



## **Relatório Final de Atividades e Produtos**

### **Volume 1/5**

**TED 02/2017, celebrado entre o Serviço Florestal Brasileiro e Universidade Federal de Lavras, cujo o objeto é a geração de base de dados temática para subsidiar processos de análises e monitoramento do Cadastro Ambiental Rural – CAR.**

**L. M. T. de Carvalho, J. R. S. Scolforo & A. C. S. Couto Junior**



## Sumário

|   |    |
|---|----|
| Índice de Figuras .....   | 3  |
| Apresentação .....  | 4  |
| 1. Introdução .....   | 5  |
| 2. Descrição dos produtos .....   | 6  |
| 3. Metodologia .....  | 8  |
| 3.1. Base de dados .....  | 8  |
| 3.2. Validação e verificação por erros da base de Mapeamento 2008 – 2011 .....                                | 14 |
| 3.3. Monitoramento da dinâmica da cobertura e uso do solo para os anos de 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016 ..... | 15 |
| 3.3.1. Classes de cobertura e uso do solo .....   | 15 |
| 3.3.2. Segmentação de imagens .....   | 17 |
| 3.3.3. Detecção das áreas antropizadas e com indícios de regeneração .....                                    | 23 |
| 4. Auditoria e avaliação da qualidade dos produtos gerados .....  | 31 |
| 5. Inserção dos dados nos Sistemas do SICAR Federal .....   | 32 |
| 6. Resultados .....   | 38 |
| 7. Referências bibliográficas.....  | 39 |





## Índice de Figuras

|   |    |
|---|----|
| <a href="#">Figura 1 Cobertura de imagens da RapidEye para todo o Brasil.</a>   | 9  |
| <a href="#">Figura 2 Informações do programa Landsat (Fonte: NASA, 2012).</a>   | 10 |
| <a href="#">Figura 3 Cobertura de imagens Landsat 8 para todo o Brasil.</a>   | 12 |
| <a href="#">Figura 4 Cobertura de imagens Sentinel 2 para todo o Brasil.</a>  | 14 |
| <a href="#">Figura 5 Varredura para validação e correção de erros do produto inicial do CAR.</a>  | 15 |
| <a href="#">Figura 6 Parâmetros de criação do objeto durante a segmentação.</a>   | 20 |
| <a href="#">Figura 7 Imagem RapidEye segmentada pelo algoritmo <i>Multiresolution Segmentation</i>.</a>   | 21 |
| <a href="#">Figura 8 Imagem RapidEye segmentada pelo algoritmo <i>Spectral difference segmentation</i>.</a>   | 22 |
| <a href="#">Figura 9 Legenda de classes para as figuras 10 a 23.</a>  | 24 |
| <a href="#">Figura 10 Exemplo de imagem RapidEye 2011 com segmentação.</a>  | 24 |
| <a href="#">Figura 11 Exemplo de classificação de 2011.</a>   | 25 |
| <a href="#">Figura 12 Exemplo de imagem de 2012 com novas áreas desmatadas (indicadas por seta) na segmentação de 2011.</a>   | 25 |
| <a href="#">Figura 13 Exemplo de imagem de 2012 com novas áreas desmatadas segmentadas (ressegmentação em seta indicativa).</a>   | 26 |
| <a href="#">Figura 14 Resultado da classificação das áreas antropizadas de 2011 para 2012.</a>  | 26 |
| <a href="#">Figura 15 Exemplo de imagem de 2013 com novas áreas desmatadas (indicadas por seta) na segmentação de 2012.</a>   | 27 |
| <a href="#">Figura 16 Exemplo de imagem de 2013 com novas áreas desmatadas segmentadas (ressegmentação em seta indicativa).</a>   | 27 |
| <a href="#">Figura 17 Resultado da classificação das áreas antropizadas de 2012 para 2013.</a>  | 28 |
| <a href="#">Figura 18 Exemplo de imagem de 2015 com novas áreas desmatadas (indicadas por seta) na segmentação de 2014 (as quais não houveram mudanças nessa região).</a> | 28 |
| <a href="#">Figura 19 Exemplo de imagem de 2015 com novas áreas desmatadas segmentadas (ressegmentação em seta indicativa).</a>   | 29 |
| <a href="#">Figura 20 Resultado da classificação das áreas antropizadas de 2014 para 2015.</a>  | 29 |
| <a href="#">Figura 21 Exemplo de imagem de 2016 com novas áreas desmatadas (indicadas por seta) na segmentação de 2015 (as quais não houveram mudanças nessa região).</a> | 30 |
| <a href="#">Figura 22 Exemplo de imagem de 2016 com novas áreas desmatadas segmentadas (ressegmentação em seta indicativa).</a>   | 30 |
| <a href="#">Figura 23 Resultado da classificação das áreas antropizadas de 2015 para 2016.</a>  | 31 |
| <a href="#">Figura 24 Grade com cartas 1:250.000 do DSG.</a>  | 33 |
| <a href="#">Figura 25 Recorte da base de cobertura e uso do solo do monitoramento nas cartas de 1:250.000 do DSG.</a>   | 34 |
| <a href="#">Figura 26 Conversão do dado raster para o formato vetorial.</a>   | 34 |
| <a href="#">Figura 27 Interseção geométrica e individualização para partes simples aplicadas as feições vetoriais da base.</a>  | 35 |
| <a href="#">Figura 28 Módulo de Análise do SICAR onde as informações monitoradas e cadastradas são cruzadas.</a>  | 37 |
| <a href="#">Figura 29 Legenda de classes de cobertura e uso utilizadas no projeto.</a>  | 38 |





## Apresentação

O Cadastro Ambiental Rural (CAR), constitui-se em um importante instrumento de implementação e efetivação do Código Florestal – Lei 12.651/2012, completando uma base de dados inédita até os dias de hoje, e que atenderá a múltiplas finalidades, destacando-se a integração das informações ambientais das propriedades, posses rurais, assentamentos de reforma agrária e povos e comunidades tradicionais, e o monitoramento da dinâmica da cobertura e uso do solo. O CAR está dando suporte a diversas políticas do Ministério do Meio Ambiente, órgãos colegiados e de entidades vinculadas, como é o caso do Serviço Florestal Brasileiro (SFB), Instituto Brasileiro de Meio Ambiente e Recursos Renováveis (IBAMA), Agência Nacional de Águas (ANA), o Instituto Chico Mendes de Conservação e Biodiversidade (ICMBio) e o Instituto de Pesquisas Jardim Botânico do Rio de Janeiro (JBRJ).

Uma importante ferramenta para este tipo de monitoramento da cobertura da terra é a utilização de dados de sensoriamento remoto. Os sistemas de sensoriamento remoto, principalmente aqueles a bordo de satélites, fornecem uma visão sistemática e consistente da superfície terrestre, o que permite o monitoramento a curto e longo prazo das mudanças e impactos causados pela atividade humana.

O presente relatório apresenta as atividades que foram realizadas e os produtos que foram gerados e entregues no âmbito do TED 02/2017, celebrado entre a Universidade Federal de Lavras e Serviço Florestal Brasileiro, cujo o objeto é a geração de base de dados temática para subsidiar processos de análises e monitoramento do CAR. A base temática da cobertura da terra e sua dinâmica de desmatamento foi gerada para os anos de 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016. Com intuito de auxiliar a implementação do CAR, foi criado um Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR), cuja finalidade é auxiliar o cumprimento da obrigação de cadastro no registro público eletrônico de âmbito nacional e a integração das informações ambientais dos imóveis rurais. As informações ambientais cadastradas pelo produtor rural no SICAR serão confrontadas com os dados do monitoramento da cobertura e uso do solo gerados neste Projeto, a partir de imagens de sensoriamento remoto, desde 22 de julho de 2008 até o ano de 2016.





## 1. Introdução

A alteração da cobertura do solo é considerada um fator importante no que diz respeito às mudanças ambientais globais, afetando os serviços ecológicos e a biodiversidade (FOLEY et al., 2005). Entender a dinâmica dos processos que modificam a cobertura do solo, é fundamental para obter informações sobre aspectos referentes aos tipos de mudança, às suas taxas e aos padrões espaciais na superfície terrestre que interferem neste processo (LOVELAND; DEFRIES, 2004).

A detecção de mudança pode ser definida como o processo de identificar alterações em um objeto ou fenômeno na superfície terrestre, através da comparação da sua condição em diferentes períodos no tempo (SINGH, 1989). Dessa maneira, técnicas de sensoriamento remoto correspondem a um importante subsídio para tal finalidade, devido às vantagens associadas ao seu custo-benefício, o qual permite o monitoramento destes processos em diferentes escalas geográficas e com uma frequência regular de aquisição de dados (LUNETTA et al., 2004; ROGAN; CHEN, 2004).

Dentre as mudanças observadas no solo, a conversão de formas de vegetação nativa em áreas antropogênicas se apresenta como o aspecto mais grave para a manutenção da sustentabilidade dos ecossistemas, ocasionando desequilíbrio no ciclo do carbono, aceleração dos processos de mudanças naturais, fragmentação da paisagem e perda da biodiversidade.

Inerente ao desafio de compreender a dinâmica das mudanças na cobertura terrestre está o desafio de criar mecanismos que possibilitem o monitoramento de forma automatizada e com resultados satisfatórios, uma vez que monitorar grandes áreas territoriais ainda é um processo oneroso devido a extensa quantidade de dados e carência de métodos para tratar as peculiaridades naturais e antropogênicas das áreas.

Com a vantagem de gerar informações sobre o perfil e a dinâmica dessas alterações, dados provenientes de sensoriamento remoto têm sido largamente utilizados trazendo ganhos para o planejamento territorial e apoiando iniciativas de conservação da biodiversidade e programas de monitoramento em áreas com pressão antropogênica.





Ainda, na tentativa de aprimorar as técnicas já existentes e ampliar a aplicação para outras áreas, pesquisadores focam seus trabalhos no desenvolvimento de novas metodologias, como aquelas baseadas em objetos geográficos (BENZ et al., 2004; WALTER, 2004; HAY et al., 2005) e, mais recentemente, aquelas que unem as vantagens da utilização da informação a nível de objeto a processos estocásticos (DESCLÉE; BOGAERT; DEFOURNY, 2006 e BONTEMPS et al., 2008).

Dada a grande extensão a ser mapeada, para subsidiar o SICAR, foram empregados recursos e metodologias estruturadas de classificação digital das imagens de sensoriamento remoto e sistemas de informação geográfica usando tecnologias e softwares apropriados, empregando-se conhecimentos do comportamento espectral dos alvos de interesse associando-os às bandas espectrais que estarão disponíveis para a execução do serviço, com o apoio de levantamentos de campo.

## 2. Descrição dos produtos

A base temática da cobertura e uso da terra e sua dinâmica de desmatamento foi gerada para os anos de 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016, realizada a partir do processamento e classificação digital das imagens do satélite RapidEye, Sentinel-2 e Landsat-8, respectivamente com 5 metros, 10 metros e 30 metros de resolução espacial e resolução espectral de 5, 4 e 7 bandas, contemplando uma escala de mapeamento 1:50.000 ou melhor para visualização e edição.

O processo de mapeamento e monitoramento por cada ano foi realizado através das seguintes etapas:

1. Validação e correção de possíveis inconsistências no mapeamento de 2008 e 2011 realizado para o SICAR pelo Serviço Florestal Brasileiro (SFB) em parceria com a Universidade Federal de Lavras (UFLA);
2. Confeção da base de cobertura e uso do solo para os anos de 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016, onde foi adotada uma metodologia de processamento baseada em objetos, utilizando parâmetros de segmentação que foram reajustados de acordo com o tipo de imagem, resolução espacial e área trabalhada, a fim de obter um melhor desenho das feições da paisagem. Foram





utilizados, para o monitoramento, algoritmos de aprendizagem de máquina, como por exemplo, o *Support Vector Machine* (SVM), *BAYES* ou *Random Forest* (RF), além de atributos espectrais, como médias e desvio padrão das bandas das imagens e de índices de vegetação e análise do solo e água como por exemplo *Normalized Difference Vegetation Index* (NDVI), *Soil Adjusted Vegetation Index* (SAVI) e *Normalized Difference Vegetation Index* (NDWI);

3. Durante a confecção da base de cobertura e uso do solo entre os anos de 2012 a 2015, foi realizado o cruzamento das informações levantadas entre os anos de mapeamento, objetivando extrair as áreas desmatadas/ alteradas e áreas com indícios de regeneração entre o período de análise. Também foi utilizada uma metodologia que foi capaz de compatibilizar a resolução espacial das imagens RapidEye, Sentinel-2 e Landsat-8 de forma que minimizou a perda de informações da melhor resolução espacial, ou seja, das informações com detalhamento mais fino das feições da paisagem provenientes das imagens RapidEye (5 m).





## 3. Metodologia

### 3.1. Base de dados

A base de dados de imagens de Sensoriamento Remoto utilizada para gerar o mapeamento e monitoramento entre o período de 2012 até 2016, que dá suporte ao SICAR e seus módulos de análise, foi composta por imagens da constelação de satélites RapidEye, Landsat 8 OLI e Sentinel 2A.

A constelação de satélites RapidEye é composta por 5 satélites e começou a funcionar em agosto de 2008. Operam em uma órbita heliossíncrona a 630 km de altitude, cada um com um sensor do tipo *pushbroom* de cinco bandas multiespectrais e de 6,5 metros de resolução espacial. As especificações do sistema RapidEye se encontram na **Tabela 1**.

Os satélites RapidEye carregam um sensor multiespectral denominado REIS (*RapidEye Earth Imaging System*). Ele é composto por uma câmera Jena-Optronik, chamada Jena Spaceborne Scanner JSS 56. Esta câmera atua em 5 faixas do espectro eletromagnético, do visível ao infravermelho próximo. É a primeira câmera a apresentar uma banda espectral na faixa do *red-edge*, desenvolvida para melhor discriminação da vegetação, situada numa faixa do espectro eletromagnético que tem alta correlação com a fluorescência da clorofila. Assim, pode ser utilizada para distinguir tipos diferentes de vegetação, avaliar a fitossanidade e a ocorrência de processos de eutrofização em reservatórios.

A cobertura de imagens RapidEye para todo o Brasil apresenta 15.819 imagens (**Figura 1**), dessas imagens, 1.345 estão no hemisfério norte, compreendendo parte de alguns estados da região norte do Brasil, sendo eles: Amapá, Amazonas, Pará e Roraima.



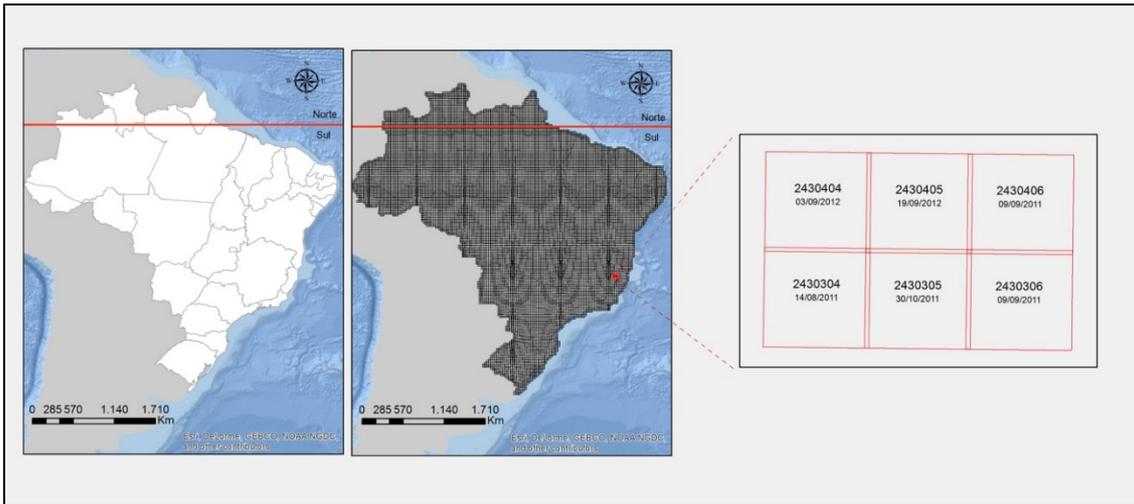


Figura 1 Cobertura de imagens da RapidEye para todo o Brasil.

Tabela 1 Especificações do satélite RapidEye.

| Especificações do Sistema RapidEye  |   |
|-------------------------------------|---|
| Número de Satélites                 | 5   |
| Vida útil da plataforma             | 7 anos  |
| Altitude de Órbita                  | 630 km, órbita síncrona com o sol                     |
| Passagem pelo Equador               | 11:00 hs (aproximadamente)                            |
| Tipo de Sensor                      | Multiespectral ( <i>push broom imager</i> )           |
| Bandas Espectrais                   | Banda1 (azul): 440 – 510 nm                           |
|                                     | Banda 2 (verde): 520 – 590 nm                         |
|                                     | Banda 3 (vermelho): 630 – 685 nm                      |
|                                     | Banda 4 (red-edge): 690 – 730 nm                      |
|                                     | Banda 5 (infravermelho próximo): 760 – 850 nm         |
| Campo de Visada Instantâneo (nadir) | 6,5 m   |
| Tamanho do pixel (ortorretificado)  | 5 m   |
| Largura da faixa de imageamento     | 77 km   |
| Armazenamento de dados a bordo      | 1500 km de dados de imagem por órbita                 |
| Resolução Temporal                  | Diária (fora do nadir) / 5 dias e 12 horas (no nadir) |
| Capacidade de captura de imagens    | 4 milhões de km <sup>2</sup> por dia                  |
| Resolução Radiométrica              | 12 bits ou 4.096 níveis de cinza                      |



O programa de satélites de observação da Terra Landsat é o mais longo em imageamento espacial e o mais utilizado em pesquisas envolvendo cobertura e uso do solo. Este satélite é bastante utilizado por possuir resolução espacial, espectral e temporal adequadas para a identificação de alvos e para monitorar as mudanças na paisagem.

A série Landsat teve início em 1972 e é utilizada até hoje (**Figura 2**). O primeiro veículo espacial implantado para o monitoramento terrestre apresentava os sensores MSS (*Multispectral Scanner*) e RBV (*Return Beam Vidicon Camera*), a bordo dos satélites Landsat 1, 2 e 3.

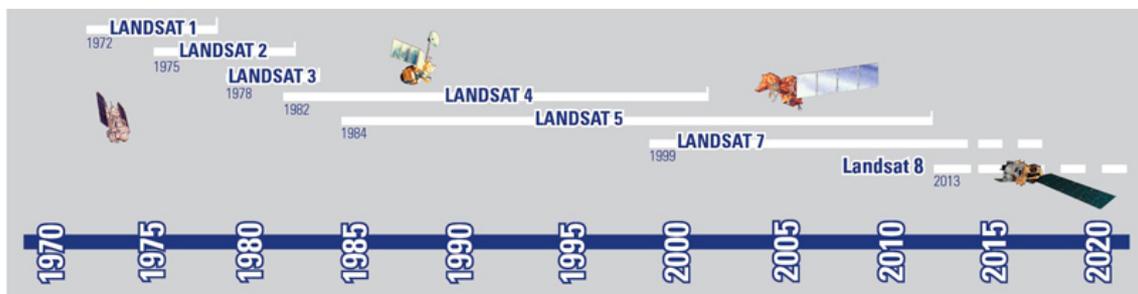


Figura 2 Informações do programa Landsat (Fonte: NASA, 2012).

O sensor TM (*Thematic Mapper*), a bordo dos satélites Landsat 4 e Landsat 5 possui resolução radiométrica de 8 bits e sete bandas espectrais, sendo três na região do visível com resolução espacial de 30 metros, três na região do infravermelho próximo, também com 30 metros e uma na região do infravermelho termal, com resolução espacial de 120 metros.

O sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper plus*), a bordo do Landsat 7 é semelhante ao TM tendo ainda incluída uma banda pancromática com resolução espacial de 15 metros e a banda do infravermelho termal com resolução melhorada de 60 metros.

Está em operação desde o mês de abril de 2013 o satélite Landsat 8, utilizando o sensor *Operational Land Imager* (OLI), e o *Thermal Infrared Sensor* (TIRS). As bandas espectrais do sensor OLI são similares ao sensor ETM+, porém aprimoradas em relação



aos sensores anteriores. Além disso, apresenta duas novas bandas espectrais, uma (Banda 1) na faixa do visível azul profundo, projetada especificamente para estudos hídricos e investigação da zona costeira e uma nova banda (Banda 9) para detecção de nuvens densas. O instrumento TIRS possui duas bandas espectrais (Bandas 10 e 11) que são similares ao comprimento de onda coberto por uma única banda dos sensores anteriores TM e ETM+. Seguem abaixo as características espectrais dos sensores OLI/TIRS (**Tabela 2**).

**Tabela 2** Especificações do satélite Landsat 8, sensor OLI.

| Landsat 8 (OLI/TIRS) Bandas                 | Comprimento de onda (micrometros) | Resolução (metros) |
|---|-----------------------------------|--------------------|
| <b>Banda 1 – Coastal aerosol</b>            | 0.43 – 0.45                       | 30                 |
| <b>Banda 2 – Blue</b>                       | 0.45 – 0.51                       | 30                 |
| <b>Banda 3 – Green</b>                      | 0.53 – 0.59                       | 30                 |
| <b>Banda 4 – Red</b>                        | 0.64 – 0.67                       | 30                 |
| <b>Banda 5 – Near Infrared (NIR)</b>        | 0.85 – 0.88                       | 30                 |
| <b>Banda 6 – SWIR 1</b>                     | 1.57 – 1.65                       | 30                 |
| <b>Banda 7 – SWIR 2</b>                     | 2.11 – 2.29                       | 30                 |
| <b>Banda 8 – Panchromatic</b>               | 0.50 – 0.68                       | 30                 |
| <b>Banda 9 – Cirrus</b>                     | 1.36 – 1.38                       | 15                 |
| <b>Banda 10 – Thermal Infrared (TIRS) 1</b> | 10.60 – 11.19                     | 100                |
| <b>Banda 11 – Thermal Infrared (TIRS) 2</b> | 11.50 – 12.51                     | 100                |

A cobertura de imagens Landsat 8 OLI para todo o território nacional representa 375 imagens do satélite, como mostrado na **Figura 3**.

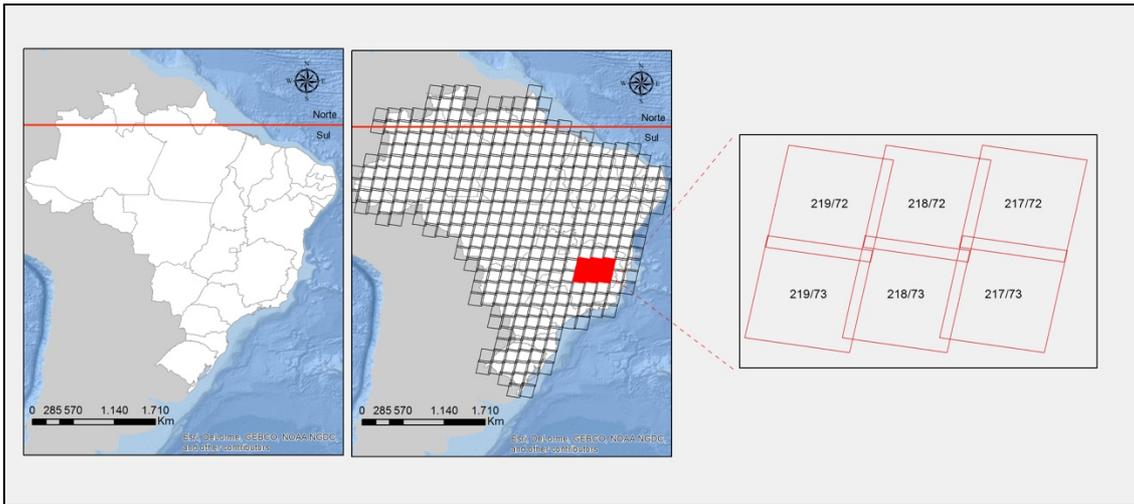


Figura 3 Cobertura de imagens Landsat 8 para todo o Brasil.

A missão completa do satélite Sentinel 2 compreende satélites (2A e 2B) em órbitas polares e foi desenvolvido com o objetivo de monitorar a variabilidade nas condições da superfície terrestre, observação da Terra, realizando coleta de dados sobre a vegetação, solos e humidade, rios e áreas costeiras, e dados para correção atmosférica.

A missão Sentinel-2 oferece cobertura global sistemática da superfície da terra, alta taxa de revisita. Este satélite tem sido bastante utilizado por possuir resolução espacial, espectral e temporal adequadas para a identificação de alvos e para monitorar as mudanças na paisagem.

Os satélites Sentinel-2 operam em uma órbita polar, cada sensor possui treze bandas espectrais, sendo 4 bandas no visível e no infra vermelho, com 10 metros de resolução espacial, 6 bandas no “red edge” e no infra vermelho de ondas curtas, com 20 metros e 3 bandas para correções atmosféricas. As especificações do sistema RapidEye se encontram na **Tabela 3**.



**Tabela 3 Especificações do satélite Sentinel 2A.**

| Especificações do Sistema Sentinel |             |                              |   |
|------------------------------------|-------------|------------------------------|---|
| Resolução                          | Nº da banda | Nome da Banda                | Comprimento de Onda Central (nanômetro) |
| 10 metros                          | B02         | Blue (Azul)                  | 490                                     |
|                                    | B03         | Green (Verde)                | 560                                     |
|                                    | B04         | Red (Vermelho)               | 665                                     |
|                                    | B08         | NIR ( Infravermelho próximo) | 842                                     |
| 20 metros                          | B05         | Red Edge 1                   | 705                                     |
|                                    | B06         | Red Edge 2                   | 740                                     |
|                                    | B07         | Red Edge 3                   | 783                                     |
|                                    | B08A        | Red Edge 4                   | 865                                     |
|                                    | B011        | SWIR 1                       | 1610                                    |
|                                    | B012        | SWIR 2                       | 2190                                    |
| 60 metros                          | B01         | Aerossol                     | 443                                     |
|                                    | B09         | Water Vapor                  | 940                                     |
|                                    | B10         | Cirrus                       | 1375                                    |

Todos os dados adquiridos pelo instrumento ou sensor MSI são sistematicamente processados para o Nível-1C. O produto Nível-1C fornece imagens de projeção ortorrectificada, onde é um dos seus processos metodológicos, foi usado um DEM para corrigir distorções geométricas de terra, é o que chamamos de *Top-Of-Atmosfere* (TOA). Num segundo momento, foram corrigidos efeitos de reflectância dos alvos utilizando algoritmos como *subpixel multi-espectral* e *registro multidata*.

A cobertura de imagens Sentinel 2 representa 1.035 imagens do satélite cobrindo todo o território nacional, como mostrado nas **Figuras 4**.

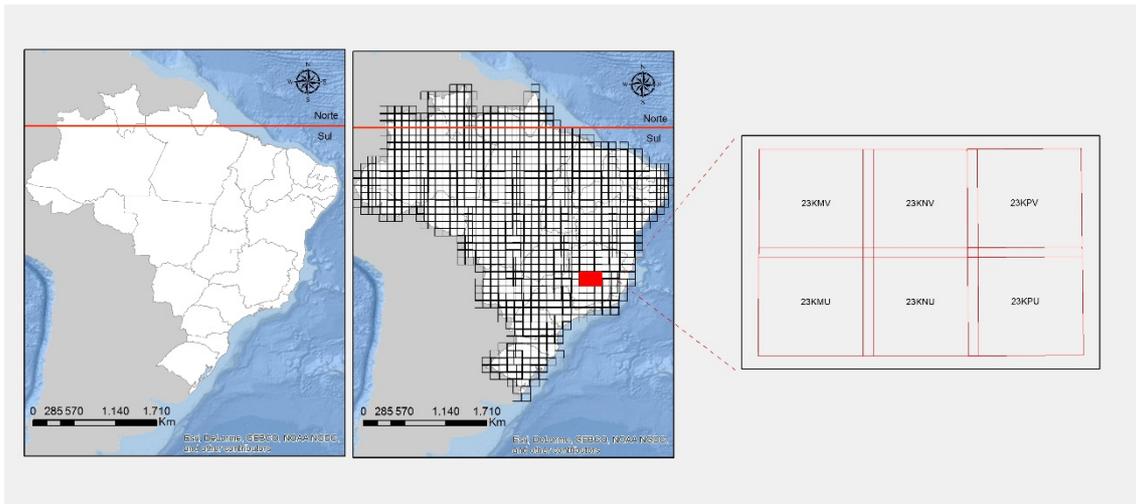


Figura 4 Cobertura de imagens Sentinel 2 para todo o Brasil.

### 3.2. Validação e verificação por erros da base de Mapeamento 2008 – 2011

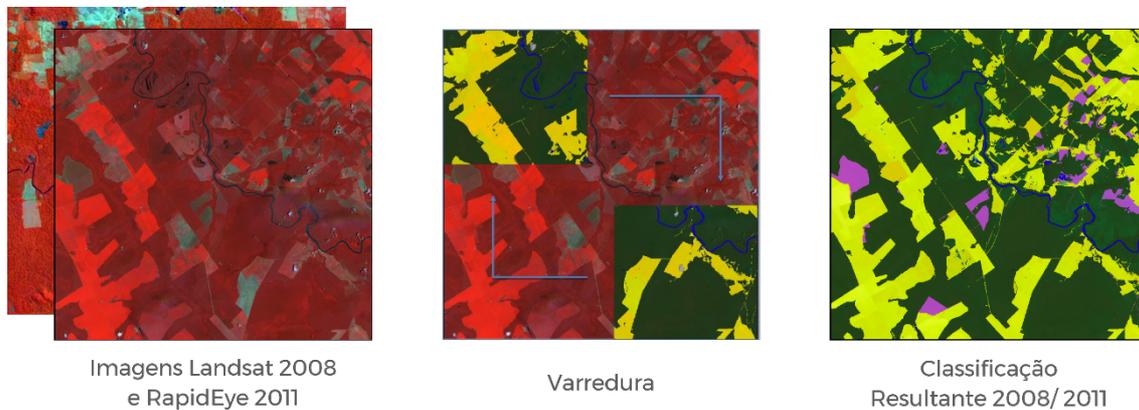
O Ministério do Meio Ambiente em parceria com a Universidade Federal de Lavras, gerou um mapeamento entre os anos de 2008, utilizando imagens Landsat 5 TM (datadas a partir de 22 de julho de 2008), e imagens RapidEye datadas do ano de 2011, para o Cadastro Ambiental Rural – CAR.

O principal objetivo deste mapeamento foi a detecção das áreas de Uso Consolidado (previsto na Lei 12.651/2012), ou seja, áreas que sofreram supressão da vegetação nativa até a data de 22 de julho de 2008; a detecção das Área Antropizadas, que sofreram supressão da vegetação nativa após essa data citada até o ano de 2011; área de Vegetação Nativa, Vereda, Mangue, Apicuns e Salgados, Restinga e Corpos d'Água, todas estas últimas encontradas nas imagens de 2011.

Como um dos objetivos do monitoramento que representa este projeto é a continuação do mapeamento da dinâmica da cobertura e uso do solo para os anos de 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016, faz-se necessário uma revisão e validação do produto gerado para 2008 e 2011, para não ocorrer continuidade e acúmulo de possíveis inconsistências.



Assim, dentro do processo de monitoramento a ser executado, inicialmente é realizado por cada analista do projeto, uma varredura do mapeamento já realizado, procurando e corrigindo erros, como pode ser observado na **Figura 5**.



**Figura 5** Varredura para validação e correção de erros do produto inicial do CAR.

### 3.3. Monitoramento da dinâmica da cobertura e uso do solo para os anos de 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016

Após a validação e correção de inconsistências do produto 2008 – 2011 gerado para o CAR, iniciou-se a continuidade do monitoramento da dinâmica da cobertura e uso do solo para os anos de 2012, 2013, 2014, utilizando imagens RapidEye, 2015 utilizando imagens RapidEye ou Landsat 8 e 2016 utilizando imagens Sentinel 2A.

#### 3.3.1. Classes de cobertura e uso do solo

Os mapeamentos temáticos das classes de cobertura e uso do solo de interesse do Código Florestal asseguram a precisão requerida estabelecida neste Projeto e foram adequadas e validadas de acordo com as seguintes definições:

**Área antropizada:** Área rural com uso antropogênico, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pousio;

**Área de uso consolidado:** área rural consolidada é “área de imóvel rural com ocupação antrópica preexistente a 22 de julho de 2008, com edificações, benfeitorias ou atividades agrossilvipastoris, admitida, neste último caso, a adoção do regime de pousio”, definida pelo artigo 3º, inciso IV, da Lei nº 12.651/2012;

**Remanescente de vegetação nativa:** Área com vegetação nativa em estágio primário ou secundário avançado de regeneração, definida no artigo 1º, inciso IV, Decreto 7.830/2012;

**Curso d’água:** rios, lagos, lagoas naturais ou artificiais, reservatórios artificiais, decorrente de barramento ou represamento de cursos d’água naturais;

**Vereda:** De acordo com artigo 3º, inciso XII, Lei 12651/2012, “*fitofisionomia de savana, encontrada em solos hidromórficos, usualmente com a palmeira arbórea *Mauritia flexuosa* - buriti emergente, sem formar dossel, em meio a agrupamentos de espécies arbustivo-herbáceas*”;

**Manguezal:** De acordo com artigo 3º, inciso XIII, Lei 12651/2012, “*Ecosistema litorâneo que ocorre em terrenos baixos, sujeitos à ação das marés, formado por vasas lodosas recentes ou arenosas, às quais se associa, predominantemente, a vegetação natural conhecida como mangue, com influência fluviomarinha, típica de solos limosos de regiões estuarinas e com dispersão descontínua ao longo da costa brasileira, entre os Estados do Amapá e de Santa Catarina*”;

**Salgado:** ou marismas tropicais hipersalinos, de acordo com artigo 3º, inciso XIV, Lei 12651/2012, “*áreas situadas em regiões com frequências de inundações intermediárias entre marés de sizígias e de quadratura, com solos cuja salinidade varia entre 100 (cem) e 150 (cento e cinquenta) partes por 1.000 (mil), onde pode ocorrer a presença de vegetação herbácea específica*”;

**Apicum:** De acordo com artigo 3º, inciso XV, Lei 12651/2012, “*áreas de solos hipersalinos situadas nas regiões entremarés superiores, inundadas apenas pelas marés de sizígias, que apresentam salinidade superior a 150 (cento e cinquenta) partes por 1.000 (mil), desprovidas de vegetação vascular*”;



**Restinga:** De acordo com artigo 3º, inciso XVI, Lei 12651/2012, “*depósito arenoso paralelo à linha da costa, de forma geralmente alongada, produzido por processos de sedimentação, onde se encontram diferentes comunidades que recebem influência marinha, com cobertura vegetal em mosaico, encontrada em praias, cordões arenosos, dunas e depressões, apresentando, de acordo com o estágio sucessional, estrato herbáceo, arbustivo e arbóreo, este último mais interiorizado*”.

Para o mapeamento das imagens, as classes foram adequadas de acordo com a seguinte legenda:

- Corpos d’Água (passíveis de serem identificados a partir do processo de classificação semiautomática);
- Remanescente de Vegetação Nativa;
- Área de Uso Consolidado (anterior a 22 julho de 2008);
- Áreas com indicativo de ocorrência de Áreas antropizadas (posterior a 22 de julho de 2008 até o ano de 2016);
- Áreas com indicativo de ocorrência de Manguezal;
- Áreas com indicativo de ocorrência de Restingas;
- Áreas com indicativo de ocorrência de Veredas;
- Áreas com indicativo de ocorrência de Apicuns / Salgados;
- Área Urbana
- Nuvens e Sombras de Nuvens.

### 3.3.2.Segmentação de imagens

Para uma continuidade metodológica realizada no produto do CAR 2008 – 2011, e a obtenção de maior precisão, agilidade, rapidez e qualidade nos produtos que foram gerados, foi utilizada uma metodologia baseada em objetos.



Assim, o primeiro passo para o monitoramento da dinâmica da paisagem, utilizando imagens de satélite de diferentes sensores foi iniciar com o processo de segmentação das mesmas.

A segmentação pode ser entendida como a subdivisão da imagem em partes ou objetos constituintes por similaridade ou por descontinuidade.

Couto Junior (2011), cita alguns fatores da importância de se analisar imagens a partir de segmentos ou objetos:

- (I) Para decompor a imagem em partes (objetos ou segmentos) para as posteriores análises, podem-se segmentar apenas partes da imagem as quais serão necessárias para analisar;
- (II) Para efetuar uma mudança na representação dos dados (SHAPIRO; STOCKMAN, 2000) - os pixels são agrupados com base em critérios de homogeneidade e forma;
- (III) As limitações das abordagens de análises baseadas em pixels que devem ser suprimidas;
- (IV) As cenas podem ser analisadas em uma abordagem em multiescala, com objetos de diferentes tamanhos, formas e localizações espaciais (HAY; CASTILLA, 2008) - em diversos casos, os objetos gerados não proporcionam uma informação relevante em função do objetivo do estudo. Para isso, adéqua-se a segmentação em diferentes escalas e análises, ambas dentro de uma hierarquia de níveis e entre níveis;
- (V) Para integrar diferentes técnicas de processamento, recuperação e análise de dados em multirresolução de diferentes sensores (LANG, 2008);
- (VI) Para obter uma maior integração com softwares de SIG, em que são incorporadas algumas das funcionalidades dos mesmos, como informações auxiliares para uma classificação temática, medidas de distância, etc. (NAVULUR, 2007).

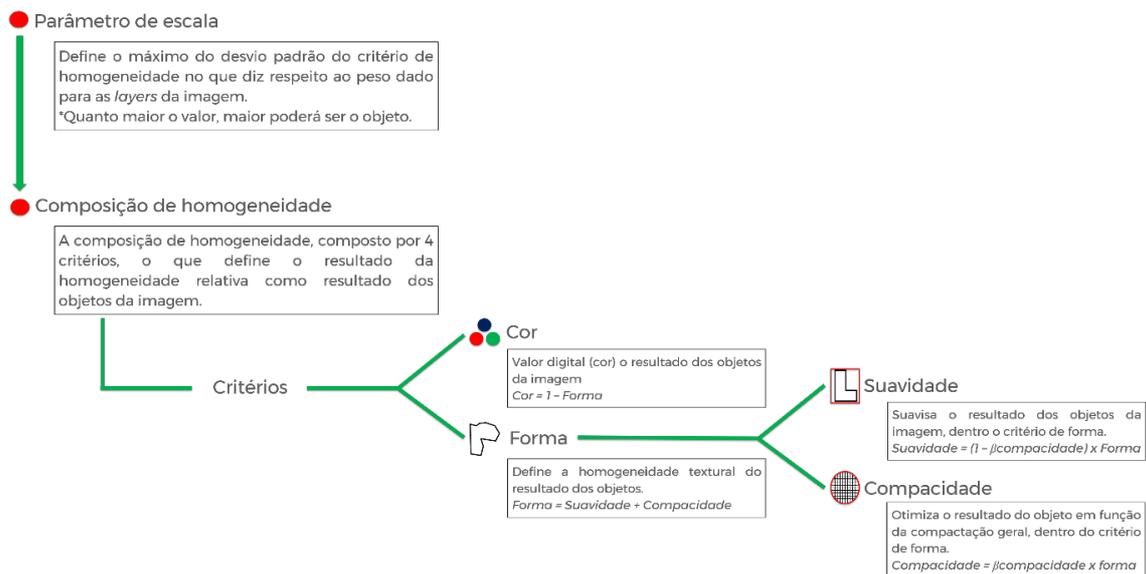
Em geral, as seguintes vantagens são provenientes da segmentação nas análises de imagens baseadas em objetos (BENZ et al., 2004; BOCK et al., 2005; HAY;

CASTILLA, 2008; HAY et al., 2005; NAVULUR, 2007; NEUBERT; HEROLD; MEINEL, 2008; COUTO JUNIOR, 2011):

- (1) Particionar uma imagem em objetos é similar à maneira pela qual seres humanos conceitualmente organizam a paisagem para compreendê-la;
- (2) O reconhecimento de que pixels individuais não são verdadeiros objetos geográficos, o que significa objetos de imagem possuem uma relação intuitiva espacial entre objetos do mundo real;
- (3) Vantagens nos cálculos estatísticos e de textura;
- (4) A fácil integração entre SIG e sensoriamento remoto (para classificações temáticas, incluindo o uso de informações auxiliares, medidas de distâncias, etc.);
- (5) Aumentam as possibilidades de análises, uma vez que uma quantidade maior de características e atributos do sensoriamento remoto pode ser contemplada, como, por exemplo, espectral (bandas multiespectrais incluindo a banda pancromática), espacial (área, direção, distância, largura), morfológica (parâmetros de forma e textura), contextual (relacionado com vizinhos, análises de proximidade) e temporal (séries temporais);
- (6) Permite a incorporação de atuais métodos e técnicas utilizados para análise de imagens como métodos de classificações supervisionadas, lógica *fuzzy* e classificações baseadas e regras;
- (7) Permite a extração de características de uma mesma cena em diferentes resoluções ou escalas;
- (8) O número softwares livres e proprietários disponíveis com análises baseadas em objetos está aumentando de forma constante. Como exemplos têm-se: *Interimage*, *Edge Detection and Image Segmentation System (EDISON)*, *Extended Water Shed (EWS)*, *eCognition*, *HalconSEG*, *InfoPACK*, *Recursive Hierarchical Segmentation (RHSEG)*, *Size-Constrained Region Merging (SCRM)*, *Erdas Imagine extension (Imagine WS)*, *PARBAT*, *SEGEN* e *SegSAR*.

Com todas essas vantagens descritas anteriormente, a segmentação de imagens foi crucial para o desenvolvimento e aplicação da metodologia, e foi incorporada aos processos de análises para o monitoramento das imagens.

Para a segmentação foram utilizados parâmetros de *Escala* e da *composição de homogeneidade*. O parâmetro de *Escala* define o máximo desvio padrão do critério de homogeneidade, no que diz respeito ao peso dado para as *layers* ou bandas da imagem. Já a *Composição de Homogeneidade* é composta por 4 critérios, *Cor*, *Forma*, *Suavidade* e *Compacidade*. Estes parâmetros podem ser observados na **Figura 6**.



**Figura 6** Parâmetros de criação do objeto durante a segmentação.

Estes parâmetros foram configurados para cada imagem, em função do tipo e qualidade espectral da imagem, resolução espacial e região monitorada.

Todo o processo de segmentação, em cada tipo de imagem, foi realizado em 2 etapas. Na primeira etapa utilizamos o algoritmo *Multiresolution segmentation* em nível de pixel (**Figura 7**), com parâmetros de escala, forma e compacidade específicos (esses parâmetros foram reajustados de acordo com o tipo de imagem, resolução espacial e área trabalhada), a fim de obter um melhor delineamento das feições da paisagem.

Após este processo, a segunda etapa foi realizada por meio do algoritmo *Spectral difference segmentation*. Tal etapa consiste num processo de ressegmentação da primeira etapa, em que objetos vizinhos são fundidos de acordo com o valor médio da intensidade da banda e um limiar máximo pode ser definido pelo usuário. Como



resultado, os objetos vizinhos são fundidos quando a diferença espectral entre os objetos for menor que a máxima diferença espectral estabelecida no parâmetro do algoritmo. Como resultado, obtemos objetos maiores com áreas espectralmente semelhantes (**Figura 8**).

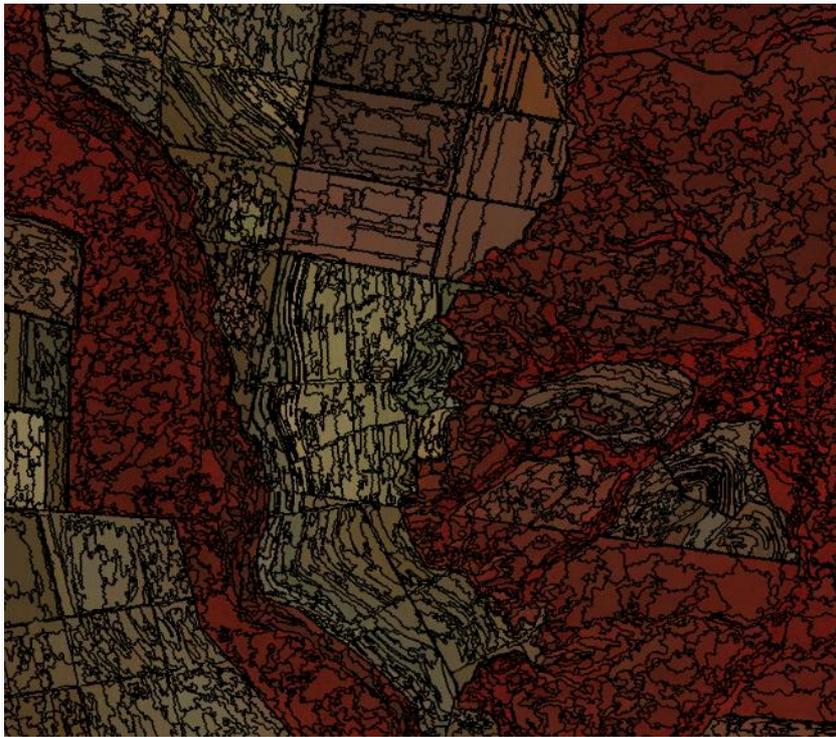


Figura 7 Imagem RapidEye segmentada pelo algoritmo *Multiresolution Segmentation*.

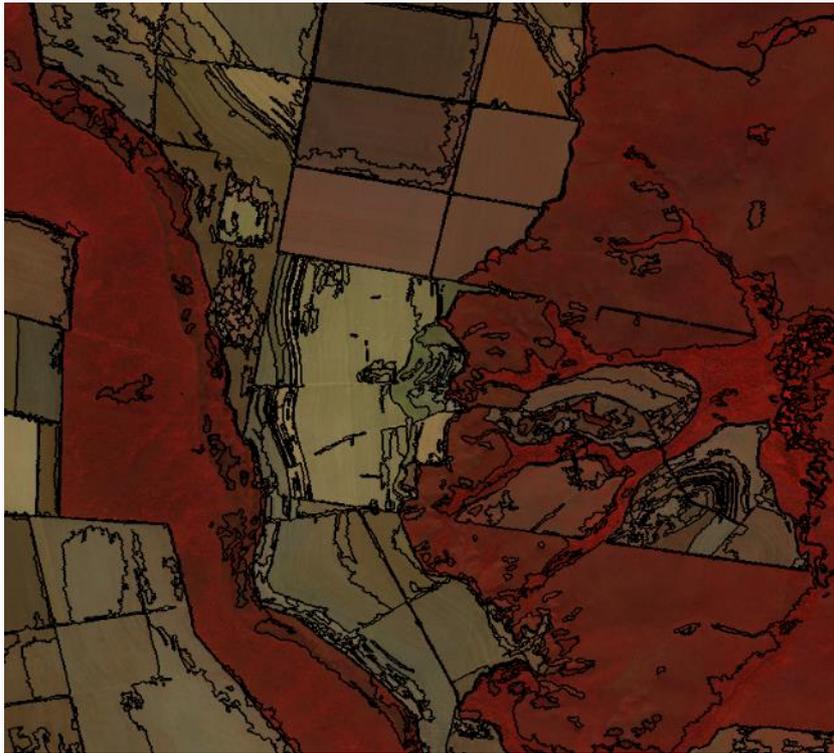


Figura 8 Imagem RapidEye segmentada pelo algoritmo *Spectral difference segmentation*.

Com o objetivo de desenvolver uma metodologia capaz de compatibilizar a resolução espacial das imagens RapidEye, Sentinel e Landsat de forma que não ocorresse a perda de informações de melhor resolução espacial, ou seja, das informações com detalhamento mais fino das bordas das feições terrestres, proveniente das imagens RapidEye, utilizamos a segmentação gerada nas imagens RapidEye.

Foi criada uma nova segmentação para cada classe de mapeamento baseando-se na informação espectral das imagens RapidEye de todos os anos, imagens Sentinel e imagem Landsat, e assim foram ressegmentadas as áreas onde houveram ou não mudança na paisagem no período entre 2008 e 2016. Essas mudanças representam as áreas de supressão de remanescente de vegetação nativa, ou Áreas Antropizadas e Áreas com Indícios de Regeneração entre o período especificado.

A partir destas análises, as áreas onde não houveram mudanças foram classificadas da mesma forma que nas imagens do ano anterior, mantendo os mesmos objetos e seus desenhos em relação as bordas das feições da paisagem. Entretanto, as áreas onde houve a segmentação de mudança no período analisado, foram extraídos novos objetos que representassem essas alterações.



No processo de ressegmentação das imagens dos anos onde se analisavam as detecções de mudanças, foram gerados em da mesma forma, com 2 etapas, utilizando os algoritmos *Multiresolution Segmentation* e *Spectral Difference Segmentation*, explicados anteriormente.

### 3.3.3. Detecção das áreas antropizadas e com indícios de regeneração

Para a detecção das Áreas Antropizadas e das Áreas com Indícios de Regeneração, nas imagens RapidEye 2012, 2013, 2014, RapidEye ou Landsat 2015 e Sentinel 2016, utilizamos como base a classificação validada e corrigida de 2008 - 2011.

Os objetos gerados na segmentação, a partir das imagens RapidEye 2011, foram aproveitados, e foi realizada uma ressegmentação destes objetos, para todas as classes, baseando-se em parâmetros de escala e composição de homogeneidade, relacionados aos pesos dados nas bandas das imagens de 2012. Assim, são gerados novos objetos (ou sub-objetos), onde o algoritmo procura, automaticamente, por diferenças espectrais (ou seja, pixels heterogêneos), não encontradas nas imagens de 2011. Com estes objetos detectados e delineados, foi definido manualmente e a partir de uma análise visual entre as imagens no tempo, se classificavam-se como Áreas Antropizadas ou como Áreas com Indícios de Regeneração.

O mesmo raciocínio e método foi reproduzido para os anos seguintes de 2013, 2014, 2015 e 2016. Todo esse processo é exemplificado nas **Figuras 10 a 23**, e seguindo a legenda representada abaixo na **Figura 9**, com “*setas vermelhas*” para a indicação das Áreas Antropizadas e “*setas amarelas*” para as Áreas com Indícios de Regeneração.

No caso das Áreas com Indícios de Regeneração, foi tomada a preocupação de não confundir essas áreas com sistemas de “*Pousio*”, previstos por lei em alguns estados brasileiros, principalmente os localizados no Bioma Amazônia. Assim, para dar maior legitimidade a essas áreas, as mesmas eram detectadas apenas no ano de 2016, após análise temporal e verificando uma tendência por todo o período de tempo analisado, no caso de 2008 até 2016.



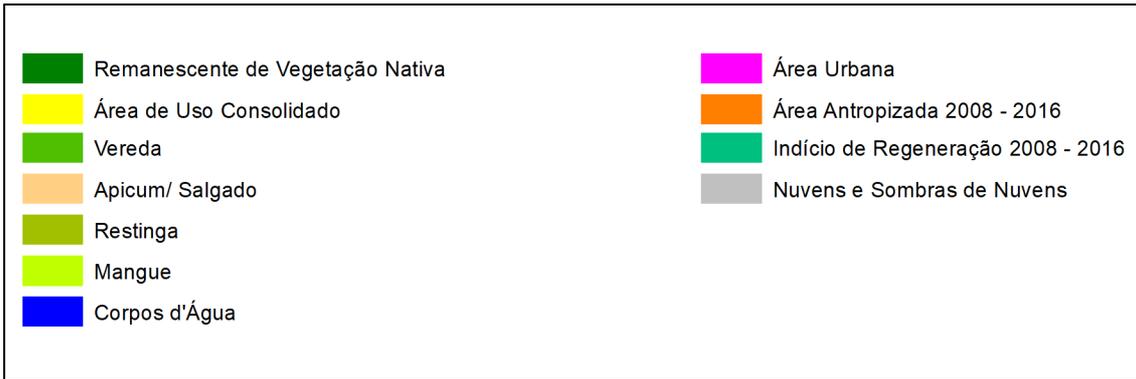


Figura 9 Legenda de classes para as figuras 10 a 23.

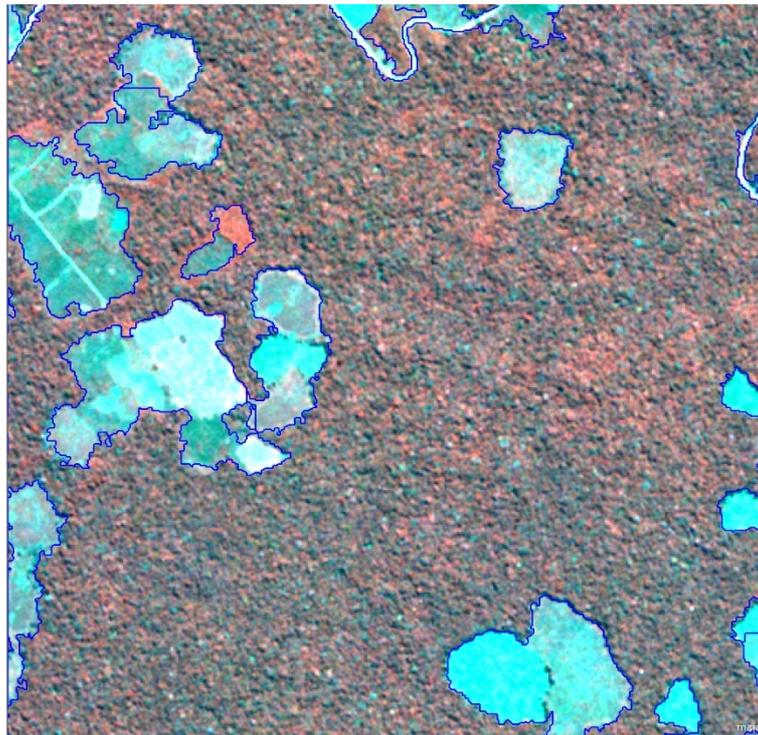


Figura 10 Exemplo de imagem RapidEye 2011 com segmentação.

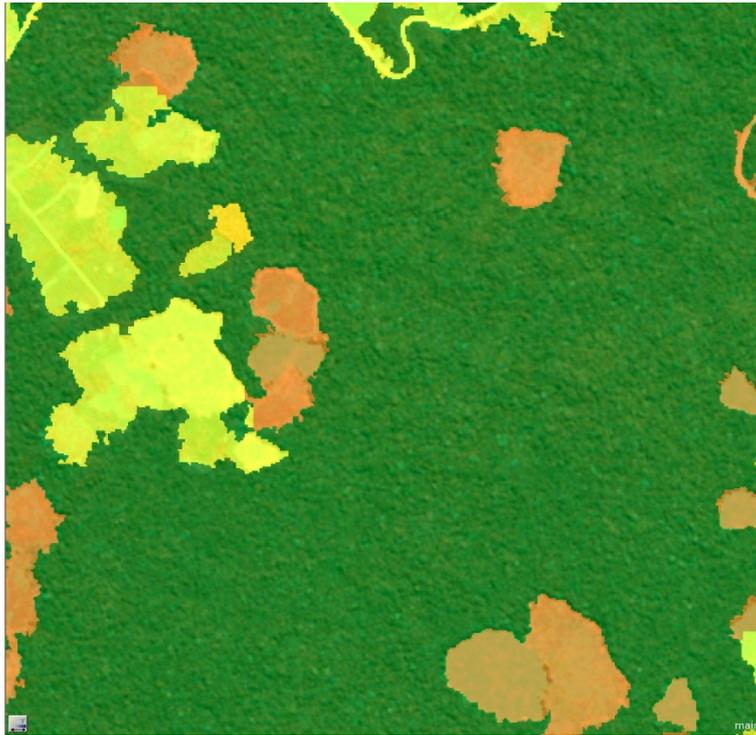


Figura 11 Exemplo de classificação de 2011.

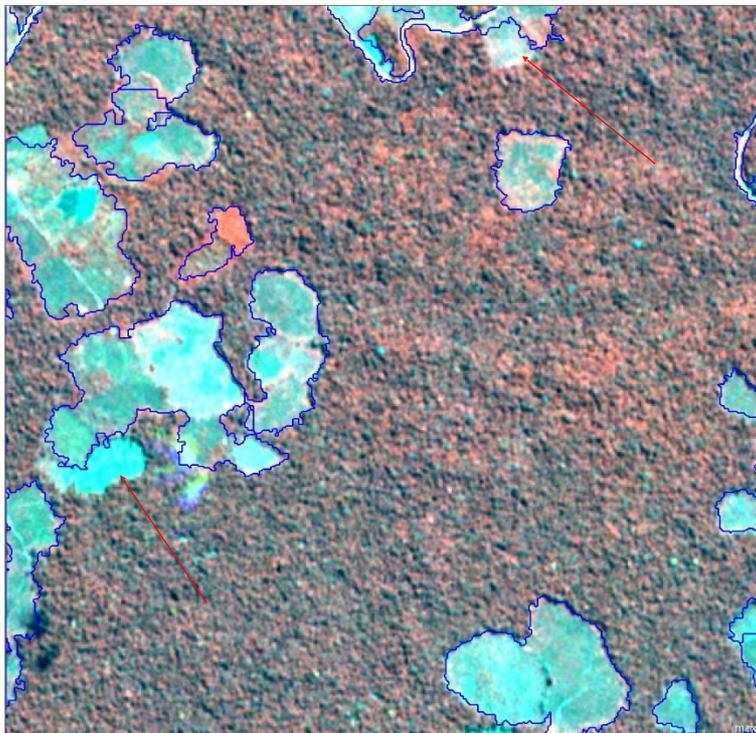


Figura 12 Exemplo de imagem de 2012 com novas áreas desmatadas (indicadas por seta) na segmentação de 2011.

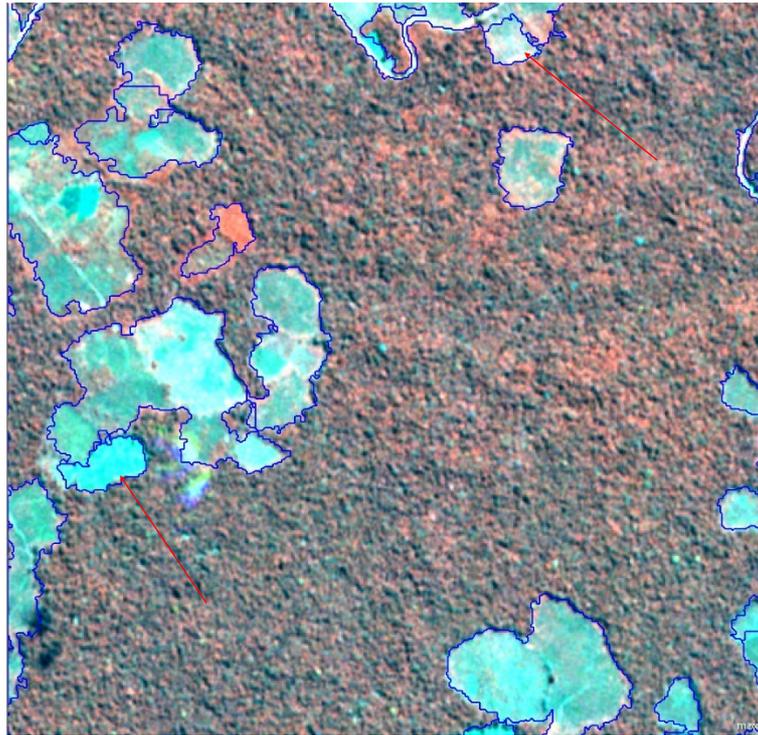


Figura 13 Exemplo de imagem de 2012 com novas áreas desmatadas segmentadas (ressegmentação em seta indicativa).

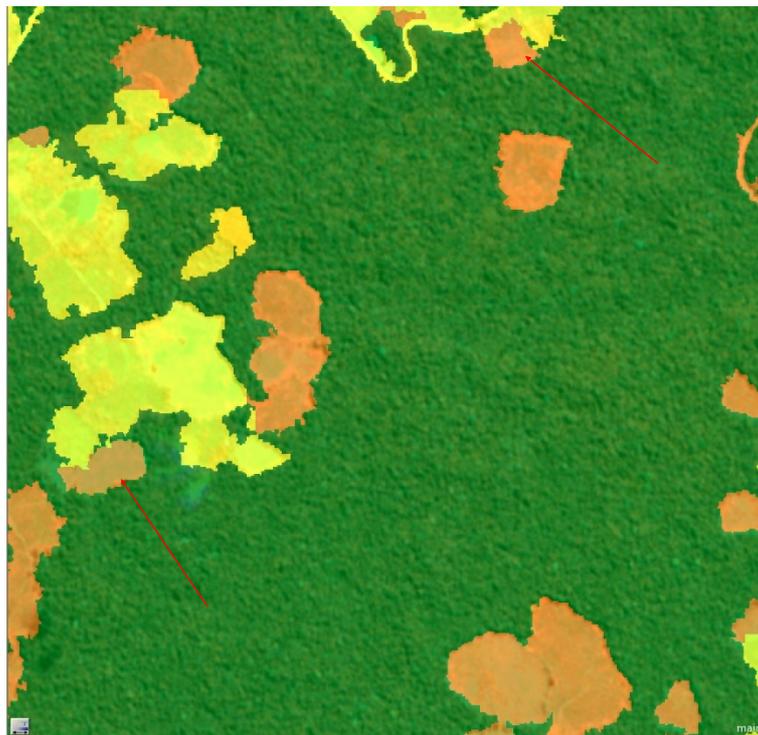


Figura 14 Resultado da classificação das áreas antropizadas de 2011 para 2012.

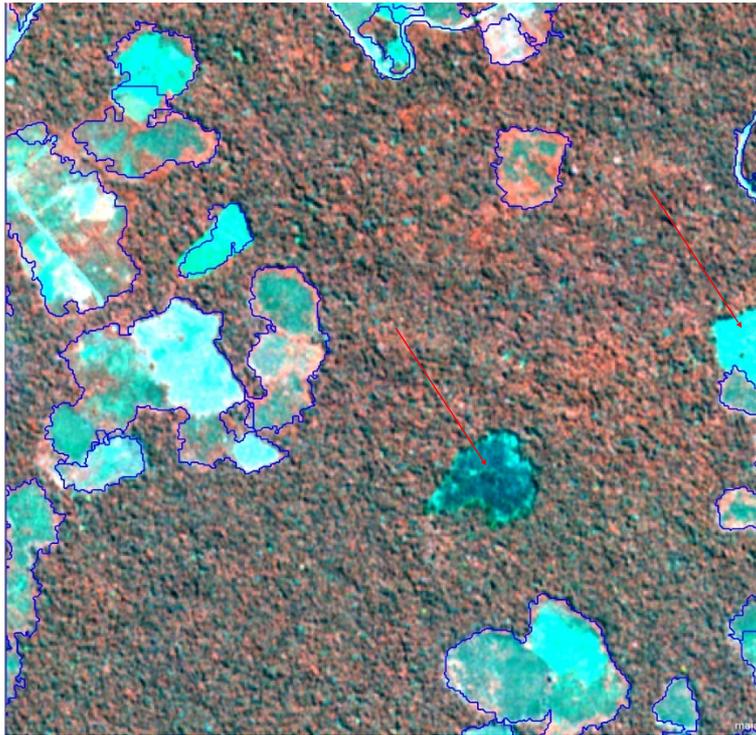


Figura 15 Exemplo de imagem de 2013 com novas áreas desmatadas (indicadas por seta) na segmentação de 2012.

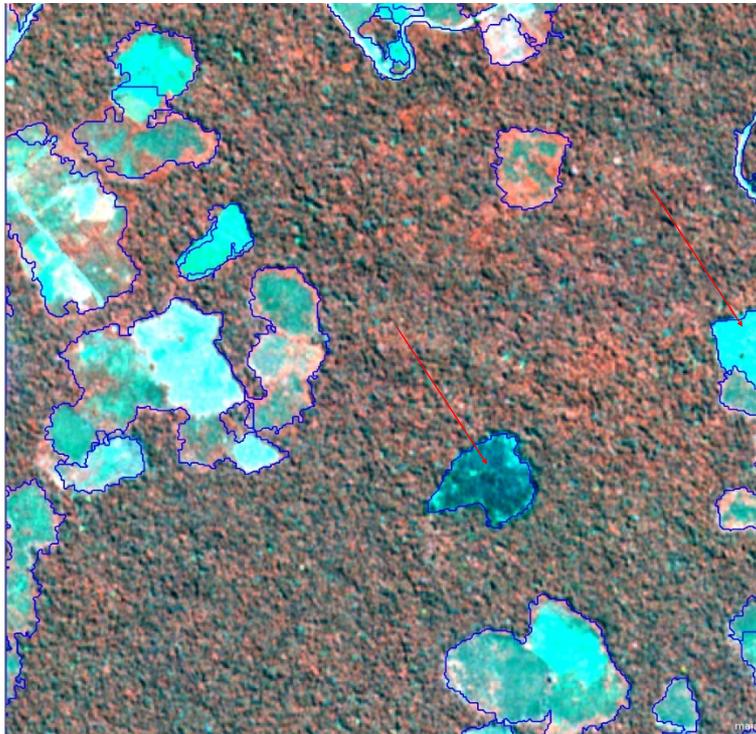


Figura 16 Exemplo de imagem de 2013 com novas áreas desmatadas segmentadas (ressegmentação em seta indicativa).

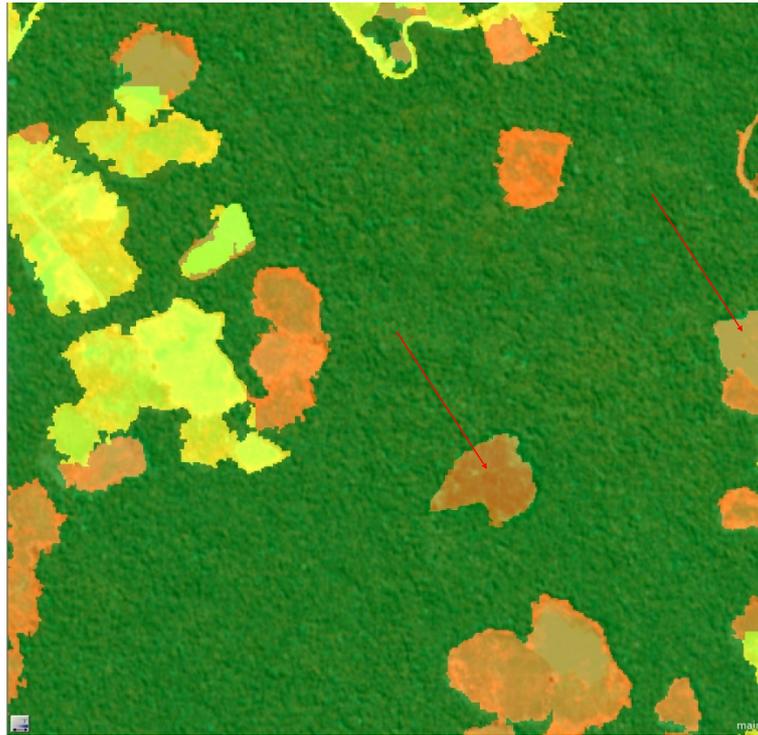


Figura 17 Resultado da classificação das áreas antropizadas de 2012 para 2013.

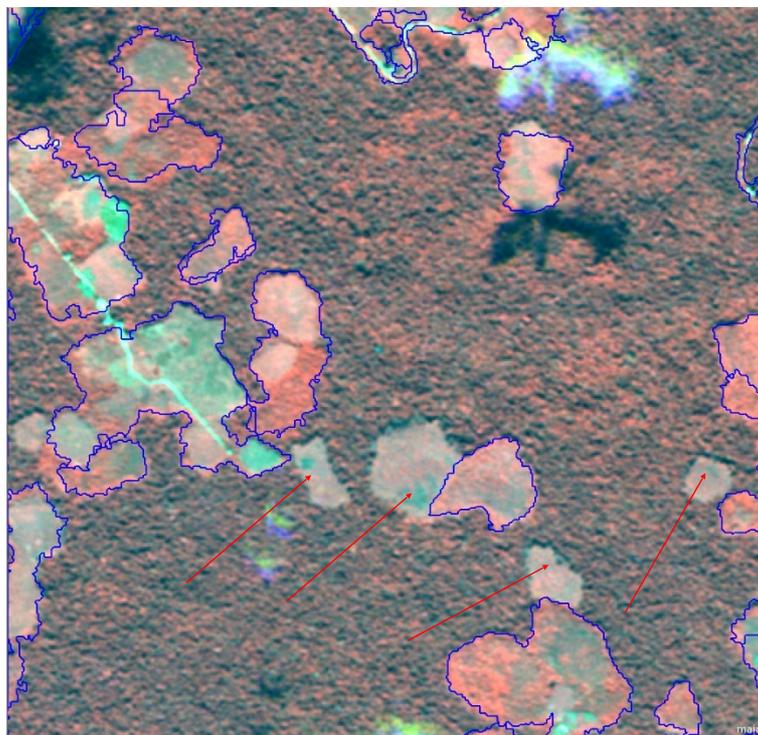


Figura 18 Exemplo de imagem de 2015 com novas áreas desmatadas (indicadas por seta) na segmentação de 2014 (as quais não houveram mudanças nessa região).

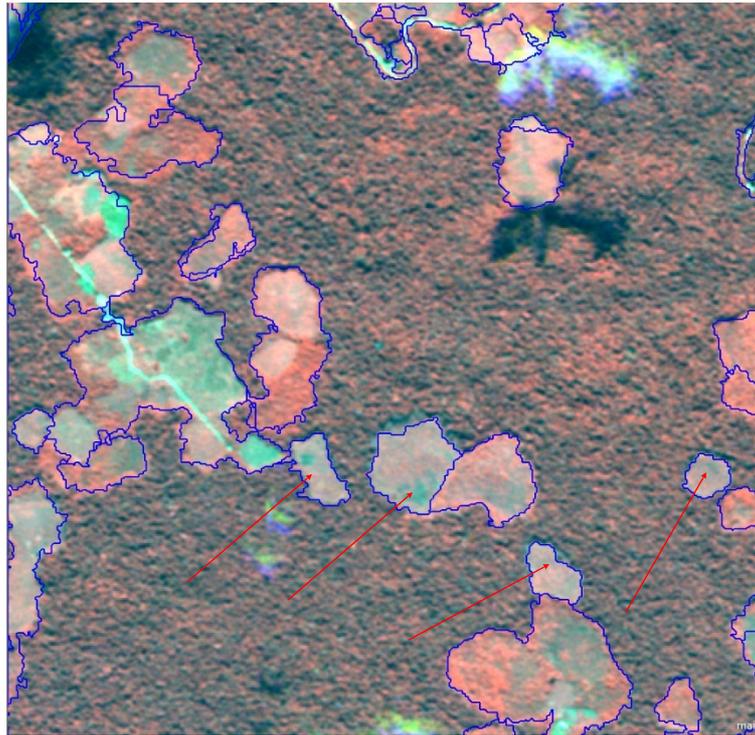


Figura 19 Exemplo de imagem de 2015 com novas áreas desmatadas segmentadas (ressegmentação em seta indicativa).

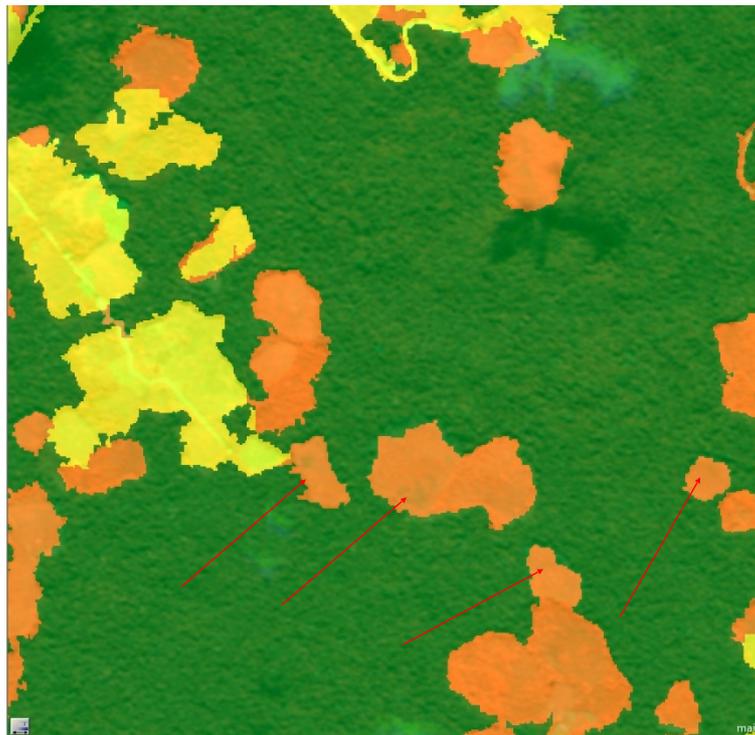


Figura 20 Resultado da classificação das áreas antropizadas de 2014 para 2015.

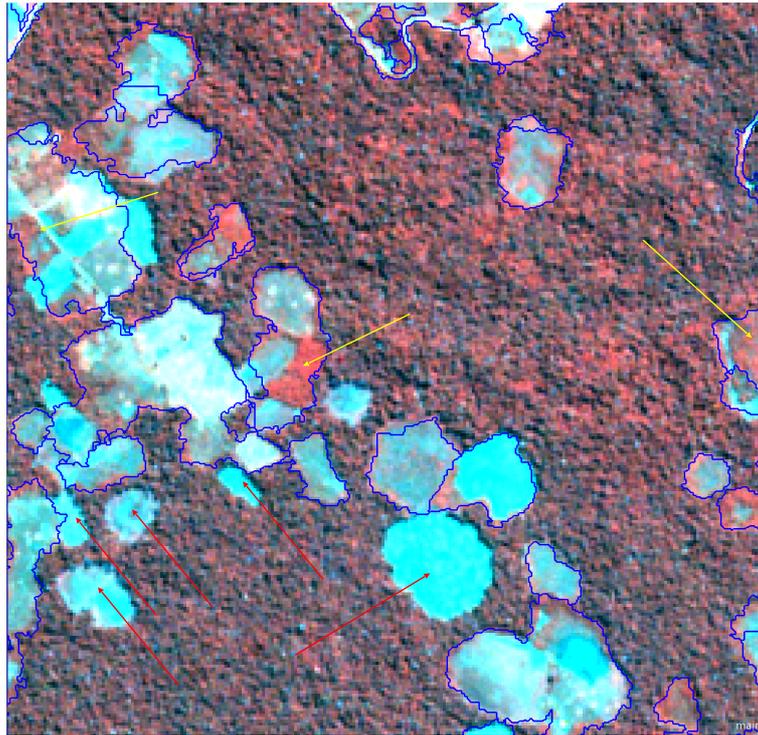


Figura 21 Exemplo de imagem de 2016 com novas áreas desmatadas (indicadas por seta) na segmentação de 2015 (as quais não houveram mudanças nessa região).

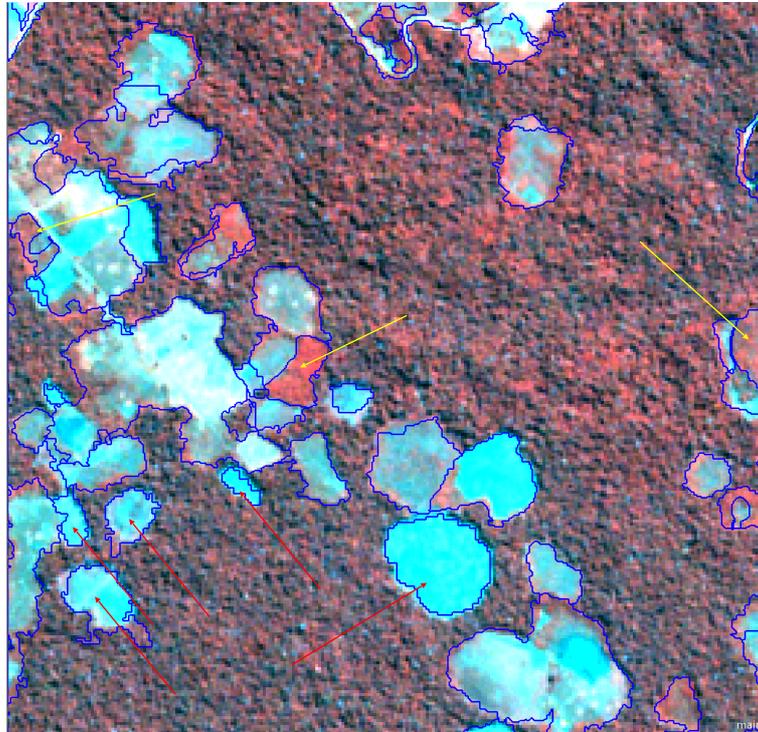


Figura 22 Exemplo de imagem de 2016 com novas áreas desmatadas segmentadas (ressegmentação em seta indicativa).

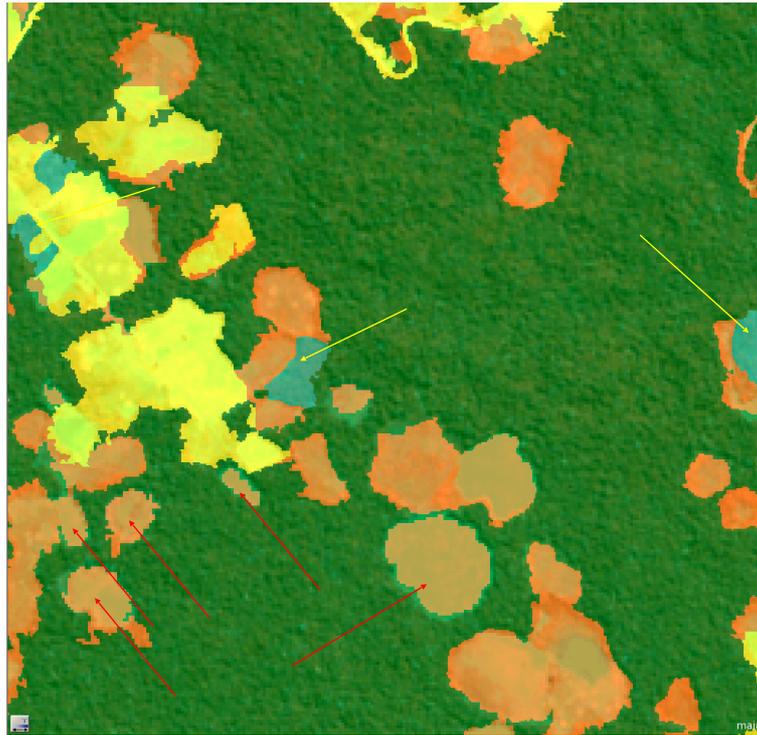


Figura 23 Resultado da classificação das áreas antropizadas de 2015 para 2016.

Assim, foram detectadas mudanças de cobertura e uso do solo relacionadas as Áreas Antropizadas e Áreas com Indícios de Regeneração, entre os anos de 2011 – 2012, 2012 – 2013, 2013 – 2014, 2014 – 2015 e 2015 – 2016.

#### 4. Auditoria e avaliação da qualidade dos produtos gerados

O processo de classificação digital de imagens de sensoriamento remoto, quando realizado de forma semiautomática, necessita de uma etapa de edição visual para refinamento e correções de áreas que por ventura tenham sido classificadas de forma equivocada pelo algoritmo supervisionado.

Para reduzir erros de confusão das tipologias utilizadas no mapeamento, foi criado um processo de qualidade para o Projeto, onde são realizadas auditorias por um Analista de Produto e Qualidade procurando por inconsistências em cada produto gerado pela equipe que executa o monitoramento. Quando essas áreas são detectadas, é criado um arquivo de pontos contendo em seus atributos indicando o tipo de



inconsistência e em qual ano de monitoramento ocorreu. Assim, esse arquivo é repassado para cada pessoa da equipe que foi responsável pela geração do produto, e são realizadas edições nos resultados do processo de classificação e monitoramento anteriormente descrito.

Além disso, é realizado um download dos Cadastros Ambientais Rurais de cada estado (download realizado através do portal público: <http://www.car.gov.br/publico/imoveis/index>). Com esses dados é realizado um cruzamento da vegetação nativa e uso consolidado declarado em cada imóvel com a vegetação nativa e uso consolidado monitorado no Projeto.

A partir dessa cruzamento são levantadas as regiões onde houveram maior divergência entre o declarado e monitorado e são verificados se essas divergências são ocorrências de erros do produto gerado no Projeto ou se são erros de declaração dos imóveis do CAR. Se o erro detectado for resultado do produto do monitoramento, é separado para pós análise e envio para correção. Se o erro detectado for resultado de um cadastro do sistema, marcamos os imóveis como um local de divergência com erro do proprietário ou posseiro rural.

## 5. Inserção dos dados nos Sistemas do SICAR Federal

Após a geração das classificações das bases de cobertura e uso do solo do monitoramento entre 2008 - 2016, os dados foram mosaicados, gerando uma base de dados em formato raster para cada estado finalizado.

Com o mosaico em formato raster pronto, o mesmo é subdividido em cartas de 1:250.000, baseados no modelo da Diretoria de Serviço Geográfico (DSG) do Exército, e em seguida são convertidos para o formato vetorial, como demonstrado no exemplo da **Figura 24, 25 e 26**.

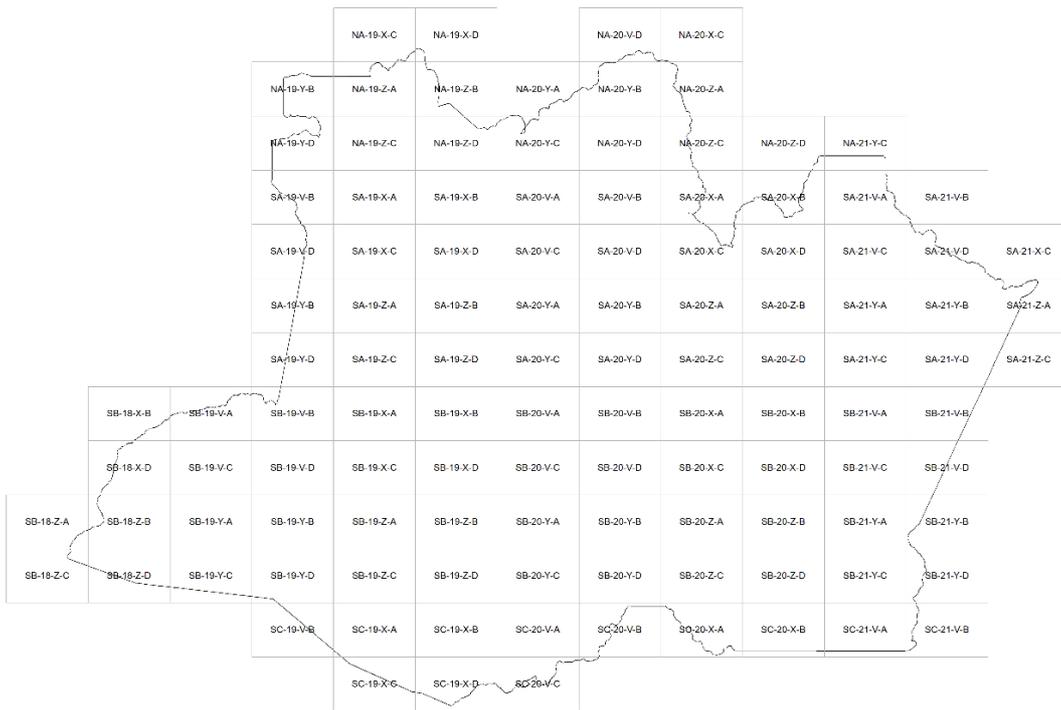
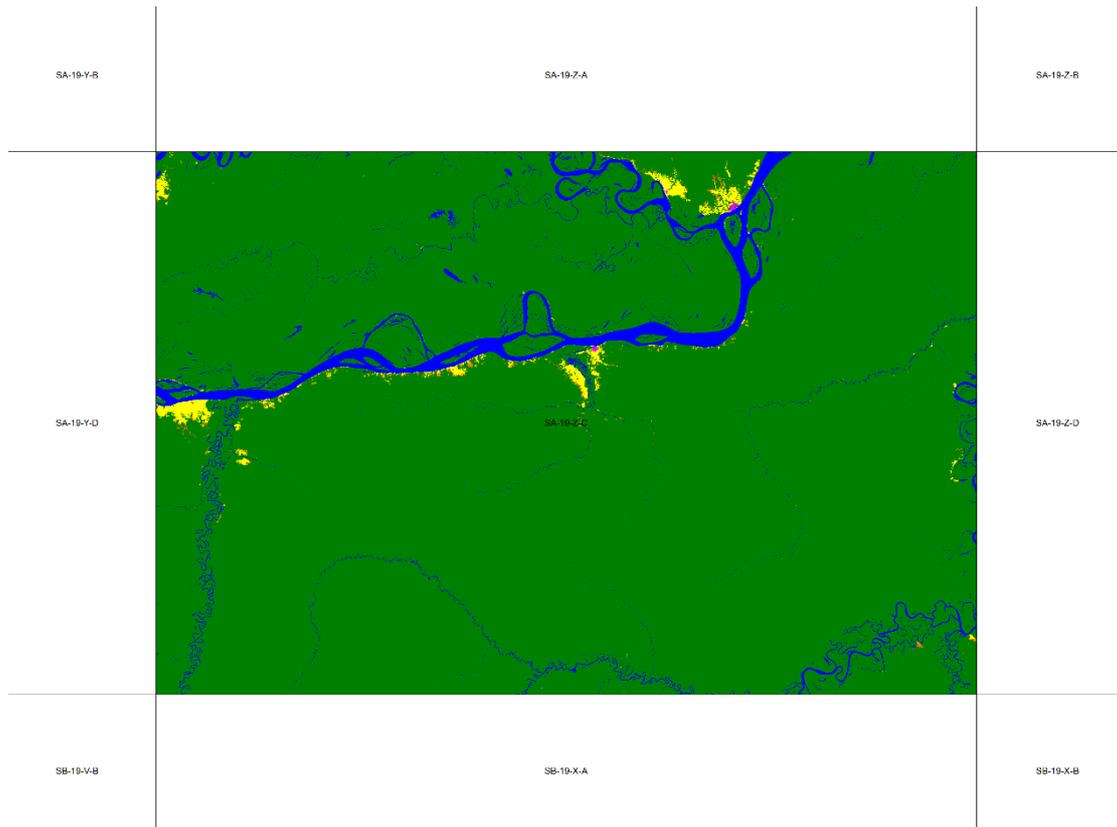
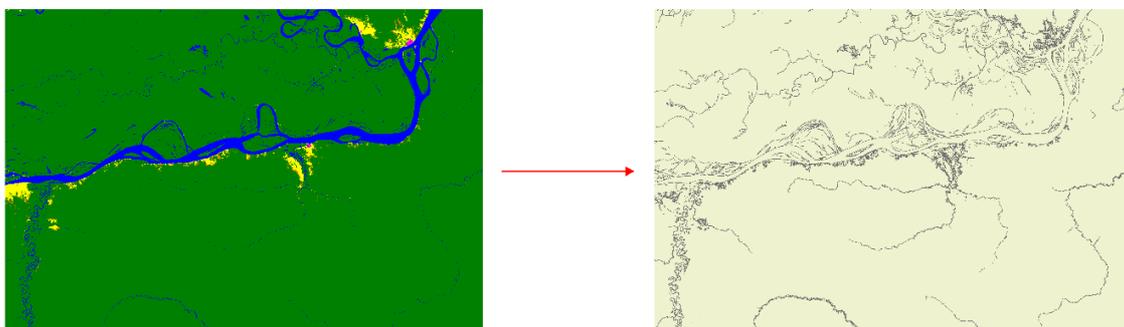


Figura 24 Grade com cartas 1:250.000 do DSG.

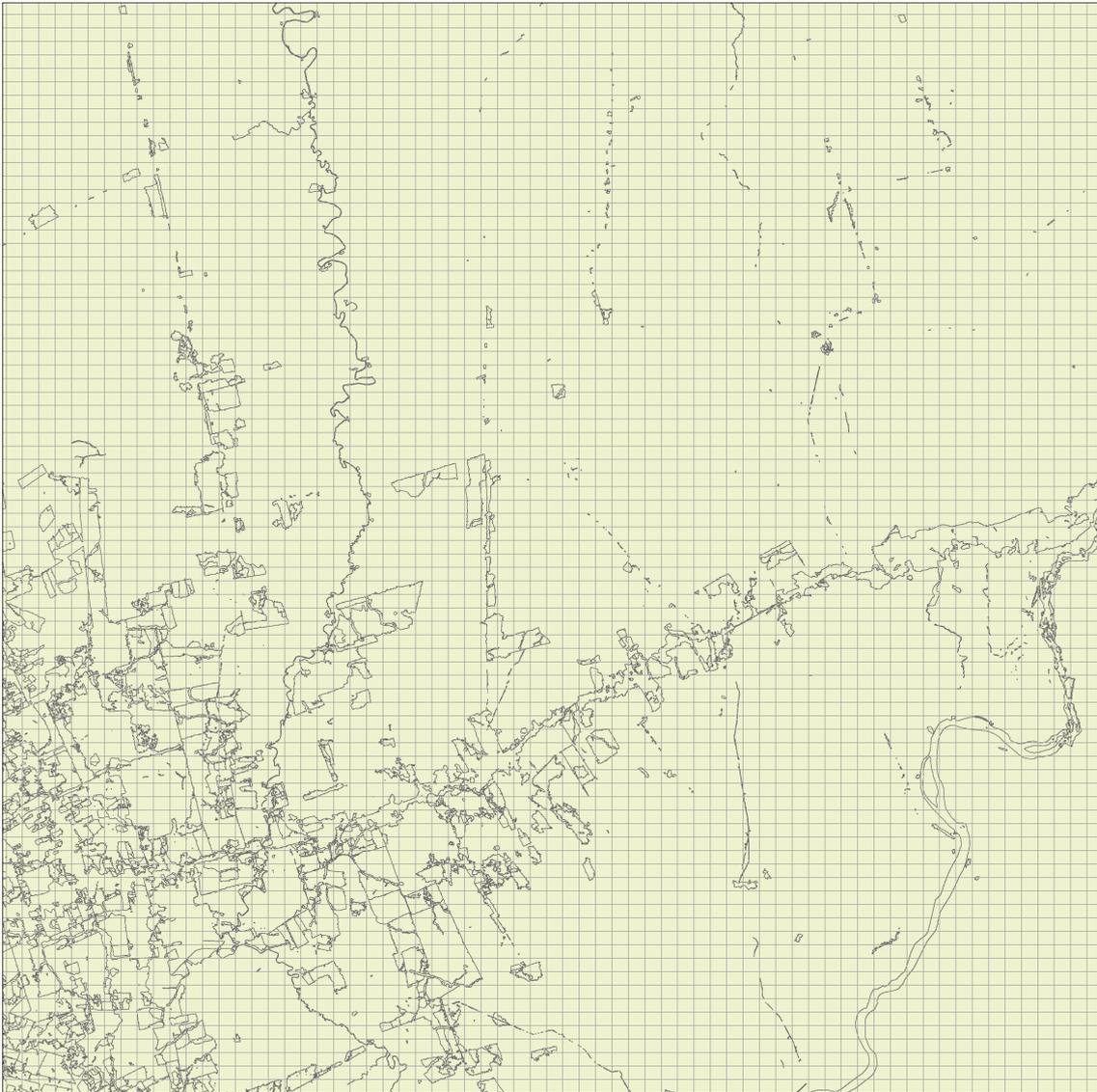


**Figura 25 Recorte da base de cobertura e uso do solo do monitoramento nas cartas de 1:250.000 do DSG.**

A partir do dado vetorial, o mesmo foi computado e aplicado uma interseção geométrica com uma grade, também vetorial, de 100 x 100 hectares, resultando em um arquivo com as feições particionadas. Após particionadas, as feições foram transformadas de partes multiplas para partes simples individualizadas (**Figura 27**).



**Figura 26 Conversão do dado raster para o formato vetorial.**



**Figura 27** Interseção geométrica e individualização para partes simples aplicadas as feições vetoriais da base.

Desta maneira, os dados são inseridos no banco de dados do Sistema de Cadastro Ambiental Rural – SICAR, onde serão utilizados nos cruzamentos entre os dados declarados pelos proprietários e posseiros rurais e os dados monitorados. Com a execução deste processo de interseção geométrica seguido de individualização em partes simples, esse processo possibilita uma melhor indexação dos dados no banco de dados, otimizando os processamentos geograficos.

O "Análise", que é um módulo do SICAR utilizado por técnicos ambientais para realização da análise dos cadastros, disponibiliza informações detalhadas possibilitando a identificação de inconsistências nas informações declaradas pelos proprietários e



posseiros rurais e demais inconformidades como por exemplo as relacionadas à cobertura do solo das propriedades.

Ao final da análise, um parecer técnico é gerado contendo um relatório das inconsistências e inconformidades identificadas bem como as formas de atuação para atendimento ou correção do que foi identificado.

Uma das etapas de análise é a de "Análise da Cobertura do Solo" onde o sistema realiza o cruzamento das informações vetoriais de cobertura do solo declarados com os dados monitorados e apresenta possíveis inconformidades. As informações vetoriais resultantes desse cruzamento podem ser utilizadas pelo técnico para que uma inconformidade já identificada pelo sistema, seja validada com muito mais rapidez.

O cruzamento dessas informações, bem como a identificação e validação de inconformidades nos dados vetoriais de cobertura do solo declarados são de suma importância para o resultado final da análise, pois baseado na correteude dessas informações o sistema então calcula e aponta áreas passíveis de regularização seja por meio de recomposição ou compensação. Um exemplo da tela do Módulo de Análise do SICAR pode ser observado na **Figura 28**.

Figura 28 Módulo de Análise do SICAR onde as informações monitoradas e cadastradas são cruzadas.



## 6. Resultados

Como resultados foram gerados, em termos de cobertura do território nacional, uma área de **2.268.464,50 km<sup>2</sup>**. Considerando a repetição dos procedimentos por ano, foram gerados **11.342.322,50 km<sup>2</sup>** de monitoramento entre os anos de 2012 até 2016, como pode ser observado na **Tabela 4**.

**Tabela 4 Área monitorada por Unidade da Federação.**

| Resultado do Monitoramento |  |  |
|----------------------------|--|--|
| UF                         | Área do Território monitorada (km <sup>2</sup> ) | Área Monitorada considerando o período de 2012 até 2016 (km <sup>2</sup> ) |
| Acre                       | 164.123,74                                       | 820.618,70   |
| Amazonas                   | 1.559.146,43                                     | 7.795.732,15   |
| Distrito Federal           | 5.779,90   | 28.899,50  |
| Goiás                      | 340.106,49                                       | 1.700.532,45   |
| Paraná                     | 199.307,94                                       | 996.539,70   |
| <b>Total</b>               | <b>2.268.464,50</b>                              | <b>11.342.322,50</b>   |

Para cada imagem referência RapidEye, ou seja, para cada *TILE ID*, foi gerado um mapa para cada ano de 2008 e 2011, como uma nova entrega da base gerada para o CAR anteriormente, e 2012, 2013, 2014, 2015 e 2016, contendo as classes de cobertura e uso do solo Área de Uso Consolidado, Remanescente Vegetação Nativa, Vereda, Mangue, Restinga, Apicun/ Salgado, Corpos d'Água, Área Urbana, Área Antropizada entre 2008 – 2016, Área com Indícios de Regeneração entre 2008 – 2016 e Nuvens e Sombras de Nuvens, como demonstrado na legenda da **Figura 29**.



|   |                                  |   |                                    |
|---|----------------------------------|---|------------------------------------|
|  | Remanescente de Vegetação Nativa |  | Área Urbana                        |
|  | Área de Uso Consolidado          |  | Área Antropizada 2008 - 2016       |
|  | Vereda                           |  | Indício de Regeneração 2008 - 2016 |
|  | Apicum/ Salgado                  |  | Nuvens e Sombras de Nuvens         |
|  | Restinga                         |   |                                    |
|  | Mangue                           |   |                                    |
|  | Corpos d'Água                    |   |                                    |

**Figura 29** Legenda de classes de cobertura e uso utilizadas no projeto.

No presente relatório, os produtos estão ilustrados nos próximos nos próximos volumes usando o ano de 2016, que representa a situação no último ano do período monitorado e o resultado da dinâmica de cobertura do solo. Nas entregas realizadas ao SFB, contendo os produtos propriamente ditos, os resultados estão apresentados em forma de tabelas e mapas digitais para cada ano de monitoramento, para os 2.268.464,50 km<sup>2</sup> do território nacional que foram monitorados durante a vigência do convênio. Os volumes II, III, IV e V deste documento, trazem os resultados organizados por Estado da Federação.

## Referências Bibliográficas

BENZ, U. C. et al. Multi-resolution, object-oriented fuzzy analysis of remote sensing data for GIS-ready information. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 58, n. 1, p. 239-258, 2004.

BOCK, M. et al. Object-oriented methods for habitat mapping at multiple scales: case studies from Northern Germany and Wye Downs. *Journal for Nature Conservation*, Kusterdingen, v. 13, n. 2/3, p. 75-89, July 2005.

BONTEMPS, S. et al. An object-based change detection method accounting for temporal dependences in time series with medium to coarse spatial resolution. **Remote Sensing of Environment**, v. 112, n. 6, p. 3181–3191, 2008.

COUTO JUNIOR, A. C. S. Monitoramento do Cerrado e Minas Gerais usando análises estatísticas baseadas em objetos: uma abordagem em diferentes escalas. Dissertação (mestrado) - Universidade Federal de Lavras, 2011.



DESCLÉE, B.; BOGAERT, P.; DEFOURNY, P. Forest change detection by statistical object-based method. **Remote Sensing of Environment**, v. 102, n. 1- 2, p. 1–11. 2006.

FOLEY, J. A. et al. Global Consequences of Land Use. **Science**, v.309, p. 570-574, 2005.

GONZALEZ, R. C.; WOODS, R. E. Digital Image Processing. 2000.

HAY, G.J.; CASTILLA, G. Geographic Object-Based Image Analysis (GEOBIA): a new name for a new discipline. In: BLASCHKE, T.; LANG, S.; HAY, G.J. (Ed.). Object-based image analysis spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications. New York: Springer-Verlag, 2008. p. 75-90.

HAY, G. J. et al. An automated object-based approach for the multiscala image segmentation of forest scenes. **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, v. 7, n. 4, p. 339-359, 2005.

HUETE, A. R. A soil-adjusted vegetation index – SAVI. *Remote Sens. Environ.* 25:295-309. 1988.

HUSSAIN, M.; CHEN, D.; CHENG, A.; WEI, H; STANLEY, D. Change detection from remotely sensed images: From pixel-based to object-based approaches. **ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing**, v. 80, p. 91–106, 2013.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). **Banco de dados agregados: sistema de recuperação automática**. Brasília: IBGE, 2009. Disponível em: <<http://www.sidra.ibge.gov.br/>>. Acesso em: 10 abril de 2016.

LANG, S. Object-based image analysis for remote sensing applications: modeling reality: dealing with complexity. In: BLASCHKE, T.; LANG, S.; HAY, G.J. (Ed.). Object-based image analysis spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications. New York: Springer-Verlag, 2008. p. 3-28.

LAWRENCE, R. L.; WOOD, S. D.; SHELEY, R. L. Mapping invasive plants using hyperspectral imagery and Breiman Cutler classifications (randomForest). [Remote Sensing of Environment](#), v. 100, n. 3, p. 356-362, 2006.

LI, C. et al. Comparison of classification algorithms and training sample sizes in urban land classification with landsat thematic mapper imagery. **Remote Sensing**, v. 6, n. 2, p. 964–983, 2014.





LI, F.; LI, C.; XIAO, B.; WANG, Y. Mapping large-scale distribution and changes of aquatic vegetation in Honghu Lake , China , using multitemporal satellite imagery. **Journal of Applied Remote Sensing**, v. 7, p. 1–16, 2013.

LOVELAND, T.R.; DEFRIES, R. Observing and Monitoring Land Use and Land Cover Change, In: **Ecosystems and Land Use Change, Geophysical Monograph Series**, Volume 153, DeFries, R., Asner, G., and Houghton, R., eds., American Geophysical Union, Washington, DC, p. 231-246, 2004.

LUNETTA, R. S. et al. Impacts of imagery temporal frequency on land-cover change detection monitoring. **Remote Sensing of Environment**, v. 89, n. 4, p. 444–454, 2004.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. About landsat. **Landsat Science**, Washington, 2012. Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/about/tm.html>> Acesso em: 24 out. 2014.

NAVULUR, K. Multispectral image analysis using the object-oriented paradigm. Boca Raton: CRC, 2007. 184p.

NEUBERT, M.; HEROLD, H.; MEINEL, G. Assessing image segmentation quality: concepts, methods and application. In: BLASCHKE, T.; LANG, S.; HAY, G.J. (Ed.). Object-based image analysis spatial concepts for knowledge-driven remote sensing applications. New York: Springer-Verlag, 2008. p. 769-784.

ROGAN, J.; CHEN, D. Remote sensing technology for mapping and monitoring land-cover and land-use change. **Progress in Planning**, v. 61, n. 4, p. 301–325, 2004.

SHAPIRO, L.; STOCKMAN, G. **Computer vision**. Trenton: Prentice-Hall, 2000. 609 p.

SONNENSCHN, R.; KUEMMERLE, T.; UDELHOVEN, T.; STELLMES, M.; HOSTERT, P. Differences in Landsat-based trend analyses in drylands due to the choice of vegetation estimate. **Remote Sensing of Environment**, v. 115, p. 1408-1420. 2011.

SCHNEIDER, A.; FRIEDL, M. A.; POTERE, D. A new map of global urban extent from MODIS satellite data. **Environmental Research Letters**, v. 4, p. 1-11, 2009.



SCHNEIDER, A.; FRIEDL, M. A.; POTERE, D. Mapping global urban areas using MODIS 500-m data: new methods and datasets based on ‘urban ecoregions’. **Remote Sensing of Environment**, v. 114, n. 8, p. 1733–1746, 2010.

SINGH, A. Review Article Digital change detection techniques using remotely-sensed data. **International Journal of Remote Sensing**, v. 10, n. 6, p. 989–1003, 1989.

WALTER, V. Object-based classification of remote sensing data for change detection. **ISPRS Journal of Photogrammetry & Remote Sensing**, v. 58, n. 1, p. 225–238, 2004.

ZENG, Y.; ZHANG, J.; WANG, G.; LI, Y. RapidEye satellite image quality analysis and solutions for its true color composition. In: INTERNATIONAL WORKSHOP, 2011, Xiamen. **Proceedings...** Xiamen: IEEE, 2011.

