

José Irley Ferreira Júnior

Análise da efetividade ambiental da Reserva Legal no município de Uberlândia – MG, utilizando técnicas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento

XIV Curso de Especialização em Geoprocessamento



UFMG
Instituto de Geociências
Departamento de Cartografia
Av. Antônio Carlos, 6627 – Pampulha
Belo Horizonte
cartografia@igc.ufmg.br

JOSÉ IRLEY FERREIRA JÚNIOR

**ANÁLISE DA EFETIVIDADE AMBIENTAL DA RESERVA LEGAL NO
MUNICÍPIO DE UBERLÂNDIA – MG, UTILIZANDO TÉCNICAS DE
SENSORIAMENTO REMOTO E GEOPROCESSAMENTO**

Monografia apresentada como requisito parcial à obtenção do grau de Especialista em Geoprocessamento. Curso de Especialização em Geoprocessamento. Departamento de Cartografia. Instituto de Geociências. Universidade Federal de Minas Gerais.

Orientador: Dr. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega

Belo Horizonte

2013

ii

F383a Ferreira Júnior, José Irley
2013 Análise da efetividade ambiental da Reserva Legal no município de Uberlândia – MG [manuscrito]: utilizando técnicas de sensoriamento remoto e geoprocessamento/ José Irley Ferreira Júnior. – 2013.
ix, 45 f. : il (color).

Monografia (especialização em Geoprocessamento) – Universidade Federal de Minas Gerais. Instituto de Geociências, 2013.

Orientador: Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega

Bibliografia: f. 44 – 45.

1. Monitoramento Ambiental 2. Solo – Uso 3. Landsat (Satélites) 4. Política Ambiental. I. Nóbrega, Rodrigo Affonso de Albuquerque. II. Universidade Federal de Minas Gerais, Instituto de Geociências. III. Título.

CDU: 504:502.34

Aluno José Irley Ferreira Júnior

Monografia defendida e aprovada em cumprimento ao requisito exigido para obtenção do título de Especialista em Geoprocessamento, em 4 de dezembro de 2013, pela Banca Examinadora constituída pelos professores:



Prof. Dr. Rodrigo Affonso de Albuquerque Nóbrega



Prof. Dr. Marcos Antonio Timbó Elmiro

RESUMO

Com o advento dos Sistemas de Informação Geográfica - SIG, as análises espaciais/ambientais têm ganhado qualidade e agilidade. Esta tecnologia tem se tornado cada vez mais frequente. No contexto brasileiro não tem sido diferente, a área ambiental tem se aproveitado desta ferramenta para o cumprimento de objetivos como o mapeamento de Unidades de Conservação, Áreas de Preservação Permanente, Reservas Legais entre outros. Referente à Reserva Legal, elencada pelo Código Florestal Brasileiro – Lei 12.651/2012 e a Lei de Proteção a Biodiversidade do Estado de Minas Gerais (MG) – Lei 14.309/2002, esta se mostra como uma forma de conservação e reabilitação dos processos ecológicos, da biodiversidade, ao abrigo e proteção de fauna nativa e caracteriza-se como um importante instrumento para a preservação ambiental. Considerando a relevância desta política de conservação, o objetivo deste trabalho trata de investigar a efetividade ambiental da Reserva Legal, no Município de Uberlândia – MG através de técnicas de Sensoriamento Remoto, principalmente análise temporal, e Geoprocessamento. Este município foi escolhido devido à degradação ambiental causada pela agropecuária e empreendimentos industriais de outros setores. No trabalho são desenvolvidas análises de imagens NDVI – *Normalized Difference Vegetation Index*, geradas a partir de imagens dos satélites TM-LANDSAT 5 e 8, dos anos de 2003 à 2013, intercalando em períodos de 2 anos. Também é feita a classificação automática de imagens, quantificação das classes geradas para verificação do uso da terra. É utilizado arquivo vetorial de pontos contendo a localização das Reservas Legais e as respectivas datas de averbação. Constatou-se o recuo da vegetação dentro do período citado usando os produtos gerados pelo NDVI e classificação das imagens, levando em consideração a data de averbação das Reservas Legais. A política de preservação ambiental objetivada pela Reserva Legal mostrou que sua manutenção é importante para a continuidade dos maciços florestais, todavia é necessário o monitoramento adequado para garantir sua efetivação.

Palavras Chaves: Política Ambiental, LANDSAT, uso da terra, monitoramento ambiental.

SUMÁRIO

	<u>Pág.</u>
LISTA DE FIGURAS	vi
LISTA DE TABELAS	vii
LISTA DE SIGLAS E ABREVIACÕES	viii
1 INTRODUÇÃO.....	09
1.1 - Apresentação	09
1.2 - Objetivos	11
2 - REVISÃO BIBLIOGRÁFICA.....	12
2.1 - Sensoriamento Remoto	10
2.2 - Classificação de Imagens	15
2.2.1 - Classificação pelo Método de Orientação a Objetos.....	16
2.3 - Monitoramento Ambiental e NDVI	17
3 - MATERIAIS E MÉTODOS	21
3.1 - Caracterização da Área de Estudo.....	21
3.2 - Etapas Desenvolvidas.....	23
4 - RESULTADOS E ANÁLISES	26
4.1 - Classificação da Imagem de 2003.....	26
4.2 - Classificação da Imagem de 2009.....	29
4.3 - Classificação da Imagem de 2013.....	33
4.4 - Síntese das Informações de Uso do Solo	35
4.5 - Análise Localizada das Reservas Legais.....	37
5 - DISCUSSÕES.....	41
6 - CONCLUSÕES.....	42
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	44

LISTA DE FIGURAS

	<u>Pág.</u>
01 – Área destinada a Reserva Legal sem vegetação nativa. Em desacordo c/ a legislação ..	10
02 – Potencial de Produtividade usando o NDVI.....	19
03 – Diagrama Metodológico Simplificado	21
04 – Localização do Município de Uberlândia - MG.....	22
05 – Mapa de Classificação – 2003	28
06 – Mapa de Classificação – 2009	31
07 – Lago da UHE – Capim Branco.....	32
08 – Mapa de Classificação – 2013	34
09 – Evolução do Solo no Município de Uberlândia – MG	36
10 – Área de Floresta X Reserva Legal.....	37
11 – Amostras de Reservas Legais e Classificação do Uso do Solo.....	38
12 – Imagens NDVI da região norte de Uberlândia com amostras de Reservas Legais	40

LISTA DE TABELAS

	<u>Pág.</u>
01 – Características dos Satélites LANDSAT 5 e 8	15
02 – PIB do Município de Uberlândia, 2010.....	22
03 – Chave de Interpretação para Classificação das Imagens de Uberlândia – MG.....	25
04 – Quantificação das Classes em Uberlândia.....	35

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

IEF	- Instituto Estadual de Florestas
COPAM	- Conselho Estadual de Política Ambiental
CONAMA	- Conselho Nacional de Meio Ambiente
SERE	- Sensoriamento Remoto
GIS	- Geographic Information System
REM	- Radiação Eletromagnética
Pixel	- Picture Element
APP	- Área de Preservação Permanente
CCD	- Couple Charged Device
PIB	- Produto Interno Bruto
USGS	- United States Geological Survey
TM	- Thematic Mapper
SIRGAS	- Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas
WGS84	- World Geodetic System, 1984
UHE	- Usina Hidrelétrica

1 INTRODUÇÃO

1.1 Apresentação

A utilização do Sistema de Informação Geográfica no âmbito público e privado está se tornando cada vez mais constante. Procura-se com isso, aperfeiçoar os processos de análises espaciais que precisam ser feitas para a tomada de decisões. A área ambiental tem se aproveitado desta ferramenta para o cumprimento de objetivos como o mapeamento de unidades de conservação, áreas de preservação permanente, reserva legal entre outros.

A Reserva Legal é uma forma de conservação e reabilitação dos processos ecológicos, à conservação da biodiversidade e ao abrigo e proteção e fauna nativas e caracteriza-se como um importante instrumento para a preservação ambiental não só do Estado de Minas Gerais, mas também de todo país. Para que se cumpra a preservação destas áreas, são criadas normas jurídicas para que se coloque o peso da obrigação para os proprietários de terras rurais. Como exemplo dessas leis destacam-se: o Novo Código Florestal Brasileiro – Lei 12.651, de 25 de Maio de 2012, especificamente em Minas Gerais, a Lei 20.922, de 17 de Outubro de 2013 relacionada às políticas florestais e de proteção à biodiversidade no Estado. Esta última revogou a lei 14.309 de 19 de Junho de 2002 que tratava deste assunto. Existem também outras bases jurídicas como Deliberações Normativas do Conselho Estadual de Política Ambiental – COPAM-MG, portarias do Instituto Estadual de Florestas – IEF-MG, resoluções do Conselho Nacional do Meio Ambiente - CONAMA entre outros.

Mesmo com base legislativa ambiental forte, o cumprimento das mesmas deixa a desejar. Em observações de campo em áreas rurais, por exemplo, é nítido o descumprimento da lei no que diz respeito à invasão de Áreas de Preservação Permanente de rios e nascentes. Como exemplo, ocorrem supressões da vegetação para lavra de minerais, criação de pastagens, agricultura entre outros. Outra situação irregular são as Reservas Legais que mesmo averbadas, não apresentam vegetação que justifique a sua localização (Figura 01).



Figura 01: Área destinada a Reserva Legal sem vegetação nativa. Em desacordo com a legislação.

Isso não acontece em todos os casos, mas tem ocorrido significativamente de acordo com observações de campo. Acredita-se que existam várias formas de se monitorar estas ações como visitas *in loco* do órgão ambiental responsável para garantir o cumprimento da legislação, análise documental da propriedade, uso da tecnologia entre outros. Em relação à tecnologia, destacam-se o Sensoriamento Remoto e, pois já são exploradas várias técnicas e desenvolvidas diversas ferramentas para análise ambiental.

O Sensoriamento Remoto é uma técnica de aquisição de dados sem a necessidade de ter contato físico com o alvo. Contudo, para que se tenha uma análise efetiva e de qualidade de imagens orbitais ou fotos aéreas é necessário ter conhecimento da área de estudo. Em Sensoriamento Remoto (SERE) é possível adquirir informações estatísticas muito úteis para se tirar conclusões a respeito de vários temas como desmatamento, evolução urbana, desastres naturais entre outros. O Geoprocessamento se alinha ao SERE para subsidiar o trabalho que está sendo feito com imagens e fotos e fornecer mais ferramentas de análises de forma que um tema complementa o outro para se chegar a um resultado confiável. É importante salientar que o papel do analista neste contexto é primordial, pois é ele que irá realizar o cruzamento de dados para gerar informações.

O monitoramento ambiental é um campo vasto para aplicação do Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento, no caso deste trabalho, que trata da Reserva Legal, será possível tirar conclusões no âmbito da efetividade ambiental desta forma de preservação e com isso servir de subsídio para importantes tomadas de decisão.

1.2 Objetivos

O objetivo cerne desta pesquisa é investigar a efetividade ambiental da Reserva Legal em Uberlândia – MG através de técnicas de Sensoriamento Remoto, principalmente análise temporal, e Geoprocessamento no intuito de mostrar a importância desta política de conservação para o meio ambiente.

Pretende-se estudar o avanço ou o recuo da vegetação no município de Uberlândia ao longo de 10 anos de maneira que seja possível demonstrar se existe reflexo da política de conservação da Reserva Legal.

Os objetivos específicos são:

- Calcular remanescentes florestais que tenham relação com a Reserva Legal, assim como, com o uso e ocupação do solo do município de Uberlândia;
- Verificar se a proposta da Reserva Legal de servir como uma das formas de corredor ecológico está sendo cumprida;
- Avaliar a eficácia das ferramentas de Sensoriamento Remoto e Geoprocessamento utilizadas na modelagem dos dados;
- Indicar situações que estejam em contradição com a proposta da Reserva Legal;
- Definir metodologia de análise espacial/ambiental em SERE/GIS no âmbito da Reserva Legal em consonância com o uso e ocupação do solo.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

Neste capítulo será feita uma revisão teórica e conceitual a respeito dos assuntos que vão ser abordados no suporte desta pesquisa. Os principais tópicos abordados estão relacionados a Sensoriamento Remoto, classificação de imagens, monitoramento ambiental e NDVI.

2.1 Sensoriamento Remoto

A origem do Sensoriamento Remoto está ligada ao surgimento da fotografia aérea. Sua história pode ser dividida em dois períodos. O primeiro de 1860 a 1960, baseado no uso de fotografias aéreas, e outro, de 1960 aos dias atuais, apresentando uma variedade de imagens de diversos satélites. Inicialmente o Sensoriamento Remoto estava estreitamente ligado ao uso militar. A primeira fotografia aérea data de 1856 e foi tirada de um balão. Em 1862, durante a guerra civil americana, o corpo de balonistas de um exército fazia o reconhecimento das tropas confederadas com fotografias aéreas. Em 1909, surgem as fotografias tiradas de aviões sendo que na Primeira Guerra Mundial seu uso intensificou-se. Na Segunda Guerra Mundial o uso do Sensoriamento Remoto desenvolveu-se com a utilização do filme infravermelho com o objetivo de detectar camuflagem (diferenciar vegetação de alvos pintados de verde). Também na Segunda Guerra, introduziram-se novos sensores, como o radar. O uso militar do SERE intensificou-se na Guerra Fria. Em 1960 ocorreram as primeiras imagens orbitais da superfície da Terra que foram obtidas através de satélites tripulados como o Mercury, Gemini e Apollo. Também em 1960 foram lançados satélites meteorológicos e começaram a fazer registros sistemáticos da Terra. Em 1972, foi lançado o primeiro satélite de recursos terrestres, o ERTS-1, à frente denominado de Landsat-1. As tecnologias dos sensores foram se desenvolvendo em diversas funcionalidades e atualmente têm-se produtos e serviços avançados tanto para uso militar quanto civil. (FLORENZANO, 2011). Segundo Novo,

... fica evidente também que o Sensoriamento Remoto é fruto de um esforço multidisciplinar que envolveu e envolve avanços na Física, na Físico-Química, na Química, nas Biociências e Geociências, nas Ciências da Computação, etc. (NOVO, 1992).

Percebe-se que o Sensoriamento Remoto não serve a apenas uma ciência, mas várias. Sua utilização é ampla que proporciona multiplicidades de aplicações em várias áreas como:

urbanas, agrícolas, geológicas, ecológicas, florestais, cartográficas, oceanográficas, hidrológicas entre outras. Tanto setores públicos como privados podem se beneficiar das vantagens que esta técnica traz na elaboração e conclusão de trabalhos que necessitam de informações confiáveis.

O Sensoriamento Remoto é a tecnologia que permite obter dados da superfície terrestre sem o contato com a mesma. O termo “sensoriamento” refere-se à aquisição de dados através de sensores instalados em plataformas terrestres, aéreas e orbitais. O termo “remoto” é utilizado devido à obtenção de dados se dar a distância (FLORENZANO, 2011).

Para Novo, 1992 (...) “o Sensoriamento Remoto visto como sistema de aquisição de informações pode ser subdivido em dois subsistemas: 1) subsistema de coleta de dados e 2) subsistema de análise de dados”. Para a coleta de dados a autora coloca algumas condições como a existência de fonte de radiação, incidência da radiação sobre a superfície terrestre entre outras. Em relação à análise dos dados, estes são exatamente a interpretação daqueles adquiridos no primeiro subsistema como o processamento eletrônico do sinal, modelagem etc.

A aquisição de dados de Sensoriamento Remoto depende do uso da energia. Esta pode ser de origem natural ou artificial. Esta energia é chamada de radiação eletromagnética (REM) que se propaga em ondas eletromagnéticas a velocidade da luz (300.000 km/s). Esta radiação é medida em frequência em unidades de hertz (Hz) e o comprimento de onda (λ) em unidades de metro e seus submúltiplos. O espectro eletromagnético é dividido em regiões segundo o comprimento de onda e frequência. Existem desde comprimentos de ondas curtos como os raios cósmicos, gama (γ), de alta frequência, como comprimentos de ondas longos, ondas de rádio e TV, de baixa frequência.

A REM apresenta uma sensibilidade ao interagir com determinados alvos. A partir disso, é possível registrar a reflectância de cada objeto, chamada de assinatura espectral. Posterior a captação da energia emitida, refletida ou retroespalhada, o sensor a registra como sinal elétrico e cria-se um valor digital contido em uma matriz, resultando em uma imagem. Este valor digital está associado à quantidade de bits que a imagem possui como, por exemplo, 8, 11, 12 ou 16 bits. Estes valores são conhecidos como resolução radiométrica que “pode ter um impacto significativo sobre nossa capacidade de medir as propriedades dos objetos da cena”

(JENSEN, 2005). Estes valores estão contidos no pixel (*picture element*) que é definido como o menor elemento de uma imagem. Segundo Richards, 2005 o *pixel* também é nomeado de elemento discreto (RICHARDS et al, 2005). O tamanho do *pixel* diz qual a resolução espacial de uma imagem, ou seja, a representação do objeto que se pretende monitorar depende diretamente de suas dimensões. Segundo Meneses e Almeida, 2012:

“... a experiência mostra que, de fato, para um objeto ser resolvido na imagem, a resolução espacial nominal deveria ser, pelo menos, a metade do tamanho do objeto medido na sua menor dimensão. Mesmo assim, o objeto ainda tem que apresentar um bom contraste de reflectância com os alvos que lhe são vizinhos, vistos na dimensão do pixel.”

Atualmente existem diversos satélites com sensores que trabalham em várias faixas da REM e possuem enumeradas resoluções espaciais e radiométricas. Exemplos são: Ikonos, Quickbird, o Terra que possui vários sensores para estudos ambientais em grandes regiões, como MODIS com resolução de 250m. Os dois primeiros trabalham principalmente na região do visível e o terceiro, devido ao foco de monitoramento ambiental, trabalha em várias regiões do espectro, um total de 36 bandas.

O programa LANDSAT possui uma família de satélites de observação dos recursos terrestres, os quais têm sido intensamente utilizados para provimento análises cobertura e uso do solo em todo o globo. O primeiro foi lançado em julho de 1972 pela NASA, e até o momento está na oitava geração. Os três primeiros satélites tinham como sensor principal o MSS – *Multispectral Scanner System*, que operavam em quatro canais, dois no visível e dois no infravermelho próximo. Uma versão que ainda é muito utilizada é o LANDSAT 5, que foi lançado em 1984. O lançamento do LANDSAT 8, possibilita estudos ambientais mais apurados devido a adição de outros sensores e por assim trabalhar em várias faixas do espectro eletromagnético. O principal deles é o OLI – *Operacional Land Imager* que inclui novas faixas do azul profundo e cirrus. Outro sensor adicionado é o TIRS – *Thermal Infrared Sensor*. Na Tabela 01 estão as descrições das bandas que integram o LANDSAT 5 e 8.

Tabela 01: Características dos satélites LANDSAT 5 e 8

LANDSAT-5 Bands	Comprimento de onda (micrometros)	Resolução (metros)	LANDSAT-8 Bands	Comprimento de onda (micrometros)	Resolução (metros)
Banda 1 – Azul	0.45 – 0.52	30	Banda 1 – Coastal aerosol	0.43 – 0.45	30
Banda 2 – Verde	0.52 – 0.60	30	Banda 2 – Azul	0.45 – 0.51	30
Banda 3 – Vermelho	0.63 – 0.69	30	Banda 3 – Verde	0.53 – 0.59	30
Banda 4 – IVP	0.76 – 0.90	30	Banda 4 – Vermelho	0.64 – 0.67	30
Banda 5 – IVM	1.55 – 1.75	30	Banda 5 – IVP	0.85 – 0.88	30
Banda 6 – IVT	10.40 – 12.50	30	Banda 6 – SWIR 1	1.57 – 1.65	30
Banda 7 – IVM	2.08 – 2.35	30	Banda 7 – SWIR 2	2.11 – 2.29	30
Banda 8 - Pancromática	0.50 – 0.90	15	Banda 8 – Pancromática	0.50 – 0.68	15
			Banda 9 – Cirrus	1.36 – 1.38	30
			Banda 10 – IVT (TIRS) 1	10.60 – 11.19	100
			Band 11 – IVT (TIRS) 2	11.50 – 12.51	100

Fonte: http://landsat.usgs.gov/band_designations_landsat_satellites.php

2.2 Classificação de Imagens

O olho humano não é capaz de identificar um grande número de variações de tonalidades.. O uso do computador no tratamento digital das imagens possibilita a análise de tantos *pixels* e bandas quantos forem necessários. Para isso, são aplicadas técnicas de processamento digital que são voltadas para a classificação digital das imagens, também conhecida como classificação automática. Segundo Ponzoni, 2012:

“A classificação digital é um processo de reconhecimento de padrões e de objetos homogêneos e aplica-se ao mapeamento de áreas consideradas pertencentes a uma única classe de objetos que constituem a legenda do mapeamento pretendido.”

Isso quer dizer que a classificação visa o reconhecimento automático de objetos agrupando-os em classes que apresentam similaridade em suas respostas espectrais. O processo de classificação inicialmente se apresenta de maneira simples, mas é necessário escolher ferramentas corretas para sua aplicação. De acordo com Richards, 2005:

“Em princípio, a classificação de imagens multiespectrais deve ser simples. Portanto, para alcançar os resultados aceitáveis de precisão é necessário em primeiro lugar escolher as ferramentas analíticas a serem utilizadas e, em seguida, na sua aplicação.”

Existem técnicas de classificação supervisionada (as classes são definidas a *priori* pelo analista) e classificação não supervisionada (as classes são definidas a *posteriori*, como um resultado da análise). No método de classificação supervisionada, o analista deve fornecer áreas de treinamento (amostras) das classes especialmente representativas, porém não precisam ser homogêneas. O analista identifica os *pixels* de acordo com a classe de interesse e posteriormente o algoritmo escolhido realiza a tarefa de localizar os demais *pixels* pertencentes à classe que está sendo trabalhada. As áreas de treinamento são delimitadas pelo analista conforme o conhecimento que o mesmo tem da área através de, por exemplo, dados coletados em campo. Quanto mais amostras da classe, melhor será o resultado, pois será possível identificar a variabilidade de resposta espectral dos *pixels* selecionados. No método de classificação não supervisionada, as classes não são predeterminadas. Um algoritmo decide, baseado em regras estatísticas entre outras, quais as classes serão separadas e quais os *pixels* serão pertencentes a cada uma delas.

2.2.1 Classificação pelo Método de Orientação a Objetos

Um dos métodos de classificação supervisionada é o de Orientação a Objeto. Este método permite que a classificação passe por uma segmentação que consiste em uma delimitação dos objetos com características espectrais (ou radiométricas) homogêneas como base para que se possa processar posteriormente. Sendo assim, a classificação passa a considerar informações retiradas desses objetos, como a resposta espectral, média, variância, dimensões, forma e textura. Neste tipo de método também se considera o limiar de escala fornecido pelo usuário, sendo a propriedade que define o tamanho do objeto. Para HAY e CASTILLA (2008) apud RIBEIRO e KUX (2009) “a abordagem orientada a objetos, possui vantagens em relação aos modelos tradicionais de classificação de imagens: pelo fato de os elementos considerados não serem os *pixels* isolados, mas grupos deles (regiões de *pixels*)...”. Segundo NÓBREGA (2007), embora em desenvolvimento, a classificação de imagens baseada em objetos tem como base um fluxo determinado de procedimentos que se inicia, por exemplo, pelo emprego de técnicas de segmentação para a criação dos objetos. Definidos os objetos, extraem-se, indiretamente dos mesmos, informações espectrais e geométricas. Essa gama maior de informações passa a ser modelada considerando também as informações contextuais.

Um dos algoritmos utilizados neste método de classificação é o Vizinho mais Próximo (*Nearest Neighbour*). Este algoritmo é particularmente simples em seu conceito, mas pode levar tempo para aplicá-lo. Os *pixels* com proximidade espectral ocupam regiões próximas no espaço de atributos, e considerando suas características são prováveis que pertençam à mesma classe. De uma forma geral, um *pixel* desconhecido é rotulado de acordo com as amostras dos *pixels* feitos no treinamento e com isso escolhe-se a classe mais representativa entre um número pré-determinado de vizinhos mais próximos. (RICHARDS, 2006).

Métodos de classificação orientados a objetos tem sido utilizados com sucesso para mapeamento da cobertura do solo, em especial para imagens de alta resolução espacial. A alta variância proporcionada pelas imagens de alta resolução espacial dificulta a eficiência dos classificadores paramétricos tradicionais (pixel-a-pixel), e a classificação orientada a objeto tem ajudado a suprir tal lacuna. Pelo fato de se manter relação com as formas dos objetos, é possível realizar mapeamentos confiáveis que retratam melhor a realidade.

2.3 Monitoramento Ambiental e NDVI

Existem diversos estudos ambientais que utilizam a análise temporal de imagens de satélite para identificar áreas de desmatamento. No Brasil existem três sistemas de monitoramento na Amazônia que subsidiam políticas de combate ao desmatamento. O Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE desenvolve e mantém dois destes sistemas que são: 1 – Detecção em Tempo Real do Desflorestamento na Amazônia – DETER; 2 – Projeto de Cálculo do Desflorestamento da Amazônia – PRODES. Existe um terceiro sistema chamado de Sistema de Alerta do Desmatamento – SAD que foi desenvolvido e é mantido pelo Instituto do Homem e Meio Ambiente da Amazônia – IMAZON. O sistema DETER mapeia tanto corte raso quanto o processo de desmatamento e o SAD considera como desmatamento a supressão total (corte raso). Abaixo segue uma tabela com as características de cada programa:

Trabalhos como FLORENZANO (2002), PONZONI (2007), NOVO (2008) entre outros tem desenvolvido abordagens na área de monitoramento ambiental com a utilização de técnicas de Sensoriamento Remoto (análise de imagens de satélites multitemporais) e SIG. Segundo FLORENZANO (2011):

“O aspecto multitemporal das imagens de satélites permite avaliar e monitorar as áreas desmatadas. A partir da interpretação de imagens de satélites, podem ser gerados mapas de áreas desmatadas de diferentes datas. Com o uso de um SIG, é possível integrar essas informações e calcular as taxas de desmatamento.”

Conforme citado anteriormente, o governo brasileiro utiliza o Sensoriamento Remoto para monitoramento da vegetação e NOVO (1992) aborda a utilização desta técnica na década de 70 em nosso país:

“Em 1974, a Superintendência do Desenvolvimento da Amazônia (SUDAM) financiou um amplo programa de pesquisa, visando testar a utilização de dados orbitais LANDSAT para o monitoramento da cobertura vegetal na Amazônia. Em 1975, foram levantados cerca de 350.000 km² na região NE do Mato Grosso, através da inspeção visual das imagens MSS-LANDSAT na escala 1:1.000.000 e 1:250.000.”

Para se realizar o monitoramento ambiental, em Sensoriamento Remoto utiliza-se metodologias para cálculo de índice de vegetação. A literatura nos apresenta alguns como o Índice de Vegetação da Razão Simples (*Simple Ratio – SR*) que foi o primeiro índice a ser utilizado. É obtido pela divisão de valores de FRB – Fator de Reflectância Bidirecional referentes à região do infravermelho próximo por valores de FRB referente à região do vermelho. Existem outros índices como o PVI – Índice de Vegetação Perpendicular (*Perpendicular Vegetation Index*), SAVI - Índice de Vegetação Ajustado para o Solo (*Soil Adjusted Vegetation Index*) entre outros. Os dois mais utilizados são o NDVI – Índice de Vegetação da Diferença Normalizada (*Normalized Difference Vegetation Index*) e o EVI – Índice de Vegetação Melhorado (*Enhanced Vegetation Index*).

O NDVI normaliza a razão simples para o intervalo de -1 a +1. Para alvos terrestres, o limite inferior é aproximadamente zero (0), e o limite superior é aproximadamente 0,8. A Equação 1 fornece a expressão matemática deste índice

$$\text{NDVI} = (\text{NIR} - \text{RED}) / (\text{NIR} + \text{RED}) \quad (1)$$

Onde:

NIR = FRB no Infravermelho próximo;

RED = FRB no vermelho.

Segundo PONZONI et al (2012):

“...o NDVI é utilizado para construir perfis sazonais e temporais das atividades da vegetação, permitindo comparações interanuais desses perfis. O perfil temporal do NDVI tem sido utilizado para detectar atividades sazonais e fenológicas, duração do período de crescimento, pico de verde, mudanças fisiológicas das folhas e períodos de senescência.”

Atualmente o NDVI ainda é amplamente utilizado tendo sido explorado em áreas como em estudos climáticos e culturas agrícolas e florestais. Contudo, este método de análise possui suas limitações como, por exemplo, os pontos de saturação, que se manifestam de forma diferenciadas nas faixas espectrais do vermelho e infravermelho próximo; interferência atmosférica que também se diferencia nestas duas faixas espectrais; posicionamento do centro e largura de cada banda, tanto no vermelho quanto no infravermelho próximo, que varia de acordo com os sensores. O resultado do NDVI é apresentado em uma imagem em níveis de cinza onde os tons mais claros estão relacionados aos valores mais elevados enquanto os mais escuros, os valores mais baixos. As cores indicando a incidência da vegetação podem ser mudadas de acordo com a disponibilidade do software, veja a Figura 02 a seguir.

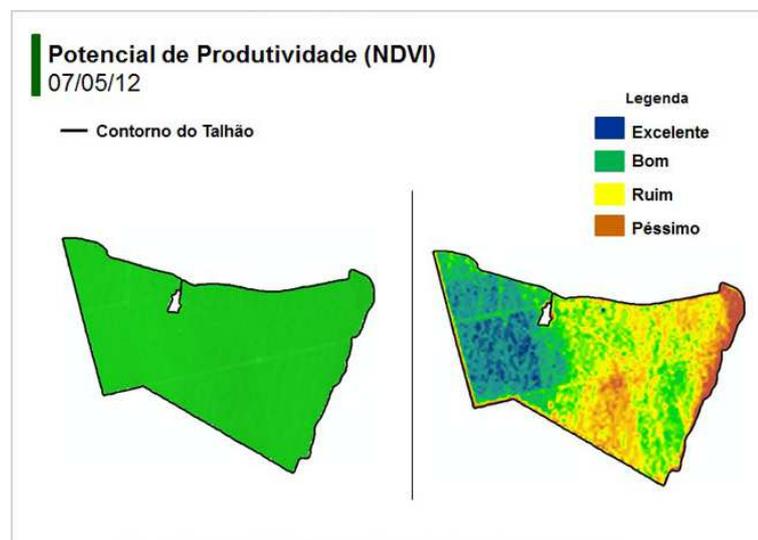


Figura 02: Potencial de Produtividade usando o NDVI

Os valores mais elevados estão ligados a maior presença de vegetação fotossinteticamente ativa, enquanto os valores mais baixos (escuras) representam áreas com menor quantidade de vegetação. A refletância bidirecional de dosséis vegetais nessas duas regiões espectrais

(infravermelho próximo e vermelho) é bastante influenciada por sombras, além de influência de parâmetros biofísicos. Devido a isso, a relação esperada entre o NDVI e a biomassa, por exemplo, pode não ser identificada para alguns tipos de cobertura vegetal ou ângulos de observação e de iluminação.

O NDVI em imagens de média resolução vem sendo amplamente utilizado no monitoramento ambiental da vegetação. Um estudo feito em Vila do Rio Pardo, Porto Velho – RO, realizou um monitoramento do desmatamento no período de 2000 a 2007 na Floresta Nacional do Bom Futuro utilizando imagens LANDSAT 5 TM. Os pesquisadores escolheram esta área por se tratar de uma Unidade de Conservação caracterizada também por processo de desmatamento por ocupação urbana irregular. Este estudo proporcionou o conhecimento das áreas desmatadas ano a ano de maneira quantitativa, isto é, foi possível saber em qual ano ocorreu maior avanço e em qual ano foi o menor. Esses dados foram repassados para os órgãos fiscalizadores que tomaram as devidas providências.

Outra exemplo de pesquisa realizada com a utilização do NDVI e imagens orbitais foi o emprego de imagens do sensor CCD do satélite CBERS foram trabalhadas para delimitação de APP – Áreas de Preservação Permanente no Distrito Federal. Através do NDVI foi possível identificar a variação da atividade fotossintética das vegetações remanescentes das categorias de APPs. Concluiu-se que a vegetação identificada apresenta alto índice de atividade fotossintética, contudo isso não significa que a vegetação existente seja nativa. Isso quer dizer que a análise foi feito no âmbito do Sensoriamento Remoto, abrindo precedentes para estudos ambientais mais específicos.

A aplicação do Sensoriamento Remoto no estudo da vegetação constitui um campo vasto de trabalho para diversos profissionais do universo acadêmico e claro, empresarial. O resultado alcançado será proporcional ao grau de conhecimento que o profissional tenha tanto da vegetação como dos fundamentos das técnicas. Qualquer iniciativa de envolver o Sensoriamento Remoto no estudo de vegetação deve ser precedida de cuidados e análises, com o intuito de identificar suas potencialidades e limitações.

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo, serão abordadas as etapas dos procedimentos adotados para o desenvolvimento deste estudo. A Figura 3 apresenta um diagrama simplificado da metodologia utilizada.

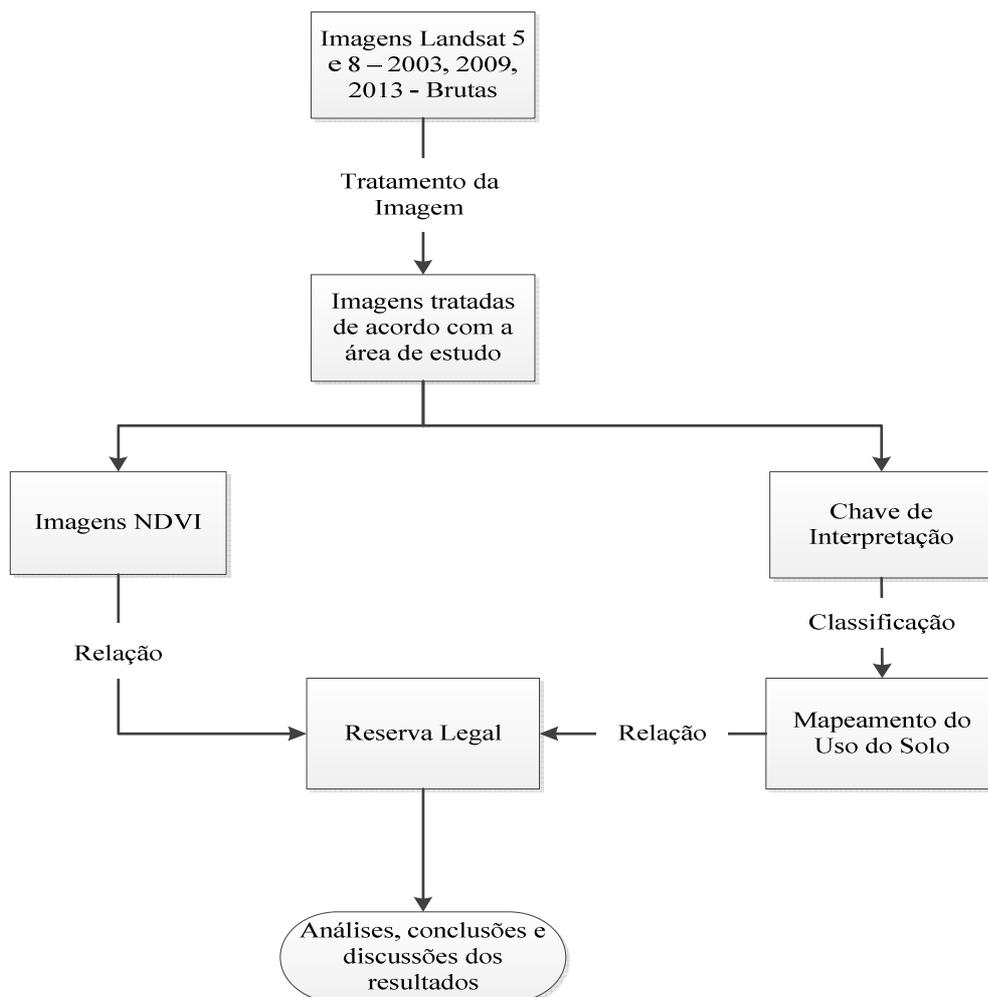


Figura 03 – Diagrama Metodológico Simplificado

3.1 Caracterização da Área de Estudo

O local que servirá de base para o desenvolvimento deste trabalho é o município de Uberlândia – MG. Localizado na região do Triângulo Mineiro, é considerado como cidade média que influencia a economia regional (Figura 04). A escolha deste município se deu

devido à maior parte de seu território se encontrar em zona rural (maior incidência de vegetação) e por este sofrer influência direta do agronegócio.

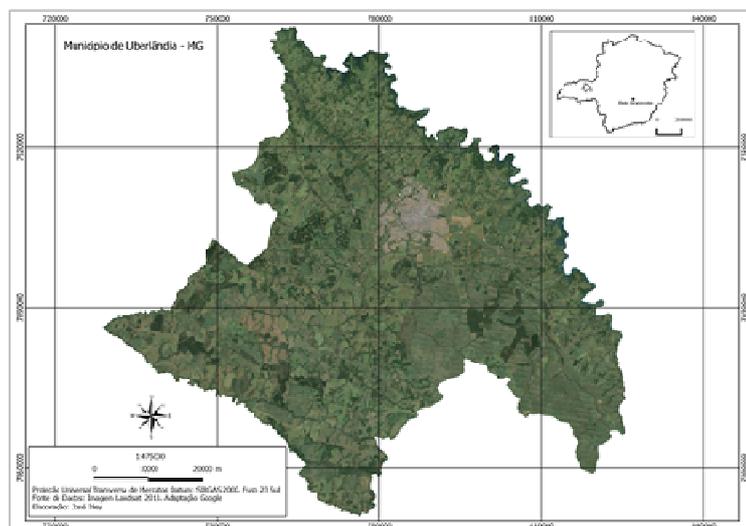


Figura 04 – Localização do Município de Uberlândia – MG

O município de Uberlândia se encontra a 535 km de Belo Horizonte e as principais rodovias que acessam o município são: BR-050, BR-267, BR-365, BR-452 e a BR- 497. Sua área total é de 4.119,99 km² com uma população de 604.013 habitantes, segundo o Censo Demográfico do IBGE, 2010. De acordo com o IBGE, a economia de Uberlândia passou pela transição de agropecuária para serviços conforme Tabela 02 a seguir.

Tabela 02: PIB (R\$) do município de Uberlândia, 2010

Variável	Uberlândia	Minas Gerais	Brasil
Agropecuária	414.884	15.568.048	105.163.000
Indústria	4.391.142	54.306.183	539.315.998
Serviços	9.259.246	97.398.820	1.197.774.001

Mesmo com a economia voltada para o setor de serviços, Uberlândia está no décimo sexto lugar no PIB agropecuário no Brasil de acordo com o levantamento feito em 2009 pelo IBGE que apontou R\$ 353,4 milhões. O município possui dinamismo econômico acelerado, o que influencia o uso do solo em seu território.

3.2 Etapas desenvolvidas

Para o desenvolvimento deste trabalho foram utilizados dados alfanuméricos, vetoriais e matriciais tendo em vista o cruzamento de dados para a construção de mapas temáticos e análises dos mesmos. Especificamente, os dados utilizados foram:

- Cenas orbita/ponto 221/073 dos satélites LANDSAT 5 e 8, sensor TM. As composições utilizadas foram RGB 543 (falsa cor) e 321 (cores naturais), sendo que esta última composição foi usada para suporte na classificação. Ao todo foram utilizadas três imagens sendo elas nas seguintes datas: 02/07/2003, 02/07/2009 e 29/07/2013. As imagens foram coletadas através do Earth Explorer, site da USGS – United States Geological Survey. A busca de imagens do mesmo período (julho) foi feita para garantir confiabilidade nos resultados, uma vez que a vegetação é mais perceptível em tempos de seca e o uso do solo varia de acordo com a distribuição das chuvas;
- Limite municipal de Uberlândia disponibilizado pelo IBGE;
- Pontos georreferenciados das Reservas Legais averbadas no município;
- Chave de interpretação elaborada para entendimento dos alvos mapeados;
- Dados tabulares que foram gerados a partir da classificação das imagens.

Apesar de possuírem alta qualidade geométrica devido a ortorretificação, as imagens disponibilizadas pelo Earth Explorer são disponibilizadas com referenci espacial no sistema Geodésico (ou Datum) WGS84 (World Geodetic System, 1984 – Sistema Geodésico Mundial de 1984) e fuso UTM 22 Norte, porém com coordenadas N negativas. Tanto o limite municipal quanto os pontos das Reservas Legais estavam referenciadas ao sistema de coordenadas geográficas, contudo o primeiro estava no datum SIRGAS 2000 (Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas, 2000) e o segundo em WGS84. Para que os procedimentos deste trabalho se realizassem, os dados vetoriais e matriciais foram reprojctados para o sistema de projeção UTM (Universal Transversa de Mercator), fuso 22 Sul, datum SIRGAS 2000.

Posterior a reprojeção dos dados, foi possível realizar o recorte das imagens Landsat 5 e 8 de acordo com a área de interesse. Este processo de reprojeção e recorte das imagens foi feito no software Quantum Gis em sua versão 1.8 – “Lisboa” (nome da versão).

As imagens foram carregadas na versão 4.5 do software ENVI. O tratamento se deu com a composição em falsa cor e cores naturais conforme retratado anteriormente. A partir daí, foi possível gerar as imagens NDVI com as bandas 3 (vermelho) e 4 (infravermelho próximo).

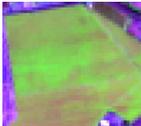
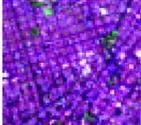
O método de classificação orientada a objetos foi utilizado usando a ferramenta ENVI Zoom através da opção *Feature Extraction*. As segmentações realizadas nas três imagens obedeceu ao parâmetro de escala igual a 30. (*Segment Scale Level*) e 94.0 para o *Merge Level*. Estes parâmetros se caracterizam como escalas de trabalho que primeiramente realiza uma segmentação geral da imagem e posteriormente a junção dos segmentos que possuem valores próximos de pixels. O estabelecimento destes valores foi possível devido ao fato de a ferramenta possibilitar o a visualização prévia do resultado. Estes valores de segmentação foram os que mais se adaptaram com a realidade das imagens. Não foram usados outros parâmetros para o refino da segmentação, já que estes demandariam maior tempo. A partir daí foram colhidas amostras dos alvos respeitando a chave de interpretação (Tabela 03) conforme as seguintes classes: Eucalipto, Floresta, Vegetação Herbáceo / Arbustiva, Solo Exposto, Área Urbana e Corpos D'Água. O algoritmo utilizado foi o Vizinho mais Próximo.

A classificação possibilitou a exportação dos dados para o formato shapefile (.shp) e assim foram feitos os cálculos de área por classe, construindo-se também os mapas temáticos por ano selecionado. Este processo permitiu identificar as classes que avançaram ou recuaram, principalmente a classe Floresta, foco deste trabalho. No momento da exportação do arquivo escolheu-se a opção de agrupar as classes em uma única camada e que a mesma não fosse suavizada para permanecer com a característica do dado matricial.

Procurou-se relacionar o uso do solo, produto da classificação, com a preservação dos maciços florestais juntamente a Reserva Legal. Para isso inseriu-se os pontos georreferenciados obedecendo aos limites do município de Uberlândia. Os pontos foram inseridos em imagens classificadas e imagens NDVI com o objetivo de se relacionar a localização das Reservas Legais e o contexto florestal. Essa análise foi feita focando a região

norte do município devido ao fato do mesmo possuir extensão territorial elevada. Essa região também apresenta boa concentração de averbações o que serve de amostra para o restante do território municipal.

Tabela 03: Chave de Interpretação para classificação das imagens de Uberlândia – MG

Classe	Chave de Interpretação
	<p>Eucalipto</p> <p>Cor verde claro (isso pode variar de acordo com o estágio do plantio); textura lisa; padrão espacial por talhões; forma regular; localização geográfica junto a estradas ou rodovias que auxiliam no escoamento do produto.</p>
	<p>Floresta</p> <p>Cor verde com tonalidade escura; textura rugosa; forma irregular.</p>
	<p>Vegetação Herbácea / Arbustiva</p> <p>Cor verde claro; textura lisa para vegetação herbácea e ligeiramente rugosa para vegetação arbustiva; forma regular (caso de vegetação rasteira estar em pasto) e irregular (caso de vegetação natural).</p>
	<p>Solo Exposto</p> <p>Cor magenta tendendo ao roxo (dependendo do tipo de solo, pode ser bem claro, tendendo ao branco); Textura lisa; forma regular; localização junto a áreas urbanas ou áreas agrícolas como, por exemplo, eucalipto.</p>
	<p>Área Urbana</p> <p>Cor magenta; textura rugosa; forma irregular; padrão de quadriculas (representação dos quarteirões) localização junto a rodovias.</p>
	<p>Corpos D'Água</p> <p>Cor preta (água limpa) ou azul (material em suspensão); textura lisa; forma irregular; localização geográfica junto a vales (rios) e reservatórios (barragens para irrigação ou geração de energia).</p>

Através das informações geradas na classificação, também foi possível gerar dados tabulares para melhor entendimento da evolução do uso do solo no município. Gráficos foram elaborados demonstrando o comportamento de cada classe.

Com a finalização dos documentos cartográficos e tabulares passou-se para o processo de análise dos dados. Procedeu-se com a construção das informações para se obter uma conclusão confiável a respeito da efetividade ambiental da Reserva Legal no município de Uberlândia.

4 RESULTADOS E ANÁLISES

Neste capítulo serão apresentados os resultados obtidos de acordo com os métodos descritos. Foram elaborados cinco mapas, uma tabela e um gráfico referente à área de estudo para subsidiar a discussão a respeito do uso do solo, índice de vegetação, composição florestal e Reserva Legal. As classificações foram feitas seguindo a ordem cronológica. Inicialmente tentou-se realizar a classificação pelo algoritmo de máxima verossimilhança, entretanto devido a elevada confusão entre as classes, optou-se pelo método de orientada a objetos utilizando o algoritmo de vizinho mais próximo. Este método apresentou bons resultados na obtenção de um mapa de uso e ocupação do solo.

Vale ressaltar que as classificações apresentaram confusões entre as classes, todavia os resultados que serão demonstrados foram obtidos através de tentativas de melhoramento da confiabilidade dos dados. Também é importante colocar que o IEF não possui as Reservas Legais espacializadas em poligonais e sim em pontos centrais. Portanto as discussões serão feitas considerando os maciços florestais mais próximos destes pontos e classes entorno.

Será dado foco inicial ao uso do solo com pequena abordagem a Reserva Legal referente a classe Floresta e posteriormente será analisada a relação da Reserva Legal com o uso do solo em formato mais específico e também utilizando-se imagens NDVI.

4.1 Classificação da Imagem de 2003

A primeira imagem classificada foi a de 2003 (Figura 05). No âmbito da Reserva Legal, percebe-se que até a referida data só haviam 4 averbações, duas no extremo sul e mais duas a leste do município. O cenário ambiental para esta forma de conservação já estava consolidado através das várias legislações vigentes na época como o Código Florestal Brasileiro, lei federal 4.771 – 1965, hoje a lei 12.651 – 2012. Outra norma adotada era a lei estadual mineira 14.309 – 2002, hoje a lei 20.922 – 2013. Estas duas legislações já instituía a obrigatoriedade da averbação da Reserva Legal a margem da inscrição da matrícula do imóvel, contudo no município de Uberlândia os proprietários de imóveis rurais ainda não haviam absorvido esta necessidade, conforme a demonstração dos dados. A seguir estão as descrições das classes mapeadas.

A partir das observações da imagem classificada de 2003, observa-se que a área urbana do município se concentra na região nordeste apresentando 1,87% da porção territorial, segunda menor área do território naquele ano.

No âmbito da silvicultura, percebe-se que ela é bem explorada em Uberlândia com um total de 3,61% do município. A classificação desta classe ocorreu devido à observação de sua geometria angular, textura lisa e tonalidade clara e em alguns casos escura. Essas características são proporcionadas pela plantação dos eucaliptos por meio de talhões e formato sequenciado. A tonalidade depende do estágio em que a espécie se encontra, se a mesma está em seu auge (maior influência da fotossíntese), será clara ou se está em estágio médio (menor influência da fotossíntese), terá tonalidade escura. A distribuição desta classe se encontra nas extremidades do sudoeste, sudeste, sul e noroeste.

A classe de Solo Exposto apresentou um total de 23,51% do território. Esta classe está distribuída em todo o município. Existe uma concentração considerável na porção sudeste. Nesta região havia muito solo exposto proveniente da poda de eucaliptos. Isso foi perceptível devido ao formato regular da classificação e observação da imagem de satélite. De certa forma, esta característica de desnudação do solo devido a colheita ou poda de uma cultura se replica a maioria dos locais que apresentaram esta classe, contudo existem exemplos que provavelmente esta exposição tenha ocorrido pela limpeza de pasto.

A classe que apresentou maior área foi a Vegetação Herbácea / Arbustiva com 45,70% do território. Ela se caracteriza pela vegetação rasteira como, por exemplo, o pasto e culturas de pequeno porte. Sua distribuição também se dá em todo o município não possuindo um ponto de concentração específico. Estas áreas que anteriormente eram florestadas, hoje são utilizadas para diversos usos como os da agropecuária e agricultura.

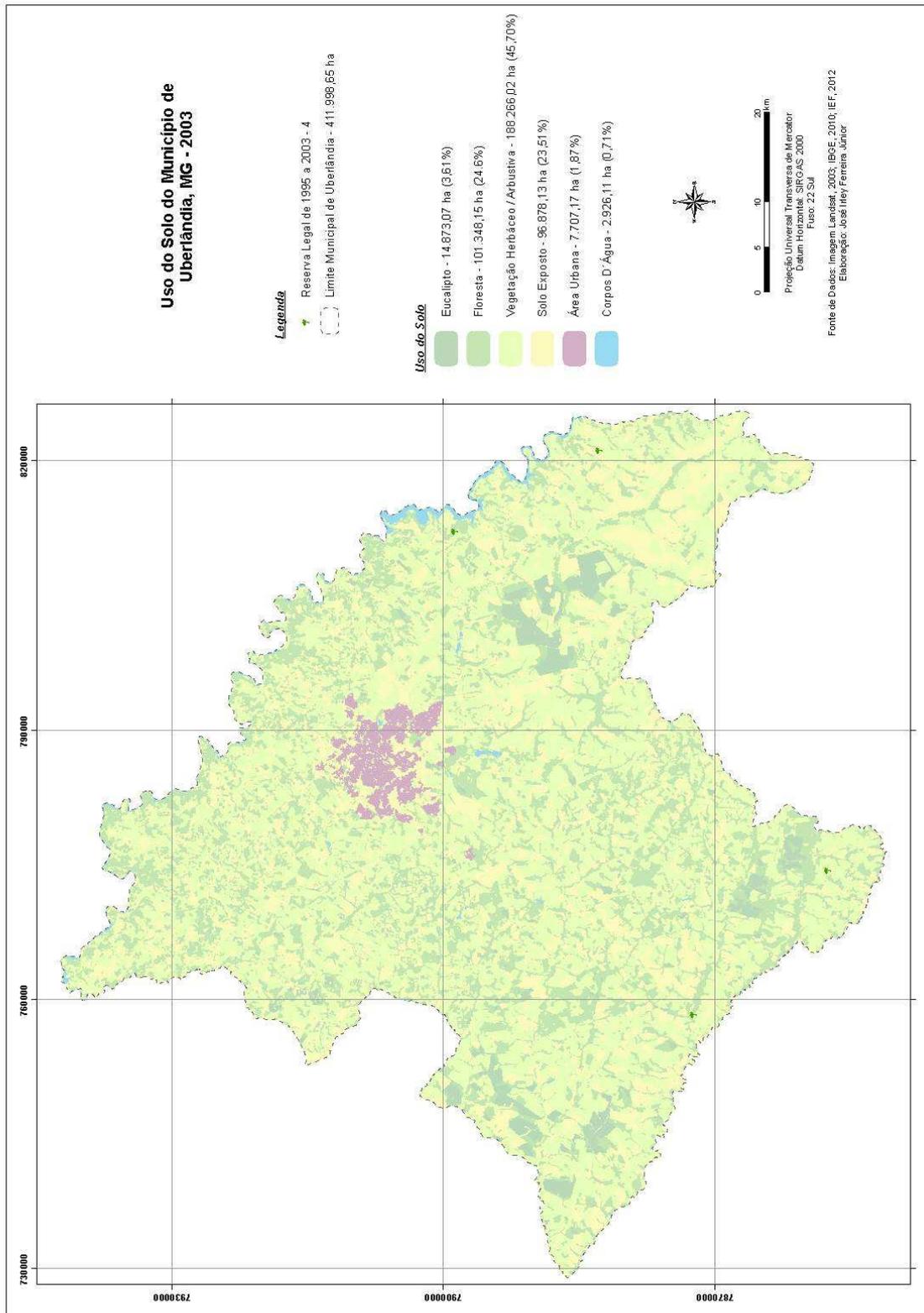


Figura 05 – Mapa de Classificação – 2003

Os Corpos D'Água não apareceram enfaticamente nesta classificação, demonstrando um resultado de 0,71% do município. Os corpos lineares (rios) foram cobertos pelas matas ciliares impossibilitando que estes fossem mapeados. Percebe-se que existe uma concentração desta classe a leste do município que representa o reservatório da UHE - Usina Hidrelétrica de Miranda, localizada no Rio Araguari. Existem outros barramentos ao longo do território que provavelmente são utilizados como reservatórios para irrigação.

Para este trabalho, a classe que mais interessa é a Floresta. De acordo com a classificação realizada, esta classe apresentou 24,6% do território, a segunda maior área. Percebe-se que a representação acontece pelas matas ciliares conforme disposição linear das mesmas e que são continuadas através de outros maciços florestais. Entretanto, observa-se que já existe uma fragmentação destes maciços seguindo uma tendência de isolamento, isto é, a desconexão de um fragmento de outro. Existe uma boa parte preservada ao longo do Rio Araguari, porção nordeste, onde a vegetação arbórea se encontra em maior densidade. A preservação deste local também é favorecida pela declividade elevada, pois no momento da classificação perceberam-se sombras nas vertentes do rio indicando que o mesmo se encontra em vale encaixado.

De acordo com a disposição das Reservas Legais no ano de 2003, duas reservas estão mais próximas da classe Floresta, o que justificaria suas localizações. Estas áreas estão vizinhas as APPs - Áreas de Preservação Permanente de rio, e neste caso é importante ressaltar que existe a possibilidade de averbar Reserva Legal em APP em situações específicas. As outras duas Reservas estão inseridas em áreas de vegetação Herbáceo / Arbustiva, uma delas muito próxima a solo exposto.

4.2 Classificação da Imagem de 2009

Em comparação ao cenário anterior, a análise das imagens de 2009 caracterizou o aumento das classes Corpos D'Água, Área Urbana e Vegetação Herbáceo / Arbustiva e a diminuição das classes Eucalipto, Floresta e Solo Exposto (Figura 06). Ocorreu o aumento das averbações das Reservas Legais de apenas 4 em 2003 para 89 em 2009. No âmbito do uso do solo, as descrições detalhadas constam a seguir.

A Área Urbana sofreu leve aumento em sua área, passou a constituir 1,88% do território. Apresenta-se uma tendência de crescimento para a porção leste do município, sentido Rio Araguari. Novas manchas urbanas apareceram indicando possivelmente novos loteamentos. Esta tendência de crescimento é confirmada na classificação de 2013 que será vista posteriormente.

A classe Eucalipto continuou localizada nas mesmas porções do território conforme descrição feita na classificação de 2003, no entanto ocorreu a diminuição de sua área, passando para 3,39% do município. Segundo a Embrapa, o corte do eucalipto para industrialização acontece normalmente com 7 anos de idade. Relacionando este fator, acredita-se que em 2009 já poderia ter ocorrido o corte de alguns indivíduos contribuindo para a diminuição de sua área.

Outra classe que ocorreu diminuição em sua área foi Solo Exposto. Em 2009 apresentou 20,88% do território. Neste ano esta classe não teve uma concentração específica sendo distribuída em todo o município. Em muitos casos ela ainda apresenta formatos regulares indicando que a exposição é proveniente de poda de espécies ou limpeza de pasto.

A Vegetação Herbácea / Arbustiva foi a classe que apresentou novamente a maior área, totalizando 54,14% do município. O aumento desta classe causou a diminuição das outras, principalmente do Solo Exposto e Floresta. Este aumento pode estar ligado a plantação de novas culturas ou a criação de pastos.

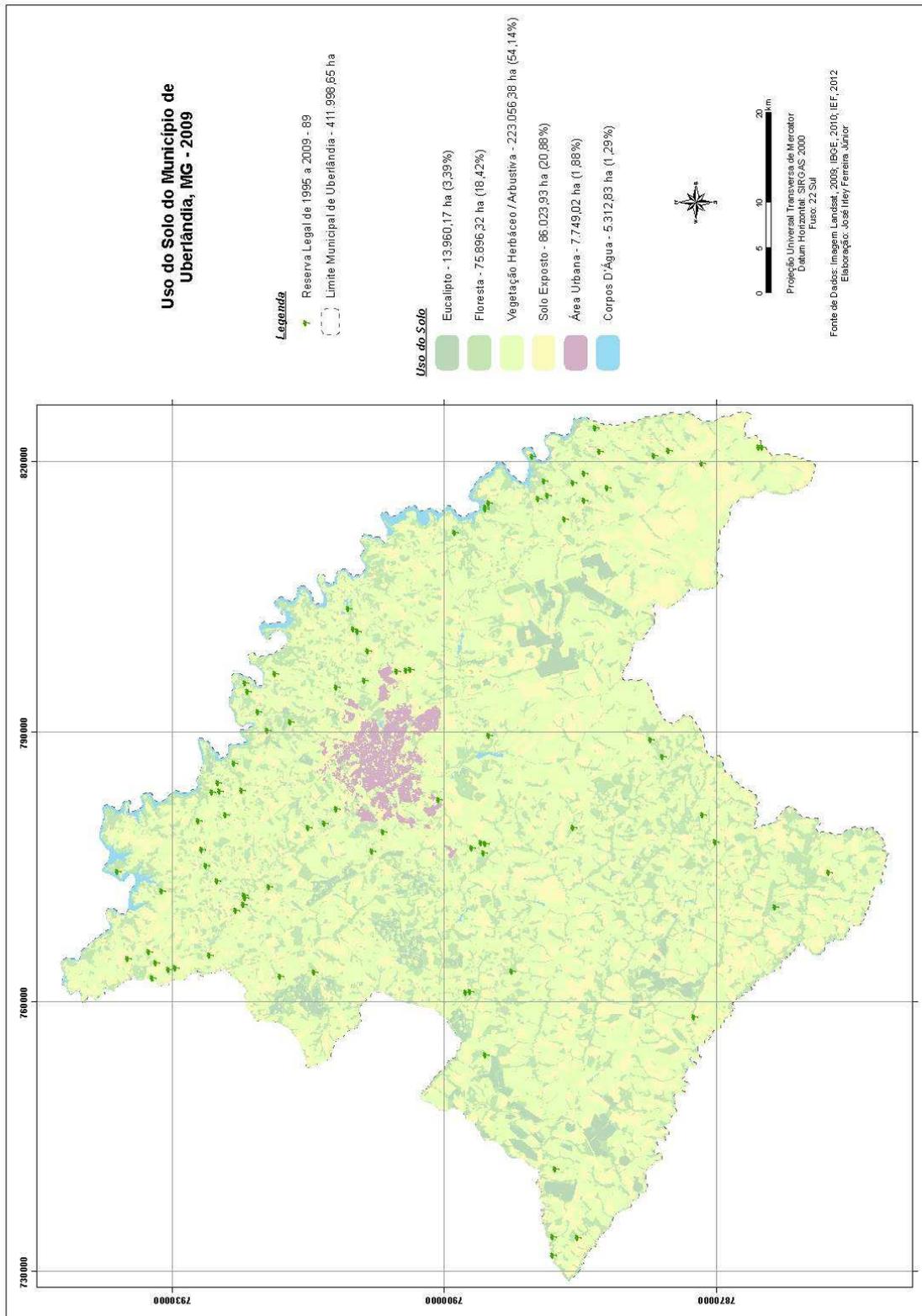


Figura 06 – Mapa de Classificação – 2009

A classe Corpos D'Água apresentou aumento de 0,71% para 1,29%, ou seja, quase dobrou. Isso se deve ao fato da implementação de uma nova UHE – Capim Branco, no rio Araguari. Esta nova usina hidrelétrica que formou um reservatório que inundou pequena parte do município conforme a Figura 07.



Figura 07: Lago da UHE – Capim Branco

A classe Floresta sofreu uma diminuição em sua área passando a constituir 18,42% do município. Um fator que contribuiu para esta diminuição, foi o alagamento causado pela implementação da nova UHE citada. Percebe-se que o processo de fragmentação continua. Este acontecimento é notável em todo o município com o surgimento claro de formatos lineares das matas ciliares sem conexão entre as mesmas. Em muitos casos a Floresta foi substituída pelo solo exposto, ou seja, foram suprimidas para dar lugar a novas culturas ou pastos.

Em muitos dos locais que ocorreram a supressão, como por exemplo na região norte do município, surgiram averbações de Reservas Legais. Realmente nestes locais existem fragmentos florestais regulares indicando as poligonais das Reservas, mas a vegetação arbórea que conectavam estes fragmentos foi removida.

4.3 Classificação da Imagem de 2013

O ano de 2013 (Figura 08) foi marcado pela inversão de papéis no que diz respeito ao crescimento de área da classe. Ocorreu uma diminuição da área da Vegetação Herbáceo / Arbustiva e o aumento do Solo Exposto. Comparando-se os de 2009 e 2013, realmente percebe-se claramente a mudança das áreas das classes citadas, neste caso uma dando lugar a outra. As outras classes permaneceram em sua dinâmica normal de avanço e recuo. A seguir consta a especificação de cada classe.

Conforme dito anteriormente, a Área Urbana cresceu seguindo a tendência espacial para a porção leste do município. Sua área constitui 2,51% do território. Esta classe apresentou maior confusão em relação aos dois anos analisados anteriormente, sendo que isso é perceptível a partir da observação de áreas que obtiveram o mapeamento desta classe, contudo estão afastadas do centro urbano.

A classe Eucalipto apresentou um aumento considerável em sua área, passando de 3,39% em 2009 para 5,26% em 2013. Pensando-se na dinâmica de plantio e corte do eucalipto e considerando que em 2009 a área foi menor que a de 2003, sugere-se que em 2013 estava se aproximando de uma nova época de corte. Sendo que os indivíduos já estavam se aproximando de sua fase avançada de crescimento o que possibilitou serem mapeados com maior área dentro do município.

A Vegetação Herbáceo / Arbustiva sofreu uma diminuição considerável em 2013. Pode-se dizer que atualmente constitui 37,40% do território. Esta mudança foi perceptível em todo o município não possuindo um ponto de mudança discrepante. Ao contrário da análise da imagem anterior, esta classe diminuiu para dar lugar ao crescimento de outras.

A classe Solo Exposto foi a que apresentou maior área em 2013. Passou a constituir 36,74% do município. Essa classe possibilitou o recuo de outras, principalmente Floresta e Vegetação Herbáceo / Arbustiva. Neste momento pensa-se que ocorreu a colheita de espécies ligadas a agricultura, já que a classe Eucalipto obteve crescimento de área.

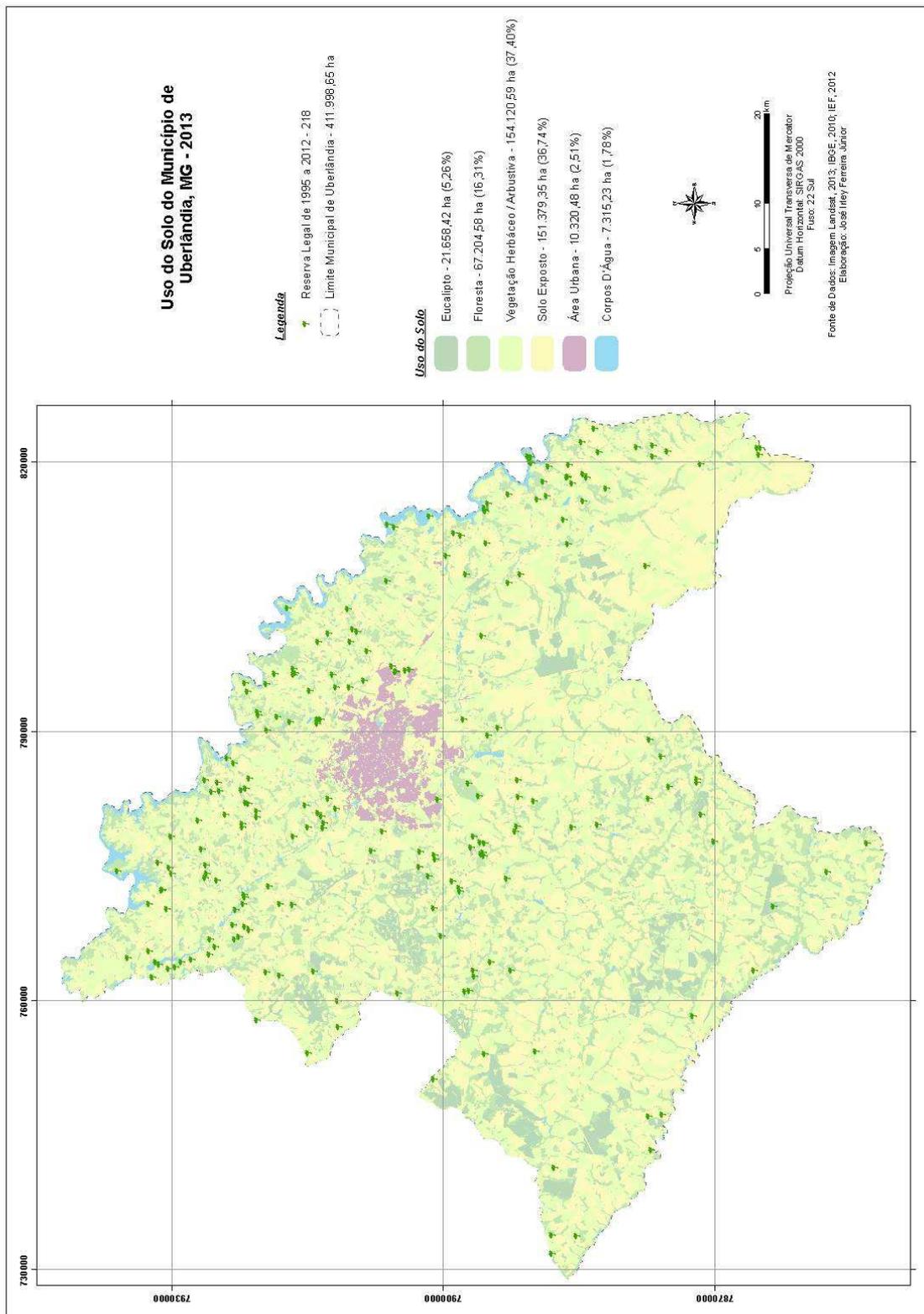


Figura 08 – Mapa de Classificação – 2013

No que diz respeito a classe Corpos D'Água, percebe-se que aconteceu um novo crescimento de área. Isso foi proporcionado pela criação de mais um barramento, localizado no rio Uberabinha, chamada de Represa de Malagonia. O lago formado fez com que a água que estava coberta pela mata aflorasse, o que possibilitou seu mapeamento.

A classe Floresta sofreu novo recuo, constituindo 16,31% do território uberlandense. Nesta classificação é bem perceptível a manutenção das APPs de rio entendendo-se que está ocorrendo maior preocupação com este tipo de preservação. Todavia, a fragmentação florestal continua no município fazendo com que os corredores ecológicos, criados entre essas APPs por exemplo, sejam suprimidos.

Em 2013 percebe-se que as Reservas Legais se concentram em grande parte obedecendo o leito do rio Araguari. Realmente existem muitos fragmentos florestais próximos aos pontos, o que indica que sejam Reservas Legais. Mas mesmo com o aumento enfático de averbações de 2003 a 2013, a classe Floresta diminuiu.

4.4 Síntese das Informações de Uso do Solo

Para uma melhor compreensão do uso do solo no município de Uberlândia, a Tabela 04 e respectivo Gráfico (Figura 05) foram construídos demonstrando a evolução de cada classe nos anos de 2003, 2009 e 2013. Através destas informações, é possível ter uma visão sintetizada da dinâmica de uso do solo de Uberlândia.

Tabela 04 – Quantificação das classes em Uberlândia – MG

Classes	Áreas (ha)					
	2003	2003(%)	2009	2009(%)	2013	2013(%)
Corpos D'Água	2926,11	0,71%	5312,83	1,29%	7315,23	1,78%
Área Urbana	7707,17	1,87%	7749,02	1,88%	10320,48	2,50%
Eucalipto	14873,07	3,61%	13960,17	3,39%	21658,42	5,26%
Floresta	101348,15	24,60%	75896,32	18,42%	67204,58	16,31%
Vegetação Herbáceo/Arbustiva	188266,02	45,70%	223056,38	54,14%	154120,59	37,41%
Solo Exposto	96878,13	23,51%	86023,93	20,88%	151379,35	36,74%

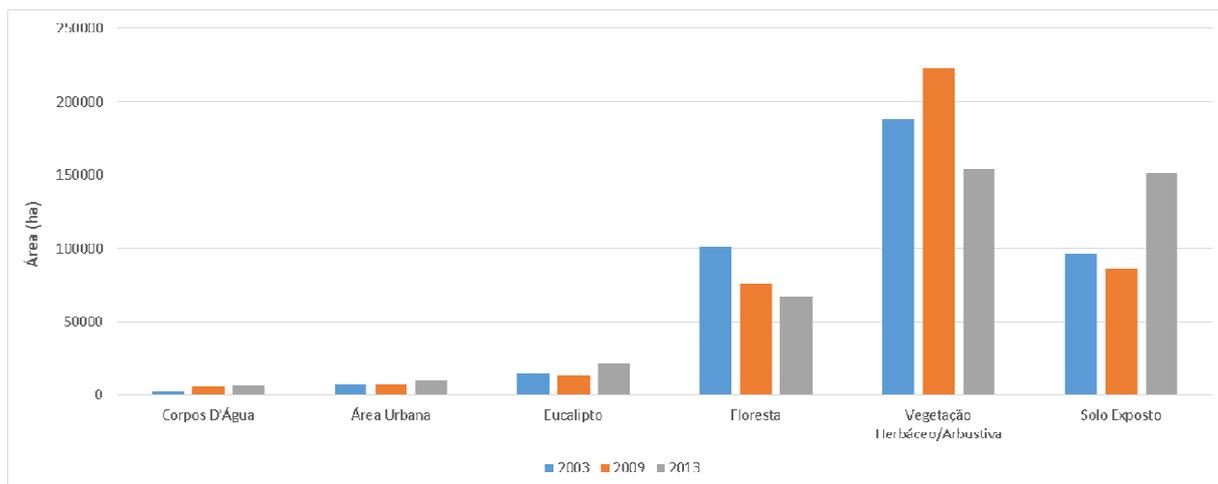


Figura 09 – Evolução do Solo no Município de Uberlândia – MG

Percebe-se por meio da observação deste gráfico que as classes que predominam são Floresta, Vegetação Herbácea / Arbustiva e Solo Exposto. A classe que sofreu redução constante foi a Floresta e fazendo um comparativo do primeiro ano (2003) e o último ano (2013), obteve uma redução de 33,69% de sua área. Por se tratar de um município de maioria territorial em zona rural, era esperado que a área urbana apresentasse baixa parcela na constituição do território, no entanto o mesmo mostrou crescimento nestes últimos dez anos. O aumento das áreas dos corpos d'água teve contribuição das instalações de novas UHEs, gerando lagos para sua finalidade de geração de energia elétrica. Observa-se que com isso o município vem recebendo investimento por se tratarem de obras de grande porte. As classes Eucalipto, Vegetação Herbácea / Arbustiva e Solo Exposto não estabeleceram um crescimento ou um recuo constante sendo que os mesmos obedecem a um calendário agrícola, e a diminuição e o aumento destas classes estão ligados a colheita e plantio. Ressalta-se que existem grandes possibilidades da haverem áreas sofridas pela degradação ambiental influenciando classes como Solo Exposto por exemplo.

Uberlândia apresentou elevada heterogeneidade no uso do solo, o que dificultou a classificação. Todavia, foi possível perceber alterações bruscas em curto espaço de tempo que influenciaram e influenciam diretamente maciços florestais e que fornecem dinamicidade ao seu espaço.

4.5 Análise Localizada das Reservas Legais

Nesta seção, serão analisadas amostras dos pontos de Reservas Legais relacionando sua localização com o uso do solo e imagens NDVI. A Figura 10 apresenta o crescimento das averbações de Reservas Legais versus a dinâmica florestal em todo o município de Uberlândia.

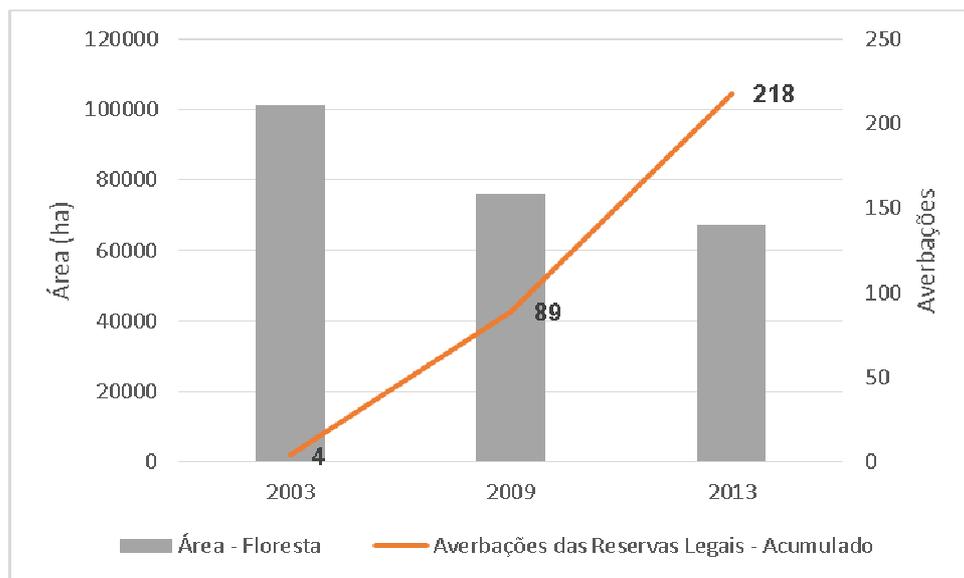


Figura 10 – Área de Floresta X Reserva Legal

A partir deste gráfico percebe-se que existe relação inversamente proporcional das áreas florestadas com as averbações de Reservas Legais. A realidade deveria se mostrar diferente, ou seja, o aumento das duas variáveis precisaria ser mútuo para justificar o objetivo da Reserva Legal que é a preservação. A Figura 11 apresenta o mapa com amostras de Reservas Legais na região norte de Uberlândia.

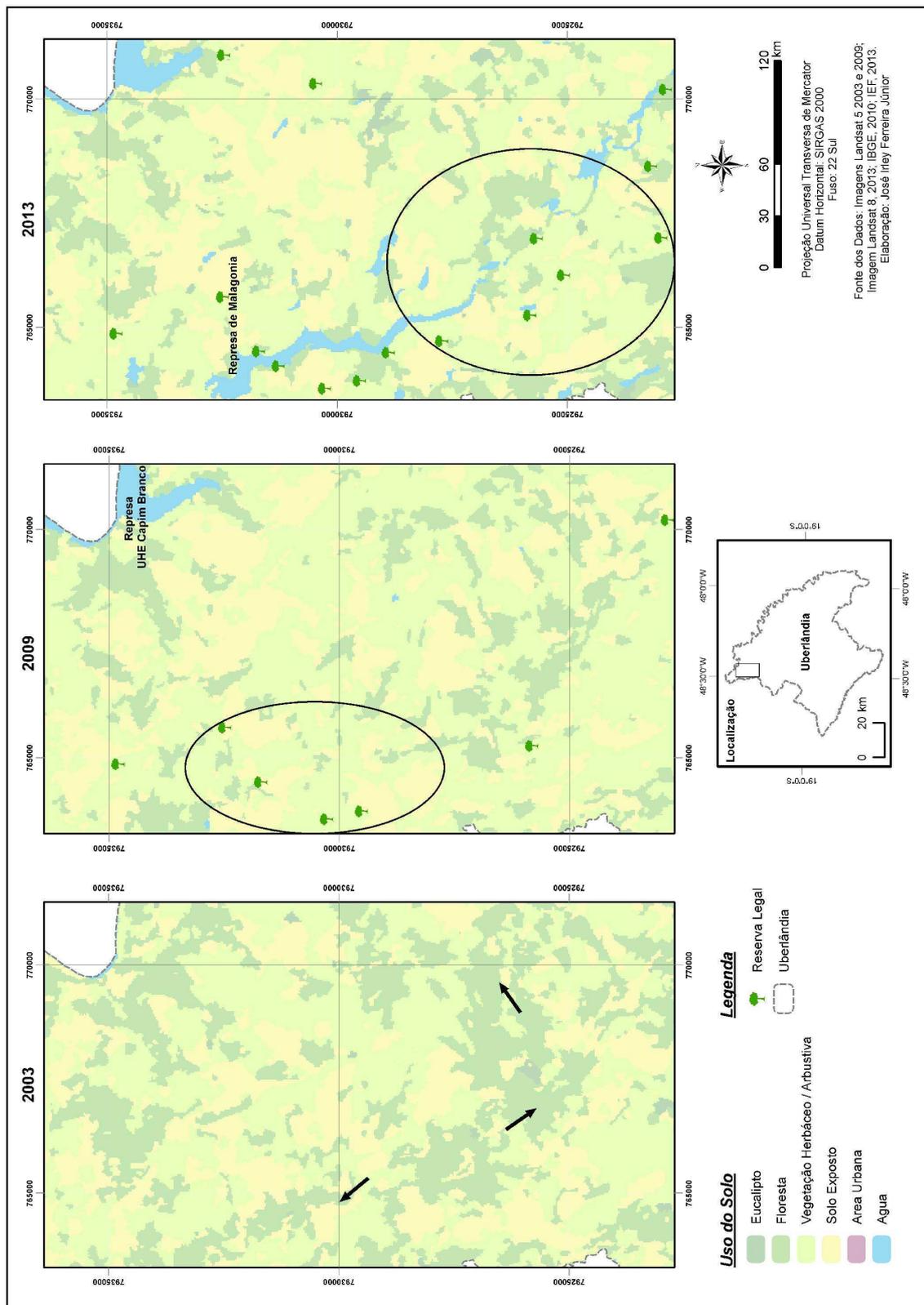


Figura 11: Amostras de Reservas Legais e Classificação do Uso do Solo

Através da observação deste mapa, percebe-se que no ano de 2003, essa porção da região norte do município não tinha Reserva Legal averbada, mas obtinha áreas relevantes de maciços florestais. As setas indicam o que seriam corredores ecológicos proporcionados por esses fragmentos. Essa vegetação encontra-se em grande parte as margens do rio Uberabinha e nesse caso percebe-se que a floresta extrapola os limites de APP.

A imagem de 2009 demonstra uma mudança discrepante na paisagem com a supressão de grandes áreas de florestas, contudo já existem Reservas Legais averbadas. Em torno dos pontos que representam as Reservas, são identificadas áreas de solo exposto e vegetação herbácea / arbustiva conforme o exemplo da área contendo a elipse. Isso contradizia o código florestal mineiro da época (Lei 14.309 – 20/06/2002) em seu o artigo 16 onde dizia que a Reserva Legal deveria ser demarcada em terreno contínuo com cobertura de vegetação nativa. É importante reforçar que a heterogeneidade do uso do solo de Uberlândia trouxe dificuldades na classificação e que isso gerou erros, e que a condição pontual do dado da Reserva Legal gera limitações nas observações, entretanto é notória a mudança na paisagem o que fornece suporte para a análise deste ano.

No ano de 2013 a vegetação diminuiu novamente, mas ocorreu o advento de uma barragem no local da amostragem. Contudo, percebe-se o aumento das averbações de Reservas Legais e que estão cercadas novamente de solo exposto e vegetação herbácea / arbustiva. Comparando-se este ano de 2013 com o ano de 2003, observa-se que aquela área que servia como corredor ecológico diminuiu consideravelmente sendo que na realidade, com o suporte da Reserva Legal, seria esperado ao menos a manutenção destes maciços.

Para poder focar a atenção na análise da vegetação, a seguir estão imagens NDVI (Figura 12) da mesma área demonstrada no uso do solo.

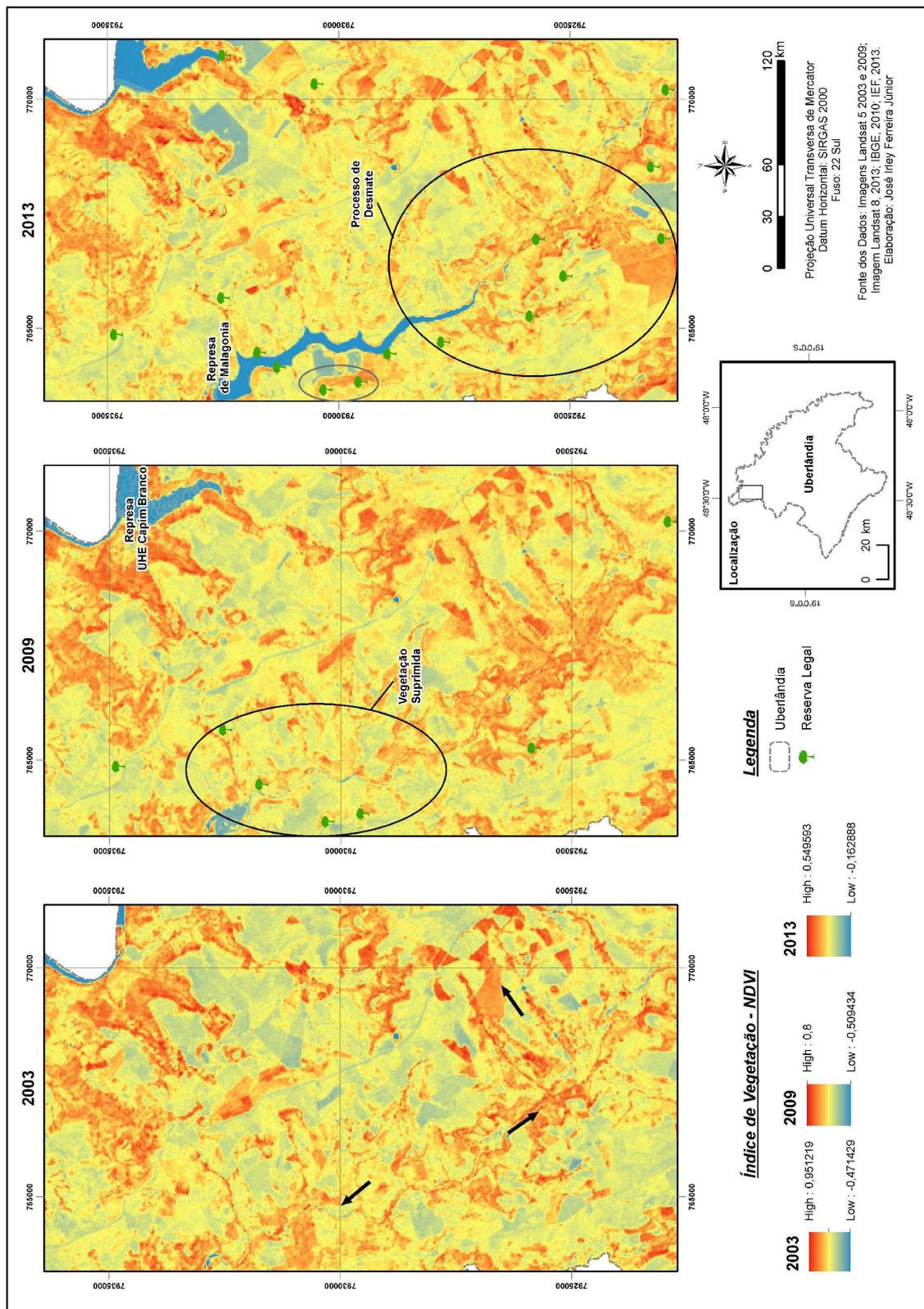


Figura 12: Imagens NDVI da região norte de Uberlândia com amostras de Reservas Legais

Nas imagens NDVI é perceptível a dinâmica da vegetação. Tendendo ao vermelho estão as áreas com maior índice, ou seja, maior vegetação, e tendendo ao azul, estão áreas de menor índice e também menor presença de vegetação. Como na classificação do uso do solo, em 2003 é notável o corredor ecológico formado pela mata ciliar do rio Uberabinha e maciços florestais contíguos, como mostram as setas. Em 2009, as averbações das Reservas Legais foram acontecendo junto ao avanço, possivelmente, das pastagens a agricultura conforme demonstra a elipse no mapa. Em 2013 existem dois casos demonstrados pela elipse menor na imagem onde há o aumento da vegetação, porém ao mesmo tempo ocorre a destruição da mata ciliar a leste das duas Reservas averbadas. Percebe-se que existe um processo de raleamento da vegetação com a perda do vigor da mesma. O índice NDVI demonstra este fator através dos seus valores. Em 2003 o índice atingiu 0,95, em 2009 ficou em 0,8 e em 2013 apresentou 0,55. Lembrando que quanto mais próximo de 1, maior será a presença da vegetação.

5 DISCUSSÕES

Ao longo deste trabalho, notou-se o quanto é importante empregar técnicas adequadas na utilização de dados provenientes de Sensoriamento Remoto para as análises ambientais. Este estudo buscou explorar o potencial quantitativo que os produtos do SERE podem fornecer, desviando um pouco da questão meramente qualitativa. É necessário que o analista tenha um conhecimento prévio da técnica que será utilizada em seu estudo para que as dificuldades que forem surgindo ao longo da pesquisa, sejam mais facilmente resolvidas.

No caso do monitoramento da vegetação foi encontrada dificuldade para classificação automática das imagens devido ao fato das classes apresentarem confusões entre si. Ao longo de algumas tentativas, o uso das bandas 543 do LANDSAT 5 e 8 apresentou o melhor resultado, pois enfatiza a vegetação através da banda 4 (infravermelho próximo) e também o solo através da banda 5 (infravermelho distante), esta última diminuindo a confusão entre a classe de área urbana. Normalmente em classificação de imagens utiliza-se de apenas três bandas, sendo que estas podem ser usadas mais para o aumento do desempenho, algo a se pensar para próximos estudos. Outra questão interessante é que seria positivo uma classificação de referência baseada em critérios estabelecidos previamente para que se possa comparar com as classificações realizadas ao longo do trabalho. Isso possibilita verificar a

qualidade do mapeamento gerado através do Índice de Kappa e a acurácia das classes mapeadas. Em relação aos dados vetoriais seria interessante trabalhar com os dados das Reservas Legais em formato de poligonais (representação fiel da área), contudo o órgão ambiental responsável ainda não possui esses dados para serem disponibilizados.

Uberlândia apresenta uma dinâmica de uso da terra bem elevada, capaz de alterar classes de uso do solo com grandes áreas em um intervalo de 5 anos. Não aplicado somente ao município de Uberlândia, mas todas as prefeituras municipais, é necessário que os órgãos públicos façam o monitoramento dos seus territórios com o objetivo de se ter controle sobre o mesmo. Relacionando esse fato com a vegetação, hoje isso seria viável, pois disponibilizam-se tanto ferramentas quanto dados gratuitos sendo possível manipulá-los com o objetivo de transformá-los em informações úteis para os órgãos. Neste caso deve-se concentrar esforços plenamente na capacitação de pessoal.

6 CONCLUSÕES

A partir dos procedimentos adotados neste trabalho, foi possível identificar os remanescentes florestais no município de Uberlândia. De acordo com o mapeamento do uso do solo realizado através da classificação automática das imagens, identificou-se que em 2003 a área total dos maciços florestais era de 101.348,15 ha e em 2013 passou para 67.204,58 ha. Foi uma queda expressiva de 34.143,57 ha. Essa diferença pode ser sentida ao analisar de maneira qualitativa as imagens NDVI. Com elas é possível perceber notoriamente a queda das áreas florestadas juntamente ao vigor das remanescentes.

No início deste trabalho, foi mencionada que a experiência de campo demonstrou que em muitos casos as áreas destinadas a Reserva Legal não vem sendo utilizadas como tal. Mesmo com apenas os pontos georreferenciados das Reservas Legais como referência, foi possível perceber que esta proposta ainda não está sendo atendida em sua plenitude em Uberlândia. Os pontos mostram as áreas centrais das Reservas Legais, mas observa-se que em diversas situações os mesmos são rodeados por classes como Solo Exposto e Vegetação Herbáceo / Arbustiva e longe de áreas florestadas. Acerca disso, conclui-se que a função de corredor ecológico da Reserva Legal, dentre outras, está comprometida no município de Uberlândia.

O Sensoriamento Remoto e o Geoprocessamento são ferramentas imprescindíveis no monitoramento ambiental. No caso deste trabalho, elas se mostraram eficazes no mapeamento das classes propostas, principalmente no âmbito da identificação de florestas (vegetação arbórea exuberante). Algumas dificuldades foram encontradas, como por exemplo, confusão espectral entre classes, contudo os ganhos superaram relevantemente as perdas. Em uma visão geral, estas tecnologias demonstradas explicitaram que da mesma forma que é possível identificar as irregularidades, também é praticável monitorar áreas com fins preventivos, ou seja, não é necessário esperar acontecer problemas para se tomar iniciativas.

A política da Reserva Legal é um assunto muito importante e que deve ser colocado em pauta em diversas ações que vão ser realizadas nas zonas rurais, não somente em Uberlândia, mas em todos os municípios brasileiros. Foram demonstradas neste trabalho, ferramentas tecnológicas de qualidade para que se realize um monitoramento da vegetação efetivo e com isso ganha-se mais uma metodologia para compor o processo de análise ambiental. O objetivo é poder tornar realidade o que está escrito no papel, como é o caso da Reserva Legal.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

BRASIL. **Lei nº 12.651, de 25 de Maio de 2012.** Dispõe sobre a proteção da vegetação nativa; altera as Leis nos 6.938, de 31 de agosto de 1981, 9.393, de 19 de dezembro de 1996, e 11.428, de 22 de dezembro de 2006; revoga as Leis nos 4.771, de 15 de setembro de 1965, e 7.754, de 14 de abril de 1989, e a Medida Provisória no 2.166-67, de 24 de agosto de 2001; e dá outras providências; Diário Oficial da República Federativa do Brasil, Brasília, p. 1, 25 mai. 2012. Seção 1;

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Imagens de satélite para estudos ambientais.** São Paulo: Oficina de Textos, 2002. 97p. ISBN 858623821X (broch.);

FLORENZANO, Teresa Gallotti. **Iniciação em sensoriamento remoto.** 2. ed. São Paulo: Oficina de Textos, 2011. 101 p. ISBN 9788586238710 (broch.).

JENSEN, John R. **Introductory digital image processing: a remote sensing perspective.** 3rd. ed. Upper Saddle River, N.J.: Prentice Hall, c2005. xv, 526 p. : ISBN 0131453610 (enc.);

MINAS GERAIS. **Lei nº 20.922, de 16 de outubro de 2013.** Dispõe sobre as políticas florestal e de proteção à biodiversidade no Estado. Disponível em: <http://www.siam.mg.gov.br/sla/download.pdf?idNorma=30375>;

MINAS GERAIS. **Deliberação Normativa COPAM nº 74, de 09 de Setembro de 2004.** Estabelece critérios para classificação, segundo o porte e potencial poluidor, de empreendimentos e atividades modificadoras do meio ambiente passíveis de autorização ou de licenciamento ambiental no nível estadual, determina normas para indenização dos custos de análise de pedidos de autorização e de licenciamento ambiental, e dá outras providências. Disponível em: <http://sisemanet.meioambiente.mg.gov.br/mbpo/recursos/DeliberaNormativa74.pdf>;

MINAS GERAIS. **Portaria IEF nº 98, de 11 de junho de 2010.** Dispõe sobre a autorização para recebimento e homologação de laudos técnico-ambientais e plantas georreferenciadas, elaborados por profissionais habilitados não servidores do IEF, para regularização da Reserva Legal, e dá outras providências. Disponível em: http://www.ief.mg.gov.br/images/stories/reservalegal/2012/portaria_98_alterada_pela_20_e_22_de_2012.pdf;

SILVA, Jorge Xavier da; ZAIDAN, Ricardo Tavares (Org.). **Geoprocessamento & análise ambiental: aplicações.** Rio de Janeiro: Bertrand Brasil, 2004. 363p. ISBN 8528610764;

MENESES, Paulo Roberto; ALMEIDA, Tati de. **Introdução ao Processamento Digital de Imagens de Sensoriamento Remoto.** Brasília: Unb, CNPQ, 2012. 276p;

NOBREGA, Rodrigo Affono de Albuquerque. **Detecção da malha viária na periferia urbana de São Paulo utilizando imagens de alta resolução espacial e classificação orientada a objetos.** Tese de Doutorado, Escola Politécnica, Universidade de São Paulo, 2007. 198p.

NOVO, Evlyn Marcia Leão de Moraes. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações**. 3. ed., rev. e ampl. São Paulo: Edgard Blucher, 2008. 363 p. ISBN 9788521204411;

PONZONI, Flavio Jorge; SHIMABUKURO, Yosio Edemir. **Sensoriamento remoto no estudo da vegetação**. São José dos Campos, (SP): Parentese, 2007. 127 p. ISBN 9788560507023 (broch.);

RICHARDS, J. A; JIA, Xiuping. **Remote sensing digital image analysis: an introduction**. 4th ed. Berlin; New York: Springer-Verlag, 2006. xxv, 439 p. ISBN 3540251286 (enc.);

RIBEIRO, Bárbara Maria Giaccon; KUX, Hermann Johann Heinrich. **Classificação Orientada a Objeto para Mapeamento do Uso do Solo – Métodos de Análise de Expansão Urbana**. São José dos Campos, (SP): INPE, 2009. 8p;

TSO, Brandt; MATHER, Paul M. **Classification methods for remotely sensed data**. London; New York: Taylor & Francis, 2001. 332 p. ISBN 0415259088 (alk. paper).