio de 2012. p. 001 – 009.

PEREIRA, T. **PLANO CONSERVACIONISTA PARA A BACIA DO CÓRREGO DOS BAMBUS, EM GRUPIARA (MG)** .2015. 9 f. Dissertação (Mestrado) - Curso de Programa de Pós-graduação em Geografia, Universidade Federal de Uberlândia, Uberlândia.

RANCHIN, T.; WALD, L., “Fusion of High Spatial and Spectral Resolution Images: The ARSIS Concept and its Implementation”, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*, Vol.66, No.1, 2000, pp 49-61.

RIBEIRO, J. F; WALTER, B. M. T. **As principais fitofisionomias do Bioma Cerrado: Ecologia e flora**. Brasília: EMBRAPA, 2008. v. 1, p. 91-147.

ROSA, R. **Introdução ao sensoriamento remoto**. 7. ed. Uberlândia: EDUFU, 2009.

SANTOS, A.F., **Lançamento do CBERS-4: Sucesso Total**. Revista Brasileira de Direito Aeronáutico e Espacial, 2014

SANTOS, A. P. S. **Avaliação do Padrão de Exatidão Cartográfica em imagens IKONOS e CBERS-2B na Bacia do Ribeirão São Bartolomeu, em Viçosa-MG**. Monografia – Engenharia de Agrimensura, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2008. 41 p.

SANTOS, A.P. **Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais com o Uso de Estatística Espacial**. 2010. 128 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

SCARIM, J. L.; TEIXEIRA, A. L. A. **Digitalização e Conversão raster/Vector de Mapas**. Fator GIS, Curitiba, n.6, 16-21p, 1994.

SCHULTZ, G.A. **Remote sensing in hydrology**. *Journal of Hydrology*, v.100, p. 239-265, 1988.

SILVA, V.M. **Classificação de imagens por sensoriamento remoto: Análise comparativa das metodologias Pixel a Pixel e Segmentação por Região**. 2014. 41 f. Monografia (Especialização) - Curso de Departamento de Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

VIEIRA, J. J. A. **Análise comparativa dos métodos de classificação de imagem de alta resolução para mapeamento da cobertura do solo.** 2011. 32 f. Monografia (Especialização) - Curso de Departamento de Cartografia, Universidade Federal de Minas Gerais, Belo Horizonte.

VOOGT, J. A.; OKE, T. R. **Complete urban surface temperatures.** *Journal of Applied Meteorology*, n. 36, p. 1117–1132, 1997.