



## **ANÁLISE DO DESMATAMENTO NA BACIA DO RIO DE ONDAS NO PERÍODO DE 1984 A 2014, OESTE DA BAHIA**

### **DEFORESTATION ANALYSIS IN THE ONDAS RIVER BASIN IN THE PERIOD OF 1984 TO 2014, WESTERN OF BAHIA**

### **ANÁLISIS DE LA DEFORESTACIÓN EN CUENCA DE ONDAS EN EL PERIODO DE 1984 A 2014, OESTE DE BAHIA**

**Raquel de Souza Almeida**

Programa de Pós-Graduação em Ciências Ambientais, Universidade Federal do Oeste da Bahia, Rua Professor José Seabra de Lemos, 316, CEP 47.808-021, Barreiras, BA  
e-mail: raquel.almeida29@hotmail.com>

**Marcelo de Oliveira Latuf**

Instituto de Ciências da Natureza, Universidade Federal de Alfenas, Rua Gabriel Monteiro da Silva, 700, Centro, CEP: 37130000 - Alfenas, MG  
e-mail: marcelo\_latuf@yahoo.com.br

**Pablo Santana Santos**

Instituto de Geociências, Universidade Federal da Bahia, Rua Barão de Jeremoabo, s/n, Campus Universitário de Ondina, Salvador, BA  
e-mail: pablo.srgeo@gmail.com

**Resumo:** O processo de modificação da cobertura vegetal e do uso do solo na bacia de rio de Ondas a partir da década de 1980, ocorreu de forma expressiva devido à expansão do agronegócio e condicionado na exploração intensa dos recursos naturais. Este trabalho objetiva analisar o avanço do desmatamento nesta bacia no período de 1984 a 2014. Neste sentido, tornou-se fundamental a utilização da tecnologia de sensoriamento remoto orbital, pois esta configura-se eficiente para o monitoramento de grandes extensões da superfície terrestre. Para tanto, utilizou-se imagens dos satélites Landsat 5 e 8, bem como técnicas de geoprocessamento para o mapeamento do uso e cobertura do solo na bacia, o qual permitiu quantificar e qualificar o quanto a vegetação natural do Cerrado foi desmatada para a expansão da agropecuária e urbanização. Com uma interpretação acerca das mudanças detectadas em uma escala têmporo-espacial foi possível identificar a dinâmica espacial do desmatamento acumulado na bacia.

**Palavras-chave:** Cerrado, Dinâmica temporal, Sensoriamento Remoto, Uso da terra.

**Abstract:** The process of the vegetation cover and land use modification in the Ondas River basin from the 1980's, occurred significantly due to the agribusiness expansion and conditioning by an intense exploitation of natural resources. This study aims to analyze the progress of deforestation in this basin in the period of 1984 to 2014. It has become essential to the use of remote sensing technology, because it is efficient for large portion of the Earth's surface monitoring. Thus, was used images from Landsat 5 and 8 satellites, as well as GIS techniques for mapping the basin land cover, which made it possible to quantify and qualify as Savannah's deforestation for the agriculture and urbanization expansion. With the detected changes interpretation it was possible to identify the spatial dynamics of deforestation accumulated in the basin.

**Keywords:** Savannah, Temporal Dynamics, Remote Sensing, Land Use.

**Resumen:** El proceso de modificación de la vegetación cubierta y uso del suelo en la cuenca del río de olas desde 1980, que se presentó significativamente debido a la expansión del agronegocio y acondicionado en la intensa explotación de los recursos naturales. Este estudio pretende analizar el avance de la deforestación en esta cuenca en el período de 1984 a 2014. En este sentido, se ha convertido en esencial para el uso de la tecnología de detección remota, ya que es eficiente para el control de grandes extensiones de superficie de la tierra. Para ello, utilizamos imágenes satelitales Landsat 5 y 8, así como técnicas de GIS para el mapeo de la tapa del uso y de la tierra en la cuenca, que hizo posible cuantificar y calificar como vegetación natural del Cerrado era despejó para la expansión de la agricultura y la urbanización. Con una interpretación acerca de los cambios detectados a nivel frontotemporal de espacio fue posible identificar la dinámica espacial de la deforestación acumulada en la cuenca.

**Palabras clave:** Cerrado, Dinámica Temporal, Teledetección, Uso de la Tierra.

## 1. Introdução

Por caracterizar-se como uma fitofisionomia de aspecto esteticamente não muito atraente, o Cerrado, perpetuou-se durante muito tempo como uma área desvalorizada para a economia brasileira.

A década de 1970 foi marcada pela Revolução Verde e por processos de ocupação capitalista no Cerrado e em outras áreas agricultáveis do país. A partir desta década, com o crescimento populacional do país e a necessidade de ampliação da produção de alimentos, o Cerrado passa a ser ocupado e os seus solos são enriquecidos e/ou corrigidos por processo de calagem e adubação química. A partir de então o Cerrado configura-se em uma fronteira de desenvolvimento agrícola, capaz de sustentar o crescente aumento da agricultura e pecuária.

O processo de formação espacial da região Oeste do Estado da Bahia, até a década de 1960 ocorreu de forma lenta e rarefeita, apresentando uma baixa densidade demográfica, baixo dinamismo econômico e inexpressivos fluxos entre as cidades.

A forma de ocupação da região, principalmente em Barreiras/BA, ocorria por meio da navegação fluvial e estava baseada na pecuária extensiva e na agricultura de subsistência. Nesta década, Barreiras configurava-se em uma das nucleações mais importantes do Oeste, servindo como um entreposto comercial para a região (SANTOS FILHO, 1989).

Todavia, o processo evolutivo da organização socioespacial e da expansão demográfica de Barreiras aconteceu de forma diferenciada ao longo dos anos. A princípio, o que impulsionou o surgimento e o processo de ocupação do município foi um porto instalado às margens do rio Grande, de onde se faziam o comércio e o transporte de mercadorias.

Já em meados da década de 1950, Barreiras configurava-se no centro mais populoso da região Oeste do estado da Bahia, apresentando um total de 5.938 habitantes, além de ser o maior núcleo urbano, até então, formado por 50 ruas com a existência de apenas 1.200 casas (SEI, 2003).

No início da década de 1970, o crescimento da região Oeste e de Barreiras em particular, tomou novo impulso com a fundação de Brasília, sendo exemplo disto a instalação do 4º BEC (Batalhão de Engenharia e Construção do Ministério do Exército), que instalou-se em 1969 para a implementação das BRs 135 e 242, obras estas que atraíram aproximadamente 5.000 pessoas para região, entre operários e familiares para trabalhar na construção (SANTOS FILHO, 1989).

A construção da BR-242 tornou-se um significativo vetor de crescimento e ocupação territorial para o município de Barreiras, isso porque este modal conectava Barreiras à capital Federal e a Salvador, de maneira mais rápida, quando comparado ao modal fluvial.

Neste sentido, a ocupação e modernização dos Cerrados baianos, principalmente na região de Barreiras, aconteceu devido à expansão das fronteiras agrícolas que a princípio foi financiada por programas federais de crédito, inclusive o PRODECER (Programa de Desenvolvimento Econômico do Cerrado) e do fluxo de migrantes sulistas (SANTOS FILHO, 1989).

A cultura de soja configurou-se nestas décadas na principal forma de penetração da produção agrícola moderna, porém atualmente, destacam-se também as culturas do algodão e milho. Como reflexo deste quadro houve a instalação da empresa Cargill, para o processamento de soja e seus derivados.

Dentro deste processo, o atual sítio onde estão localizados os municípios de Barreiras e Luis Eduardo Magalhães apresentam uma expressiva expansão demográfica, recebendo levas significativas de migrantes oriundos de todas as grandes regiões do país, sobretudo da região Sul.

Neste contexto, encontra-se a bacia do rio de Ondas que está inserida no bioma do Cerrado, localizada no Oeste da Bahia, abrangendo territórios dos municípios de Barreiras e Luis Eduardo Magalhães. Esta bacia, a partir da década de 1980 sofreu significativas transformações em sua vegetação natural, onde houve uma intensa expansão geográfica da agricultura.

O desenvolvimento agropecuário na região da bacia do rio de Ondas só foi viável devido às suas extensas áreas com potencial agrícola, à facilidade de mecanização de seus solos, à sua disponibilidade hídrica, como também pela

desvalorização das terras do Cerrado no Oeste Baiano. Todavia, as formas modernas de produção agrícola na bacia têm interferido na sua paisagem natural com a substituição da vegetação nativa.

Cabe destacar que a bacia do rio de Ondas configura-se como o principal manancial de abastecimento à população urbana de Barreiras, que segundo dados do IBGE (2010), compreende um contingente de aproximadamente 123.000 habitantes.

Portanto, objetiva-se por esta pesquisa uma análise espaço-temporal da mudança do uso e cobertura do solo na bacia do rio de Ondas no período de 1984 a 2014, trabalhando-se com o desmatamento acumulado na bacia a cada 5 anos, perfazendo um recorte temporal de 30 anos.

Para tanto, utilizou-se imagens orbitais e técnicas de geoprocessamento para o mapeamento do uso e cobertura do solo na bacia, o qual permitiu quantificar e qualificar o quanto a vegetação natural do Cerrado foi alterada pela expansão agropecuária.

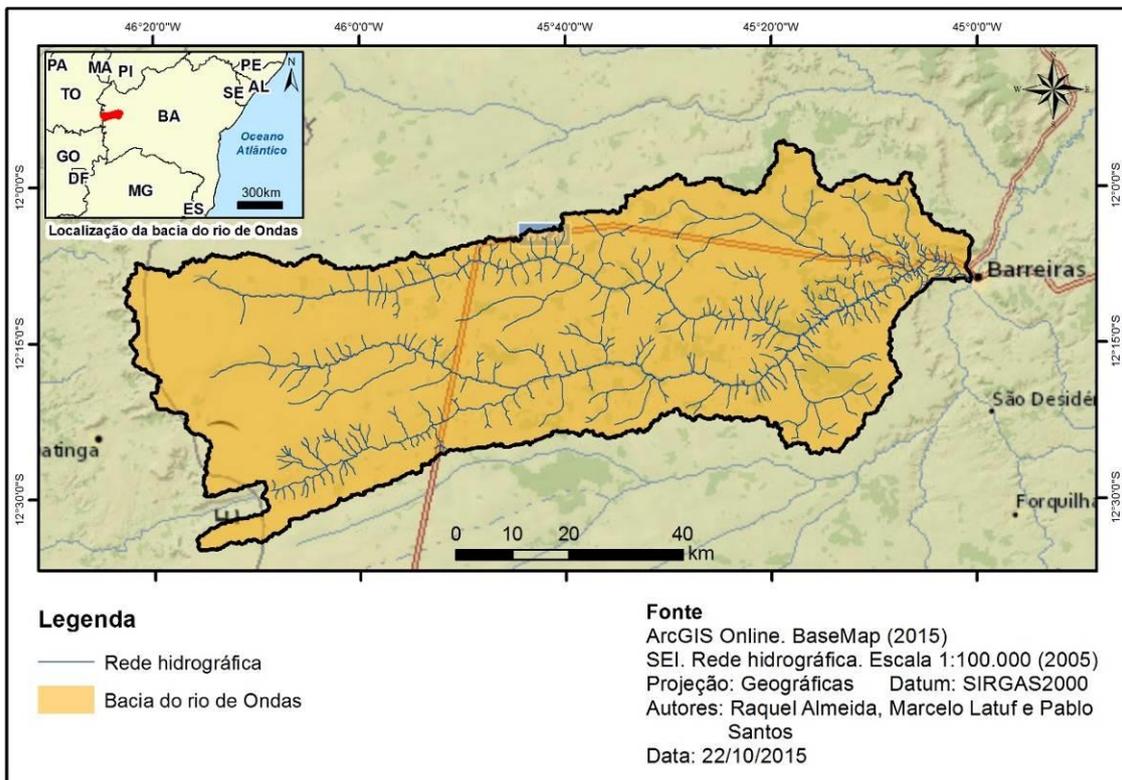
O mapeamento do uso e cobertura do solo possibilitou o reconhecimento dos padrões e modelos de organização do espaço geográfico na bacia, com uma interpretação acerca das mudanças detectadas numa perspectiva têmporo-espacial.

## **2. Localização e caracterização da área de estudo**

A bacia hidrográfica do rio de Ondas drena parte dos municípios de Barreiras e Luis Eduardo Magalhães no Oeste da Bahia (Figura 1), sendo parte integrante da bacia do rio Grande, principal afluente do rio São Francisco. A bacia do rio de Ondas apresenta como principais afluentes o rio Vereda das Lages, rio Borá e rio das Pedras.

Segundo estudos realizados pelo projeto “Subsídios ao Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos da bacia hidrográfica do rio de Ondas” apoiado pelo Programa Permanecer/UFBA, a bacia do rio de Ondas abrange uma área aproximada de 5.580,6km<sup>2</sup> com um perímetro de 519,5km.

A geologia predominante na bacia é a Formação Urucuia, no qual a sua consolidação data do final do Cretáceo (+/- 65 milhões de anos), cuja litologia homogênea é constituída de arenitos finos e médios, com tendência a tornar-se mais argilosos na base (BRASIL, 1982).



**Figura 1.** Localização da área de estudo

A geomorfologia identificada pela Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola – EBDA (1993) apresenta-se em três unidades geomorfológicas: Chapadão do rio de Ondas, Patamar do Chapadão e Depressão do rio de Ondas. O Chapadão por sua vez é subdividido em três feições: Planos de topo (entre 700 e 900m de altitude), Rampas (inclinação nos sentidos dos drenos, paralela a rede de drenagem) e Veredas (áreas aluvionárias, alagadiças, com deposição de materiais vindos do topo).

A bacia do rio de Ondas possui altimetria média variando entre 444m no Baixo rio de Ondas a 924m nas cabeceiras do rio das Pedras. A bacia faz limite ao norte com a bacia do rio Branco, ao sul com o rio das Fêmeas e ao leste com o rio Grande.

Segundo a Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária - EMBRAPA (2004) a bacia apresenta clima típico do domínio dos Cerrados do tipo Aw Tropical de Savana (classificação de Köppen) com a existência de dois períodos sazonais bem definidos, um verão chuvoso, de outubro até março e um inverno seco, de abril até setembro, no qual não se registra lâminas precipitadas no trimestre de junho, julho e agosto.

A vegetação predominante na bacia é a formação florística do Cerrado com a presença de várias e diferentes modalidades (SILVA, 2011).

### 3. Referencial Teórico

#### 3.1. A utilização do sensoriamento remoto no monitoramento do uso e cobertura do solo

De forma sintética o sensoriamento remoto é uma ciência que visa a obtenção de dados geográficos provenientes da interação da energia ou radiação eletromagnética com os objetos, áreas ou fenômenos existentes na superfície terrestre, no qual a captação dessas informações se dá por meio da utilização de sistemas de sensores, sem a necessidade de tocar o alvo.

Na definição de Novo (2008) o sensoriamento remoto é uma, técnica que utiliza sensores, equipamentos para processamento e transmissão de dados, na captação e no registro da energia refletida ou emitida por elementos na superfície terrestre, com o objetivo de estudar o ambiente terrestre através dos registros das interações entre a radiação eletromagnética e as componentes do planeta Terra e suas diversas manifestações.

Desta forma, a utilização de imagens de satélites em órbita na Terra tem se tornado uma prática cada vez mais freqüente entre as diversas áreas de pesquisa, sendo uma ferramenta que possibilita o monitoramento do uso e cobertura do solo. Vale ressaltar que atualmente muitas das imagens derivadas de produtos do sensoriamento remoto estão disponíveis gratuitamente, configurando-se em proeminentes fontes de dados para produção de mapas de uso e cobertura da terra.

O desenvolvimento das Geotecnologias com a utilização de produtos de sensoriamento remoto tem possibilitado o monitoramento e a análise ambiental com maior precisão e facilidade (ROSENDO, 2005). Sendo assim, as técnicas de geoprocessamento associados ao avanço da informática com o desenvolvimento de *hardwares* e *softwares* têm possibilitado computacionalmente a coleta, o armazenamento, a manipulação e visualização de dados sobre o mundo real.

Neste sentido, as técnicas de geoprocessamento constituem-se em ferramentas indispensáveis no processamento e tratamento de informações geográficas, por meio da utilização de técnicas matemáticas e programas computacionais. Os Sistemas de Informação Geográfica (SIG) configuram-se em ferramentas computacionais indispensáveis para o geoprocessamento, pois esta facilita o processo de sistematização, manipulação, mapeamento e integração de

informações geográficas possibilitando a criação de banco de dados georreferenciados, bem como a automatização e produção de registros cartográficos.

No caso do uso e cobertura do solo, Rosendo (2005) afirma que as técnicas de geoprocessamento contribuem de modo expressivo nas análises que envolvem os processos de degradação da vegetação natural, fiscalização dos recursos florestais, desenvolvimento de políticas conservacionistas, bem como vários outros fatores que podem ocasionar modificações na vegetação.

Dentro desta perspectiva, os trabalhos voltados à pesquisa do uso e da cobertura do solo, que utilizam imagens orbitais, possibilitam a detecção das tendências de mudanças de forma global, regional e local (PINHEIRO-SOMMER *et al.*, 2009), propiciando a obtenção de informações espaço-temporais para avaliação do contexto histórico de ocupação e evolução da paisagem.

De acordo com Silva (2008) os solos representam a base de sustentação das atividades agropecuárias e nucleações urbanas, além de comportarem toda a vegetação natural, estando intrinsecamente relacionado à biodiversidade terrestre. Desta forma, o planejamento e/ou monitoramento físico-ambiental de uma determinada localidade, propicia a avaliação da intervenção do homem na natureza e suas conseqüências na biodiversidade.

Pinheiro-Sommer *et al.* (2009) descrevem que o sensoriamento remoto juntamente, com técnicas de geoprocessamento, permitem análises que visam o acompanhamento e o monitoramento dos processos de mudanças do uso do solo envolvendo comparações, taxas de variação das mudanças no tempo e no espaço, bem como estudos relacionados ao avanço agropecuário, crescimento urbano, supressão da vegetação natural (desmatamento), identificação da vegetação preservada entre outros.

A utilização de imagens produzidas por sensores remotos para o mapeamento e monitoramento da superfície terrestre, assumiu papel relevante nas últimas décadas, principalmente pelo desenvolvimento de técnicas e programas de computador que permitiram a análise e manipulação digital destes produtos.

Segundo Novo (2008) a série de satélites Landsat representa a ponte entre as antigas e as novas gerações de sistemas orbitais de coleta de dados. A série deste satélite foi concebida como uma espaçonave modular, tendo como objetivo a aquisição de imagens da superfície terrestre por meio de três sistemas sensores MSS (*Multispectral Scanner*) abordo dos satélites Landsat 1 a 3; o sensor TM (*Thematic*

Mapper) abordo dos satélites Landsat 4, 5 e 6 e, posteriormente, o sensor ETM+ (*Enhanced Thematic Mapper*) abordo do satélite Landsat 7.

Atualmente, o satélite Landsat 8 está operante e imageando a superfície terrestre, por meio de seus sensores OLI (*Operational Land Imager*) e TIRS (*Thermal Infrared Sensor*), com resoluções espaciais de 15m/30m e 100m, respectivamente (USGS, 2015).

O levantamento do uso do solo numa dada área é um aspecto de interesse fundamental para a compreensão dos padrões de organização territorial. Deste modo, existe a necessidade de atualização contínua dos registros de usos do solo para que se possam realizar posteriormente análises de tendências (LEITE e ROSA, 2009).

A classificação digital de imagens configura-se em uma técnica fundamental para identificar e monitorar mudanças no uso e cobertura do solo.

Segundo Novo (2008) a utilização de técnicas de classificação visa atribuir a cada *pixel* ou região um rótulo em função de suas propriedades espectrais e/ou espaciais. A classificação é o processo de extração de informações em imagens de satélite que permite relacionar e agrupar *pixels* objetivando o reconhecimento de padrões e objetos semelhantes por meio da análise estatística dos dados (moda, média, matriz de covariância, desvio padrão etc.). Em outras palavras como menciona Moreira (2005) a classificação procurar rotular cada *pixel* da imagem, segundo a ocupação do solo.

Os métodos de classificação são usados para mapear áreas da superfície terrestre que apresentam um mesmo significado em imagens digitais (LEITE e ROSA, 2009). Desta forma, o monitoramento ambiental com o uso da técnica de classificação de imagens possibilita o acompanhamento da evolução dos fenômenos da superfície terrestre por meio da comparação de mapeamentos em escalas diferenciadas de tempo.

Todavia, a classificação é feita mediante algoritmos estatísticos de reconhecimento de padrões espectrais (MOREIRA, 2005), que dependendo do algoritmo utilizado, a classificação digital automática de imagens pode ser supervisionada ou não-supervisionada.

Segundo Bernades *et al.* (2007) os algoritmos de classificação distinguem-se nos classificadores "*pixel a pixel*" que utiliza a informação espectral de cada *pixel* para encontrar regiões homogêneas; e nos classificadores por região, que utilizam a informação espacial, espectral, textural e de forma de conjuntos de *pixels* definidos por uma propriedade de similaridade.

## 4. Materiais e métodos

### 4.1. Obtenção e tratamento de imagens

Para o mapeamento e definição das tendências evolutivas de desmatamento na bacia do rio de Ondas foi utilizado uma série histórica de imagens extraídas do satélite Landsat 5, referentes aos anos de 1984, 1989, 1994, 1999, 2004 e 2009, bem como do Landsat 8 para o ano de 2014.

Estas imagens foram provenientes dos sensores *Thematic Mapper* (TM) e *Operational Land Imager* (OLI), órbita/ponto 220/68 e 220/69, concedidas gratuitamente pelo Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais (INPE), no endereço <http://www.dgi.inpe.br/CDSR/>.

Após a aquisição das imagens procedeu-se as etapas de composição colorida, registro e mosaico. As etapas de composição colorida, registro e mosaico foram realizadas no *software Erdas® Image 2010*. O processo de composição se fez por meio do modelo de cores primárias aditivas *Red, Green e Blue* (RGB) com a seguinte sequência: banda 5 (infra-vermelho médio) no canal R, banda 4 (infra-vermelho próximo) no canal G e banda 3 (verde) no canal B através do procedimento *Layer Stack*.

Após a composição colorida, as imagens passaram pelo processo de registro por meio do módulo *AutoSync - Georeferencing Wizard*. Este método de registro utiliza como parâmetro, a coleta de pontos de controle com base no reconhecimento de padrões radiométricos das imagens. As imagens de referência para este procedimento foram provenientes da Agência Espacial Norte-Americana (NASA), utilizando-se as imagens *Geocover* de 1990 e 2000.

Concluído o registro das imagens realizou-se o mosaico das mesmas através do comando *Mosaic Pro*. Este procedimento possibilitou a junção das duas órbitas/ponto 220/68 e 220/69, que recobrem a bacia do rio de Ondas.

### 4.2. Obtenção dos mapas temáticos do desmatamento

Para determinação da dinâmica do uso e cobertura do solo visando a verificação do avanço das áreas antrópicas e a supressão das áreas de Cerrado, foi

de fundamental importância a utilização do sensoriamento remoto e de técnicas de geoprocessamento, pois estas configuram-se em importantes ferramentas para a detecção e mapeamento da superfície terrestre.

A partir do polígono da bacia do rio de Ondas e demais sub-bacias, obtidos em Latuf *et al.* (2010), realizou-se o recorte das imagens dos diferentes anos com base no arquivo vetorial no formato *shapefile* da bacia, por meio do módulo *Extract by Mask*, disponível no *software* ArcMap® 9.3. Cabe destacar que para minimização do efeito de borda houve a confecção de um *buffer* de 2km ao longo do perímetro da bacia.

Com as imagens recortadas iniciou-se os processos de segmentação, definição de amostras, classificação, edição matricial e verificação da exatidão do mapeamento. O processamento destas fases se deu por meio do aplicativo *Feature Extraction*, incluso no módulo Envi® Zoom 4.7, bem como no aplicativo Envi® 4.7.

O processo de segmentação consiste na separação automatizada da imagem em áreas com a coalescência de *pixels* semelhantes, no qual a imagem é dividida em regiões com atributos em comum.

O algoritmo de segmentação extrai informações dos objetos agrupando feições específicas de uma determinada região, por um critério de similaridade ou limiar, previamente definido pelo usuário (PRADO *et al.*, 2009), no qual este critério utiliza um teste estatístico entre os atributos das regiões, dividindo a imagem em regiões estatisticamente semelhantes.

Neste sentido, a ferramenta *Feature Extraction* disponível no Envi® Zoom 4.7 possibilita ao usuário testar vários limiares e definir o limiar que apresente o melhor ajuste de identificação das classes que se pretende mapear.

Não existe um padrão de limiar definido para a classificação digital de imagens, pois este é diferenciado e variável de cena para cena. Desta forma, as imagens de 1984, 1989, 1994, 1999, 2004, 2009 e 2014 foram classificadas segundo uma definição de limiares diferenciados, utilizando-se uma variação de limiar entre 70 a 95%.

Para a área de estudo foi definida a classe de desmatamento que corresponde às áreas urbanas, queimadas, agricultura, pecuária e solo exposto.

Na definição de amostras levou-se em consideração as características de resposta e comportamento espectral dos alvos, utilizando características como rugosidade, cor, textura, tamanho, forma e localização (MOREIRA, 2005).

Após a segmentação e definição de classes foi definido o método de classificação e o tipo de classificador. Para este trabalho adotou-se classificação supervisionada caracterizada por um conhecimento prévio do analista sobre a área de estudo (visitas de campo, fotointerpretação, análise de fotos e mapas etc.). Nesta etapa da pesquisa utilizou-se o classificador *Support Vector Machine* (SVM) e algoritmo *Kernel Sigmoid*, disponível no Envi® Zoom 4.7.

O processo de classificação ocorreu por meio do treinamento prévio do algoritmo classificador, por meio da escolha de amostras representativas das classes definidas na área de estudo. O treinamento do algoritmo classificador é uma técnica que agrupa estaticamente cada classe de cobertura, cabendo ao fotointérprete selecionar amostras representativas para cada categoria a ser classificada, necessitando de uma representativa distribuição dessa classe por toda a imagem.

Ao final das classificações automáticas realizou-se por meio da inspeção visual, a verificação da consistência das mesmas, com o objetivo de detectar e identificar os erros apresentados pelo classificador.

Neste sentido, por meio do procedimento de edição matricial realizou-se a correção dos pequenos erros e confusões causadas pelo classificador às áreas classificadas. A edição matricial foi realizada pelo aplicativo Pós-Classificação do software ENVI® versão 4.7.

Corrigidos os erros e confusões ocasionados pelo classificador iniciou-se o procedimento de elaboração de máscara da classe desmatamento para o ano de 1984, sendo utilizada em procedimentos posteriores, na detecção do desmatamento para os anos de 1989, 1994, 1999, 2004, 2009 e 2014.

Todavia, os resultados da classificação digital segundo Moreira (2005) podem apresentar erros de omissão e inclusão, devido às limitações dos algoritmos de classificação e à diversidade de comportamentos espectrais dos alvos em áreas heterogêneas. Desta forma, se fez necessário a verificação da exatidão do mapeamento.

Neste processo foi utilizada a matriz de erro de Landis e Koch (1977), estatística Kappa, que apresenta a distribuição de percentagem de *pixels* classificados correta e erroneamente, conforme apresentado na Tabela 1 (MOREIRA, 2005).

Tabela 1. Qualidade das classificações associadas ao índice Kappa

Valor de Kappa	Qualidade da classificação
< 0,00	Péssimo
0,00 < k ≤ 0,20	Mau
0,20 < k ≤ 0,40	Razoável
0,40 < k ≤ 0,60	Bom
0,60 < k ≤ 0,80	Muito Bom
0,80 < k ≤ 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977).

Segundo Moreira (2005) a estatística Kappa é uma medida apropriada para avaliar a exatidão porque representa inteiramente a matriz de confusão, sendo esta uma forma padronizada para reportar erros em processos de classificação automática.

De acordo com INPE (2004) a quantidade de amostras para a verificação da exatidão deve ser de 20% do total utilizado para o treinamento do classificador, bem como estas amostras não devem ser utilizadas durante o processo de classificação.

Com a obtenção dos mapas temáticos de uso e cobertura do solo fez-se uma análise quantitativa da evolução da agropecuária e supressão do Cerrado entre os anos de 1984 a 2014, calculando as áreas de cada classe para cada ano, por meio de técnicas de geoprocessamento disponíveis no *software* ArcMap® 9.3.

Os dados quantitativos foram manipulados e gerenciados por meio de planilha eletrônica, no qual foi possível a geração de gráficos e linhas de tendências para os dados das imagens classificadas.

A estimativa de projeção do avanço do desmatamento na bacia do rio de Ondas e, respectivas sub-bacias, foi realizado por meio das Equações 1 e 2, propostas por Qasim (1985) e utilizada por Von Sperling (2005), na estimativa de crescimento populacional para fins de estimativa de carga orgânica de poluentes.

$$K_a = \frac{(P_2 - P_0)}{(T_2 - T_0)} \quad (1)$$

$$Estimativa = P_0 + K_a \cdot (T - T_0) \quad (2)$$

Onde:

$K_a$  = Taxa de crescimento do parâmetro em função do tempo;  
 $P_0$  = Valor mais antigo do parâmetro de interesse;  
 $P_2$  = Valor mais recente do parâmetro de interesse;  
 $T_0$  = Ano mais antigo relacionado ao parâmetro;  
 $T_2$  = Ano mais recente relacionado ao parâmetro;  
 $T$  = Ano de interesse da estimativa do parâmetro.

## **5. Resultados e Discussões**

Levando em conta o coeficiente de concordância Kappa proposto por Landis e Koch (1977), os mapas temáticos gerados a partir do processamento digital das imagens do sensor TM e OLI, dos satélites Landsat 5 e 8, respectivamente, foram classificados com índices de exatidão Excelente (Tabela 2).

Tabela 2. Verificação da exatidão do mapeamento

<b>Anos</b>	<b>Índice Kappa (%)</b>	<b>Classificação</b>
1984	95,7	Excelente
1989	93,9	Excelente
1994	98,5	Excelente
1999	97,3	Excelente
2004	98,4	Excelente
2009	96,7	Excelente
2014	95,2	Excelente

Fonte: Autores (2016)

Pode-se inferir que na região estudada, a presença de um relevo plano e homogeneidade de uso e ocupação do solo, com extensas áreas ocupadas com culturas predominantemente homogêneas, favoreceram o bom desempenho do classificador automático.

Com expressivas exatidões dos mapas temáticos gerados foi possível analisar a dinâmica e a distribuição espacial dos polígonos de desmatamento na bacia do rio de Ondas.

Na Tabela 3 está representado o quantitativo de desmatamento para os anos de 1984, 1989, 1994, 1999, 2004, 2009 e 2014. Pode-se perceber que ocorreu um aumento expressivo no desmatamento que resultou, conseqüentemente, na redução da vegetação nativa de Cerrado.

A bacia do rio de Ondas até o ano de 1984 encontrava-se praticamente ocupada pela vegetação natural do Cerrado com uma área de 4.922,2km<sup>2</sup>, cobrindo 88,2% da área total da bacia. Todavia, este ano apresenta uma quantidade expressiva de focos de queimada totalizando 253 fragmentos e uma área de 151,5km<sup>2</sup>.

Tabela 3. Área desmatada na bacia do rio de Ondas

<b>Ano</b>	<b>Desmatamento</b>	<b>Representação em área</b>	<b>Incremento</b>
	(km <sup>2</sup> )	(%)	(km <sup>2</sup> )
1984	296,9	5,3	--
1989	925,5	16,6	628,6
1994	1.293,7	23,2	368,2
1999	1.591,0	28,5	297,3
2004	1.997,2	35,8	406,2
2009	2.320,7	41,6	323,5
2014	2.705,2	48,5	384,5

Fonte: Autores (2016).

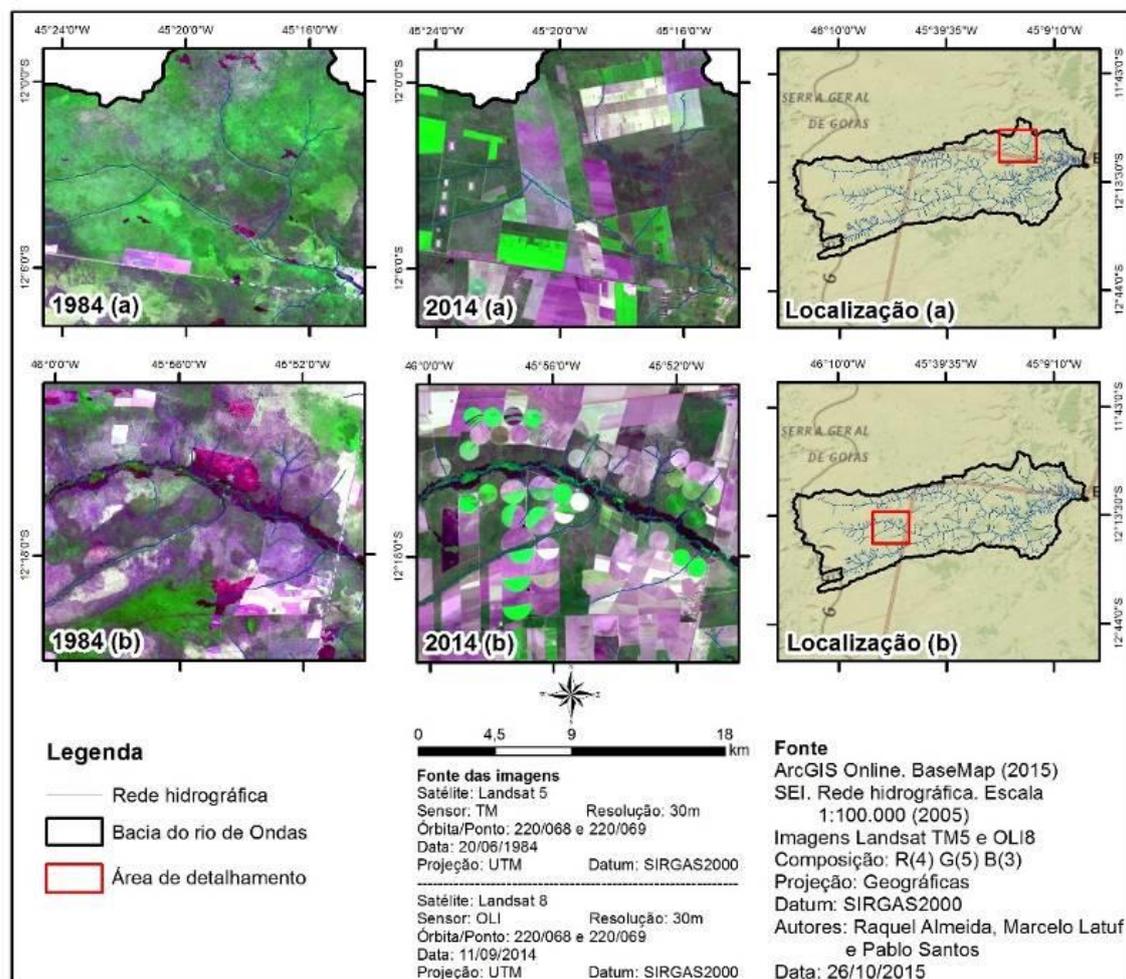
Neste sentido, percebe-se mesmo que indiretamente, a pretensão de ampliar as áreas agricultáveis na bacia, já que em 1984 o desmatamento representava apenas 5,3% da bacia com uma área de 296,9km<sup>2</sup>.

Este fato torna-se evidente no intervalo entre os anos de 1984 a 1989 quando o desmatamento apresentou o seu maior avanço com um aumento de 628,6km<sup>2</sup> e um crescimento proporcional na ordem 211,7%. Ressalta-se ainda que a partir deste período, houve a implantação da agricultura irrigada com o sistema de irrigação automatizada do tipo pivô central. Este tipo de irrigação é predominante na bacia, sendo que no ano de 2014 foram totalizados 190 pivôs centrais.

Na Figura 2 observa-se a evolução da paisagem em alguns locais da bacia entre 1984 (rarefeita intervenção antrópica) e 2014 (expressiva intervenção antrópica).

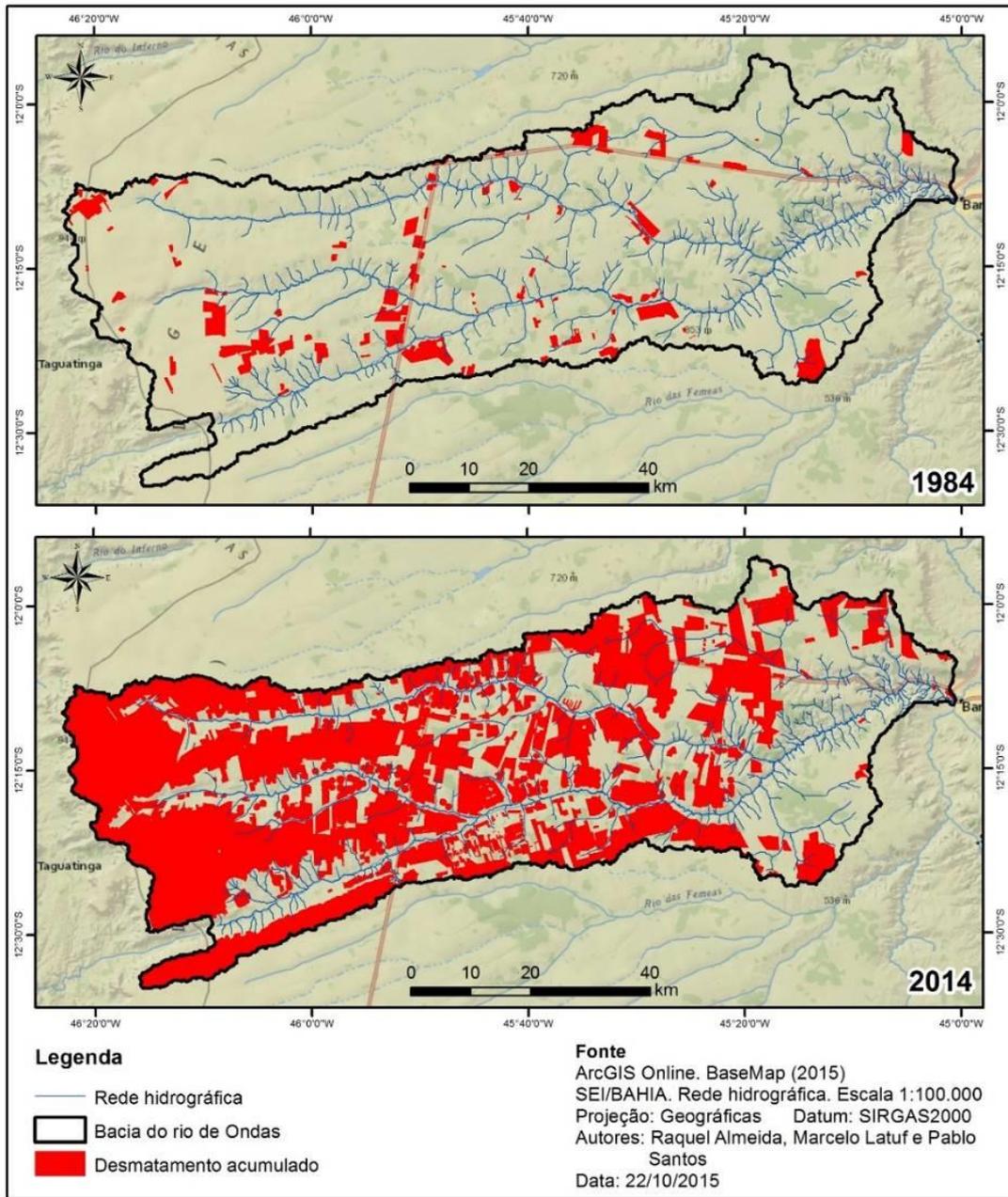
Até o ano de 2014, o Cerrado presente na bacia do rio de Ondas, foi alvo de supressão da ordem de 2.705,2km<sup>2</sup>, representando 48,5% da bacia (Figura 3).

Percebe-se neste sentido, que a vegetação nativa da bacia (Cerrado) está sendo gradativamente retirada para a ocupação e expansão da agricultura e pecuária, que possuem como insumos de avanço, a baixa declividade do relevo, facilidade de mecanização, regular distribuição pluviométrica e solos com expressivo potencial agrícola.



**Figura 2.** Expansão do desmatamento no período de 1984 a 2014

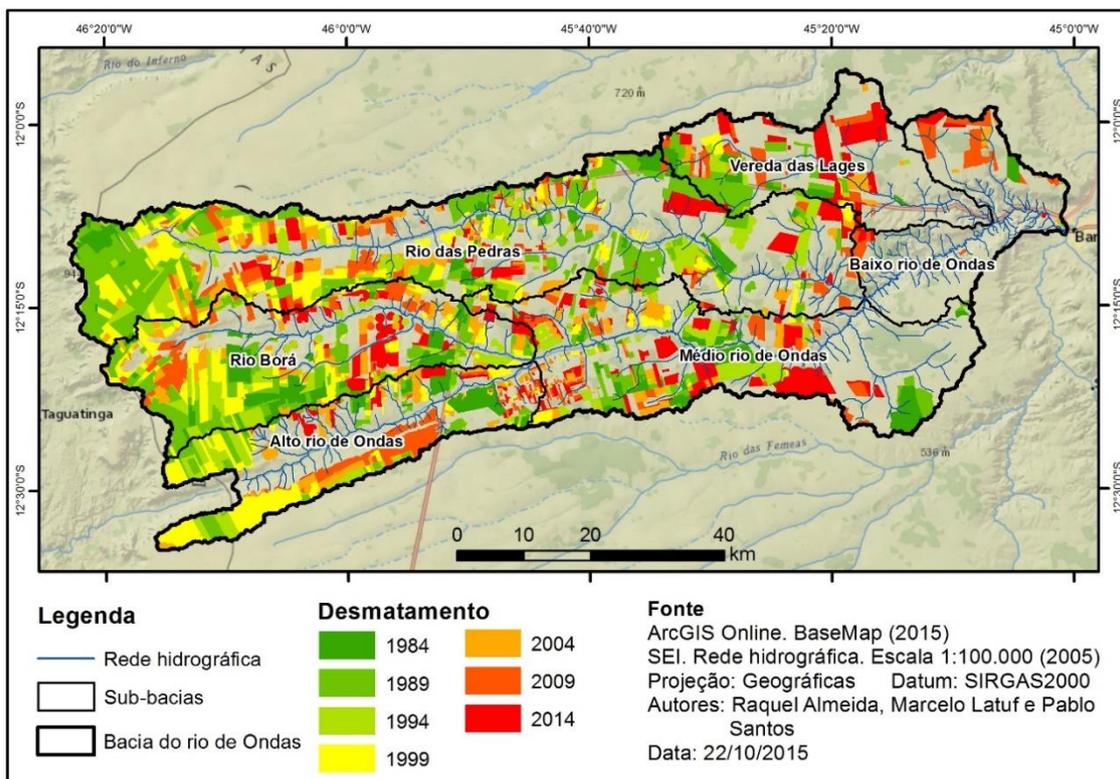
Praticamente toda a bacia do rio de Ondas apresenta declividade entre 0 a 3%, condizente a um relevo plano, que favorece a implantação e expansão da agricultura mecanizada predominante na região.



**Figura 3.** Evolução do desmatamento na bacia do rio de Ondas (1984/2014)

Com a elaboração do mapeamento sequencial de incremento de desmatamento (Figura 4), foi possível quantificar a expansão do desmatamento na escala temporal de 5 anos.

Observa-se a combinação de cores quentes e frias representando a dinâmica temporal do avanço do desmatamento na bacia do rio de Ondas, bem como em suas principais sub-bacias.



**Figura 4.** Mapa de incremento de desmatamento na bacia

Por meio da análise da Figura 4 percebe-se que o ritmo de desmatamento na bacia não vem diminuindo, tomando como análise o período de 1984 a 2014, visto a observação dos polígonos de desmatamento dos anos de 2004, 2009 e 2014.

Na Tabela 4 evidencia-se o incremento de áreas desmatadas, conversão Cerrado/Agropecuária, das sub-bacias do rio de Ondas.

Tabela 4. Dinâmica temporal do desmatamento na bacia do rio de Ondas

Ano	Incremento (km <sup>2</sup> )	Polígonos (N.º)	Maior Polígono (km <sup>2</sup> )	Média por polígono (km <sup>2</sup> )
1984	296,9	291	25,6	1,0
1989	628,6	273	146,7	2,3
1994	368,2	158	57,7	2,3
1999	297,3	181	106,7	1,6
2004	406,2	137	139,8	3,0
2009	323,5	142	120,8	2,3
2014	384,5	141	115,6	2,7

Fonte: Autores (2016).

Observa-se o ritmo da expansão do desmatamento na bacia do rio de Ondas está decaindo, quando analisados os dados entre 1984 e 2014. Porém, “em passos lentos”, com uma tendência de  $2,2\text{km}^2.\text{ano}^{-1}$ , obtendo uma média de incremento a cada 5 anos de  $386,5\text{km}^2$ .

Nota-se ao observarmos o número de polígonos uma redução expressiva, da ordem de 106,7% no período de 1984 a 2014. Entretanto, esta redução do número de polígonos não é evidenciada no quantitativo desmatado, o que em reflexo, faz aumentar a média de  $\text{km}^2$  desmatado por polígono. Em 1984 a média de área por polígono era de aproximadamente  $1\text{km}^2$ , sendo que em 2014 a média alcançou  $2,7\text{km}^2$  por polígono, um incremento de 170%.

Houve uma tendência de redução do número de polígonos de desmatamento de aproximadamente  $5\text{polígonos.ano}^{-1}$ , porém a tendência do incremento relacionado a média de área desmatada por polígono ficou em  $4\text{ha.ano}^{-1}$ .

Este quadro reflete que a frente de desmatamento ainda está em franca expansão na bacia do rio de Ondas, causando impactos ambientais relacionados à redução de vazões (LATUF *et al.*, 2010), redução do número de nascentes (SOARES NETO, J. P., 2005) e prováveis perdas de biodiversidade na flora e fauna dentre outros.

A expansão de áreas desmatadas nas sub-bacias do rio de Ondas é ainda mais preocupante, pois ao observamos a Figura 4, nota-se que em alguns casos a frente de desmatamento já ocupa expressiva porção territorial nestas sub-bacias, relatando-se os casos das sub-bacias, do rio Borá e rio das Pedras.

Por outro lado, nota-se que as sub-bacias mais a jusante (parte do Médio rio de Ondas, Vereda das Lajes e Baixo rio de Ondas), configuram-se como “reserva” estratégica para a expansão da frente de desmatamento. Porém, estas áreas possuem declividades médias superiores às demais, prejudicando a mecanização agrícola.

Na Tabela 5 evidencia-se o desmatamento acumulado por sub-bacias, no período de 1984 a 2014, bem como a porcentagem de área desmatada em relação à área da sub-bacia.

Tabela 5. Desmatamento e porcentagem de desmatamento por sub-bacia

Sub-bacias	Dados	Anos de monitoramento						
		1984	1989	1994	1999	2004	2009	2014
Rio das Pedras	km <sup>2</sup>	71,4	420,0	558,4	706,6	842,5	921,9	1.014,7
	%	3,9	22,8	30,4	38,4	45,8	50,1	55,2
Rio Borá	km <sup>2</sup>	81,5	202,2	299,8	387,0	479,9	544,5	604,1
	%	9,3	22,9	34,0	43,9	54,5	61,8	68,5
Rio Vereda das Lages	km <sup>2</sup>	31,2	74,2	77,7	79,3	101,6	133,6	214,2
	%	5,3	12,7	13,3	13,6	17,4	22,9	36,8
Baixo rio de Ondas	km <sup>2</sup>	7,8	8,2	9,1	9,2	15,7	64,1	75,2
	%	1,5	1,6	1,8	1,8	3,1	12,6	14,8
Médio rio de Ondas	km <sup>2</sup>	62,8	131,9	207,9	176,7	258,8	297,8	411,3
	%	5,7	12,1	19,0	16,2	23,7	27,2	37,6
Alto rio de Ondas	km <sup>2</sup>	42,2	89,0	140,9	232,2	298,7	358,7	385,7
	%	6,2	13,1	20,8	34,3	44,1	53,0	57,0

Fonte: Autores (2016).

Conforme apresentado na Tabela 5 as sub-bacias do rio Borá, Alto rio de Ondas e rio das Pedras, são as sub-bacias mais impactadas pela frente de desmatamento, com 68,5%, 57% e 55,2%, de área desmatada respectivamente.

Este quadro de expressiva porcentagem de áreas desmatadas nestas sub-bacias deve-se ao fato, das mesmas possuírem as melhores características para o plantio de culturas, devido ao maior regime pluviométrico anual, bem como às baixas declividades e solos profundos.

Por outro lado, as sub-bacias do Médio rio de Ondas e Vereda das Lajes tiveram um crescimento significativo, quando comparados os anos de 2009/2014, com incrementos da ordem de 38,2% e 60,7%, respectivamente.

Isto indica que devido à taxa de ocupação de áreas desmatadas nas sub-bacias a montante, estas sub-bacias tornaram-se alvos mais recentes para a expansão da frente de desmatamento, sendo possível potencializar ainda mais, a conversão Cerrado/Agropecuária nas mesmas, justificando a característica de “reserva”.

Já a sub-bacia Baixo rio de Ondas não possui expressivas taxas de desmatamento, sobretudo devido às suas particularidades pedogeomorfológicas,

podendo-se citar, solos pouco profundos a rasos e alta pedregosidade, bem como associados a relevo com declividade mais acentuadas.

Apoiando-se na análise de projeção, caso se mantenha o mesmo ritmo de incremento identificado nestes últimos 30 anos, para os próximos 5 anos, em 2019 a bacia do rio Ondas e suas sub-bacias serão expressivamente impactadas, conforme dados da Tabela 6.

Tabela 6. Estimativa porcentagem de desmatamento para 2019

<b>Sub-bacias</b>	<b>Área desmatada (%)</b>	<b>Taxa de crescimento</b>
Rio das Pedras	63,8	1,7
Rio Borá	78,4	2,0
Rio Vereda das Lajes	42,1	1,1
Baixo rio de Ondas	17,0	0,4
Médio rio de Ondas	42,9	1,1
Alto rio de Ondas	65,5	1,7
Bacia do rio Ondas	55,7	1,4

Taxa de crescimento ( $K_a$ ) no período 1984 a 2014. Fonte: Autores (2016).

## **6. Considerações Finais**

A análise ambiental, por meio de mapeamento digital de uso e cobertura do solo é uma metodologia que possibilita o monitoramento e detecção de modificações na paisagem.

Notou-se que a bacia do rio de Ondas representa para a população de Barreiras e Luis Eduardo Magalhães uma importante unidade de recurso hídrico, pois esta tem sua utilização direcionada para múltiplos segmentos de usuários, tendo como principais, o sistema de irrigação agrícola por pivôs centrais, a dessedentação animal, a geração de energia, o abastecimento urbano, a prática de lazer entre outros.

Foi possível identificar que o processo histórico de ocupação e a expansão das fronteiras agrícolas na bacia do rio de Ondas, intensificou-se a partir da década de 1980 tendo como principais fatores, a chegada dos sulistas, o financiamento e programas federais de crédito para o desenvolvimento econômico do cerrado, inclusive o PRODECER, a facilidade de mecanização dos solos associado a disponibilidade hídrica da bacia.

Ao identificar a dinâmica evolutiva do processo de desmatamento pode-se perceber que, as formas modernas de produção agrícola na bacia do rio de Ondas, têm interferido na sua paisagem natural com a substituição da vegetação nativa (Cerrado).

No período de 1984 a 2014 a bacia teve incremento de áreas desmatadas em 811% (296,9km<sup>2</sup> em 1984; 2.705,2km<sup>2</sup> em 2014), obtendo no último ano de monitoramento (2014), um percentual de 48,5% de sua área convertida para atividades agrícolas e pecuárias.

Quanto à análise por sub-bacia chama a atenção para a expressiva taxa de ocupação de atividades agropecuárias da sub-bacia do rio Borá, com 68,5%, seguidas pelas sub-bacias Alto rio de Ondas com 57% e rio das Pedras (maior afluente do rio de Ondas) com 55,2%.

Identificou-se que as sub-bacias Médio rio de Ondas e, principalmente, do rio Vereda das Lajes, configuram-se como “recentes alvos” ao processo de expansão da frente de desmatamento na bacia do rio de Ondas.

Caso se mantenha o mesmo ritmo de expansão do desmatamento na bacia do rio de Ondas, identificado entre 1984 a 2014, a bacia terá em 2019 uma proporção de 55,7% de sua área convertida para plantios agrícolas e criação pecuária.

Quanto às projeções para as sub-bacias Alto rio de Ondas, Rio Borá e Rio das Pedras, evidenciam expressivas taxas de conversão, sendo que na sub-bacia do rio Borá, este valor poderá chegar a 78,4%.

Pautado em Guerra (1999) com a retirada da vegetação natural de uma determinada área, o solo ficar mais exposto às ações da energia cinética das precipitações, acarretando incremento de selamento superficial do solo e aumento do escoamento.

Com o aumento do escoamento superficial e redução da infiltração a recarga do aquífero subterrâneo ficará comprometida, aumento vazões de pico (vazões de enchente) e reduzindo as vazões mínimas.

Este quadro já afeta e, terá seu efeito ampliado, sobre o Aquífero Urucuia, principal mantenedor das vazões em épocas de estiagem em toda a bacia do rio de Ondas, e por conseguinte, às bacias do rio Grande e sistemas de drenagem da margem esquerda do rio São Francisco, nas porções do Norte de Minas e Oeste da Bahia.

Desta forma, o planejamento e gestão do uso e cobertura do solo são ações que pautam-se como estratégicas, para a população dos municípios inseridos nesta

bacia (Barreiras e Luis Eduardo Magalhães), visando garantir a estas, água em qualidade e quantidade ao abastecimento humano e demais segmentos usuários.

## **7. Referências Bibliográficas**

BERNARDES, T.; ALVES, H. M. R.; VIEIRA, T. G. C. **Classificação automática de imagens de satélites no mapeamento da região cafeeira de Patrocínio, MG.** Universidade Federal de Lavras/MG. Geras/Instituto Mineiro de Agropecuária120. Lavras-MG, 2007.

BRASIL. Ministério das Minas e Energia. Secretaria Geral. **Projeto RADAMBRASIL Folha SD 23 Brasília.** Rio de Janeiro, 1982.

EBDA. Empresa Baiana de Desenvolvimento Agrícola. **Diagnóstico Fisiográfico Global da Bacia do Rio de Ondas.** In: Plano Diretor de Recursos Hídricos: Bacia do Rio Grande. Salvador - BAHIA: SRH, Higesia, 1993.

EMBRAPA. Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária.- **Cerrado: matas de galeria (2004).** Disponível em: <[http://www.cpac.embrapa.br/matas\\_de\\_galeria.html](http://www.cpac.embrapa.br/matas_de_galeria.html)>. Acesso em: 20 de julho de 2009.

IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censos Demográficos de 1970, 1980, 1991 e 2000** - disponível em [www.ibge.gov.br](http://www.ibge.gov.br), acesso em 23/09/2010.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **SPRING - Apostila teórica do curso de Classificação de Imagens Digitais.** São José dos Campos: INPE, 2004.

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

LATUF, M. O. **Subsídios ao Planejamento e Gestão dos Recursos Hídricos da bacia hidrográfica do rio de Ondas.** Projeto de Pesquisa. Barreiras: ICADS/UFBA, 2009-2010. (Programa Permanecer/UFBA).

LATUF, M. O., ALMEIDA, R. de S., ARAÚJO, N. S. P. de. **Modelos digitais de elevação para a delimitação de bacias hidrográficas: bacia do rio de Ondas.** X Simpósio de Recursos Hídricos do Nordeste, Fortaleza-CE, 2010.

LEITE, E. F; ROSA, R. **Sensoriamento Remoto multitemporal na Bacia Hidrográfica do Rio Nioaque, MS.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 de abril de 2009, INPE, p. 5903-5908.

MOREIRA, M. A. **Fundamentos do sensoriamento remoto e metodologias de aplicação.** 3. ed. Viçosa/MG: Ed. Universidade Federal de Viçosa – UFV, 2005.

NOVO, E. M. L. M. **Sensoriamento remoto: princípios e aplicações.** 3.ed. São Paulo: Edgard Blucher, 2008. 363p.

PINHEIRO-SOMMER, J. A. SALDANHA, D. L. SOMMER, C. A. e PINTER, P. **Análise temporal para detecção de mudanças no uso e cobertura do solo dos Campos de Cima da Serra-RS com o uso de imagens multiespectrais do Sistema Landsat.**

In: VI Congresso de meio Ambiente da AUGM. Anais de Eventos da UFSCAR. São Carlos - SP: UFSCAR, 2009. v. 5.

PRADO, B. R. FILHO, R. A. SHIMABUKURO Y. E. SILVA G. B. S. da. MELLO, M. P., PEREIRA, G. e CAMARGO, F. F. **Processamento de imagens digitais Landsat 5/TM para mapeamento de classes de cobertura da terra no município de Corumbiara-RO.** Anais XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Natal, Brasil, 25-30 de abril de 2009, INPE, p. 6101-6108.

QASIM, S. R. **Wastewater treatment plants: planning, desing and operation.** Holt, Rinehart and Winston, New York, 1985.

ROSENDO, J. S. **Índices de vegetação e monitoramento do uso do solo e cobertura vegetal na bacia do rio Araguari-MG - utilizando dados do sensor MODIS.** Tese (Mestrado em Geografia), Universidade Federal de Uberlândia - UFU, Uberlândia, 2005.

SANTOS FILHO, M. **O processo de urbanização no Oeste baiano.** Recife, SUDENE/DPG. PSU/URB, 1989.

SEI. Superintendência de Estudos Econômicos e Sociais da Bahia. **Carta topográfica digital de Taguatinga (MI-1889), Rio de Ondas (MI-1890) e Barreiras (MI-1891).** Salvador: SEI, 2003. Escala: 1:100.000.

SILVA, C. R. **Geodiversidade do Brasil: conhecer o passado, para entender o presente e prever o futuro.** Rio de Janeiro: CPRM, 2008. 264p.

SILVA, L. R. **Mudanças no uso do solo e cobertura vegetal da Mesorregião do Extremo Oeste da Bahia: análise de 1975 a 2010.** Barreiras: ICADS/UFBA, 2011. (Monografia de Bacharelado).

SOARES NETO, J. P. **Avaliação Geoambiental da Bacia das Ondas no Oeste da Bahia.** Brasília: Universidade de Brasília (UnB), 2005, 233f. (Tese de Doutorado em Geotecnia).

USGS. **United States Geological Survey.** Disponível em: <<http://landsat.usgs.gov/>>. Acesso em: 10/11/2015.

VON SPERLING, M. **Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos.** 3. Ed. Belo Horizonte: DESA/UFMG, 2005.

*Recebido em: 16/12/2015*

*Aprovado para publicação em: 23/01/2016*