

## ANÁLISE DO USO E OCUPAÇÃO DAS TERRAS NO BAIXO SÃO FRANCISCO, A PARTIR DE TÉCNICAS ESTATÍSTICAS MULTIVARIADAS

### Analysis of the land use and occupation in the Baixo São Francisco, from multivariate statistical techniques

#### Marcia Helena Galina Dompieri

Estatística e Geógrafa. Doutora em Organização do Espaço (Unesp). Pesquisadora da Embrapa Territorial. Av. Soldado Passarinho, nº 303, Fazenda Jardim Chapadão CEP: 13070-115, Campinas, SP. marcia.dompieri@embrapa.br

#### José Rodrigo Santos Silva

Estatístico. Doutor em Biometria e Estatística Aplicada (UFRPE). Docente da Universidade Federal de Sergipe (UFS). Av. Marechal Rondon, Jardim Rosa Elze. CEP: 49100-000 - São Cristóvão, SE. rodrigo.ufs@gmail.com

#### Rodrigo Yudi Fujimoto

Zootecnista. Doutor em Aquicultura (Unesp). Pesquisador da Embrapa Tabuleiros Costeiros. Av. Beira Mar 3.250, Jardins. CEP: 49025-040. Aracaju, SE. rodrigo.fujimoto@embrapa.br

#### Fernanda dos Santos Cunha

Engenheira de Pesca. Doutora em Saúde e Meio Ambiente (UNIT). fe.cunha\_@hotmail.com

**Resumo:** O objetivo do presente trabalho é a análise do uso e ocupação das terras na porção do Baixo São Francisco, abordando: (i) a análise geoespacial dos dados de produção agrícola e pecuária municipal (aquícola, rizicultura, cana-de-açúcar, rebanhos bovinos e ovinos); (ii) a avaliação do uso e ocupação das terras, a partir do processamento de imagens orbitais de média resolução espacial; (iii) o levantamento da concentração de piretroides em pisciculturas, córregos e canais de abastecimento na principal área produtora de peixes da região. Foram empregados dados tabulares, vetoriais e matriciais, estes últimos advindos de imagens orbitais (sensor MSI, satélite Sentinel-2). No processamento das imagens, técnicas multivariadas (ACP e K-means) foram empregadas e permitiram melhor separabilidade das classes e menor tempo de processamento. A classe equivalente à pastagem degradada ou em processo de degradação e solo exposto foram as mais representativas. Constatou-se também quantidade expressiva de sedimentos em suspensão nos corpos hídricos. Por fim, foram apresentados resultados da análise das águas em pisciculturas, córregos e canais de drenagem, quanto à concentração de piretroides (deltametrina e cipermetrina); os quais indicaram a necessidade de normatização nacional para sua utilização.

**Palavras-chave:** Baixo São Francisco; Sensoriamento remoto; Agricultura; Sentinel-2.

**Abstract:** The objective of this work is to analyze the use and occupation of land in the Baixo São Francisco area, considering: (i) the geospatial analysis of agricultural and municipal livestock production data (aquaculture, rhizoculture, sugarcane, cattle and sheep); (ii) the evaluation of land use and occupation, from the processing of orbital images of medium spatial resolution; (iii) the survey of the concentration of pyrethroids in fish farms, streams and supply channels in the main fish producing area of the region. Tabular, vector and matrix data were used, the latter coming from orbital images (MSI sensor, Sentinel-2 satellite). In the processing of images, multivariate techniques (ACP and K-means) were employed and allowed better class separability and shorter processing time. The class equivalent to degraded pasture or in the process of degradation and exposed soil were the most representative. There was also a significant amount of suspended sediments in the water bodies. Finally, results of the analysis of water in fish farms, streams and drainage channels were presented regarding the concentration of pyrethroids (deltamethrin and cypermethrin); which indicated the need for national standardization for its use.

**Keywords:** Baixo São Francisco; Remote Sensing; Agriculture; Sentinel-2.

## 1 INTRODUÇÃO

O rio São Francisco percorre cerca de 2.700 km, desde a Serra da Canastra (MG), passando por extensa porção semiárida até atingir sua foz, no Oceano Atlântico, onde protagoniza a divisa natural entre os estados de Sergipe e Alagoas. Ao longo do percurso, inúmeras intervenções antrópicas ocorreram, desde a instalação de barragens (Três Marias, Sobradinho, Itaparica, Moxotó, Paulo Afonso e Xingó), retirada da mata ciliar até a transposição de suas águas. Todo esse processo intervencionista trouxe maiores consequências aos municípios à jusante, na porção do Baixo São Francisco, sobretudo quanto à produção agroalimentar.

A análise territorial, para fins de planejamento, deve ser embasada por ativos cartográficos, representados pelos mapeamentos, monitoramentos e zoneamentos. A partir desses produtos, torna-se possível mensurar as potencialidades, limitações e fragilidades dos sistemas e gerar diretrizes para políticas públicas de desenvolvimento regional.

O objetivo geral do presente trabalho é a análise do uso e ocupação das terras na porção do Baixo São Francisco. Os objetivos específicos são: (1) Análise geoespacial dos dados de produção agrícola e pecuária municipal (aquícola, rizicultura, cana-de-açúcar, rebanhos bovinos e ovinos) na área; (2) Avaliação do uso e ocupação das terras, a partir do processamento de imagens orbitais de média resolução espacial; (3) Análise da qualidade da água, quanto à concentração de piretróides, em pisciculturas, córregos e canais de abastecimento em área produtora de peixes da região.

## 2 FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1 A Região do Baixo São Francisco

Os piores Índices de Desenvolvimento Humano (IDH) estão vinculados ao espaço rural onde a população residente é privada dos bens de produção e de orientação técnica, onde falta acesso aos bens e serviços essenciais, sobretudo saneamento básico, saúde, educação e capacitação técnica. Tal contexto é herança do regime agroexportador escravocrata colonial somado

à desarticulação de ações entre as esferas de governança do Estado – municipal, estadual e federal – quanto ao planejamento regional (ESTEVES, 2012). A área rural da região do Baixo São Francisco (AL e SE), insere-se neste contexto.

Na década de 1970, como forma de minimização dos danos causados à população dependente das águas à jusante do rio São Francisco, por conta da construção das barragens Três Marias, Sobradinho e Itaparica, pela Companhia Hidroelétrica do São Francisco (CHESF) e mais tarde, Moxotó, Paulo Afonso e Xingó, deu-se início o processo de instalação dos perímetros irrigados, começando em Propriá (SE) e Itiúba (AL), sob o comando da Companhia de Desenvolvimento dos Vales do São Francisco e Parnaíba (CODEVASF, 1985).

No entanto, além do traumático processo de desapropriação das terras e assentamento dos parceleiros, não houve articulação de políticas públicas para provimento da infraestrutura necessária e contínua para fins de escoamento, comercialização e armazenamento da produção, nem o fornecimento de subsídio e crédito em período minimamente adequado para garantir a sustentabilidade do negócio aos produtores, situação que culminou com o abandono de muitos lotes, em função do endividamento (MARTINS, 2011 et al.; ESTEVES, 2012).

Como consequências das interferências antrópicas à montante do São Francisco, sobretudo, na ocasião de ocorrência de eventos climáticos extremos, a área estuarina amarga consequências como a intrusão salina em períodos de seca, e enchentes nas várzeas com as chuvas intensas. Concomitantemente às alterações dos padrões de vazão, as correntes de contorno tendem a carrear mais rapidamente os materiais transportados pelos rios, contribuindo para as condições oligotróficas da região costeira adjacente (MEDEIROS et al., 2014), cenário que contribui para inviabilizar as práticas agrícolas e a aquicultura.

Além da falta de assistência à população rural de baixa renda, que se reflete nos mais baixos IDHs da região, os problemas na área do Baixo São Francisco também estão relacionados ao manejo inadequado dos sistemas agropecuários, à exploração mineral sem o devido

zoneamento e ao desmatamento indiscriminado de áreas com remanescentes de mata nativa. As consequências estão diretamente ligadas à questão da sustentabilidade ambiental e socioeconômica, tais como a contaminação das águas por agrotóxicos, antibióticos e matéria orgânica, além da acentuação do grau de assoreamento dos corpos hídricos (FREIRE, 2014).

## 2.2 Ativos Cartográficos

A partir dos ativos cartográficos, entendidos como mapeamentos, que se desdobram em monitoramentos e zoneamentos, é possível inventariar o processo de ocupação das terras, assim como indicar suas potencialidades, limitações e fragilidades. São instrumentos de gestão territorial que permitem gerar diretrizes para orientar políticas públicas.

Importantes avanços tecnológicos foram alcançados pela Geotecnologia, ramo da ciência que inclui saberes interdisciplinares em matemática, estatística, geociências e computação científica. Aumentou a disponibilização à comunidade científica de produtos de alta qualidade nessa área, incluindo imagens e softwares de acesso aberto para a confecção desses produtos, que permitem o acompanhamento de fenômenos de interesse, ao longo do tempo e em grandes extensões de terra.

Em mapeamentos de cultivos, Jensen (2009) evidencia que, a partir do espectro eletromagnético, a vegetação verde e sadia apresenta uma assinatura espectral característica, influenciada pelos pigmentos existentes no mesófilo paliçádico, atuantes na região do visível do espectro eletromagnético (0,4 - 0,65  $\mu\text{m}$ ), o espalhamento da energia infravermelha no mesófilo esponjoso, região do infravermelho próximo (0,65 - 1,4  $\mu\text{m}$ ), e a quantidade de água presente na folha, região do infravermelho médio (aproximadamente 1,4 - 2,6  $\mu\text{m}$ ). São estas características intrínsecas das plantas que permitem a diferenciação entre as culturas plantadas e a vegetação natural, a partir das imagens orbitais.

Levantamentos nas mais diversas localidades, inóspitas ou não, e em diferenciadas escalas podem ser obtidos a partir dos dados orbitais. Liu et al. (2017) realizaram 68 medidas in loco no lago Poyabg, na China, para calibrar um

modelo a fim de identificar a qualidade da água, por meio da concentração de partículas sólidas em suspensão, a partir do sensor MSI-Sentinel2 e concluíram a aplicabilidade a partir das bandas 4 e 7. Li et al. (2017) utilizaram o índice de vegetação (NDVI) gerado por meio de imagens de satélite meteorológico (AHRR) para avaliar os impactos do El Niño, no período de 1982-2015, na extensão de toda a Eurásia. Nitze et al. (2017) apresentaram uma metodologia de classificação de dados Landsat (TM, ETM+, OLI) para analisar mudanças climáticas com base na dinâmica dos lagos de quatro diferentes locais (Alaska North Slope, Western Alaska, Central Yakutia, Kolyma Lowland) na zona do permafrost do norte, entre 1999 e 2014.

Por meio da comparação dos mapeamentos de duas épocas distintas (2004 e 2014), na mesorregião Nordeste do Mato Grosso, Esquerdo et al. (2017) identificaram a expansão da agricultura em 263%. Essa ocupação avançou principalmente sobre áreas de pastagens, o que evidencia o processo de mudança do sistema de produção pecuária para o sistema de produção agrícola intensiva na região. Adicionalmente, os autores mencionam a eliminação de cerca de 4.000 quilômetros quadrados de florestas nativas do Bioma Pantanal.

## 2.3 Análise por Componentes Principais (ACP)

A ACP, técnica multivariada empregada neste estudo, é um procedimento que utiliza a transformação ortogonal de vetores para converter um conjunto de observações de variáveis correlacionadas em outro conjunto de variáveis linearmente não correlacionadas. Pearson foi quem idealizou a técnica no século XIX, que é comumente usada como uma ferramenta de análise exploratória de dados e como modelo preditivo (PEARSON, 1901; ABDI; WILLIAMS, 2010). Em sensoriamento remoto, uma das principais funções da ACP é determinar a extensão da correlação existente entre duas ou mais bandas.

Segundo Liu, Mason (2009) e Estornell et al. (2013), uma imagem orbital pode ser expressa na forma matricial (Eq. 1), segundo a qual, na posição  $ij$  tem-se armazenado o número digital, cujo intervalo varia em função da resolução

radiométrica. Neste estudo, os valores digitais variam de 0 a 4095 (12 bits):

$$A_{i,j} = \begin{bmatrix} x_{1,1} & \dots & x_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m,1} & \dots & x_{m,n} \end{bmatrix} \quad (1)$$

Como as cenas são corregristadas, cada posição na matriz (DN) vai se diferenciar de banda para banda – em função da resolução espectral (Eq. 2). No trabalho foram utilizadas quatro bandas (Red, Green, Blue, Infra-Red), portanto k igual a quatro.

$$A_{i,j} = \begin{bmatrix} x_{[b_i]}^{[b_i]} & \dots & x_{1,n} \\ \vdots & \ddots & \vdots \\ x_{m,1} & \dots & x_{m,n} \end{bmatrix} \quad (2)$$

Para se reduzir a dimensionalidade do conjunto de dados, é necessário o cálculo dos autovalores a partir da matriz de covariância, em que  $\sigma_{i,j}$  é a covariância de cada par de bandas:

$$\sigma_{i,j} = \frac{1}{N-1} \sum_{p=1}^N (DN_{p,i} - \mu_i)(DN_{p,j} - \mu_j) \quad (3)$$

Sendo:

$DN_{p,i}$ : número digital do pixel p na banda i;

$DN_{p,j}$ : número digital do pixel p na banda j;

$\mu$ : média dos números digitais;

$N$ : quantidade de bandas.

A partir da matriz de variância/covariância, os autovalores ( $\lambda$ ) são calculados, assim como as raízes da equação característica, em que C é a matriz de covariância das bandas e I é a diagonal da matriz identidade.

$$\det (C - \gamma I) = 0 \quad (4)$$

Liu e Mason (2009) ressaltaram que a aplicação da ACP antes da técnica de agrupamento pode evitar o excesso de pixels classificados erroneamente. Além disso, como o número de matrizes a serem processadas diminui, ocorre também diminuição do tempo de processamento.

## 2.4 Agrupamento k-means

O método de agrupamento k-means foi uma das técnicas multivariadas utilizadas no presente trabalho. Foi proposto por MacQueen (1967) e é um dos algoritmos de aprendizagem não supervisionado que permite, de forma simplificada, o particionamento de uma população N-dimensional dentro de k conjuntos, resolvendo o problema de agrupamento. Por meio do algoritmo, a classificação dos números digitais das matrizes (bandas espectrais) ocorre a partir da definição de um determinado número de clusters (k clusters) fixados a priori. Inicialmente, há a definição de k centroides, um para cada cluster. O pixel pertencente a um determinado conjunto de dados é associado ao centroide mais próximo (distância mínima).

A distância entre um ponto  $p_i$  e um conjunto de clusters  $\chi = \{x_1, x_2, \dots, x_k\}$  é obtida por meio da seguinte equação:

$$d(p, \chi) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n d(p_i, \chi)^2 \quad (5)$$

Quando nenhum ponto está pendente, o primeiro passo é concluído e um agrupamento inicial é constituído. Novamente, k novos centroides dos clusters, resultantes do passo anterior, são constituídos e há uma nova ligação entre os mesmos pontos de ajuste e o novo centroide mais próximo. Como resultado deste loop, k centroides mudam sua localização passo a passo até que os centroides não se movimentem mais ou que o número de iterações definido seja atingido. Esse algoritmo visa minimizar uma função de erro quadrado, reduzindo a variabilidade dentro do cluster (LINDEM, 2009; ENVI, 2017).

## 3 METODOLOGIA

A delimitação da área de estudo abrangeu os municípios pertencentes à região do Baixo São Francisco, estados de Sergipe e Alagoas (Figura 1).

Quanto aos materiais utilizados, foram empregados dados tabulares e georreferenciados – vetoriais e matriciais. Os dados tabulares sobre produção agrícola e pecuária municipal foram obtidos a partir da base Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017a; 2017b) e corresponde-

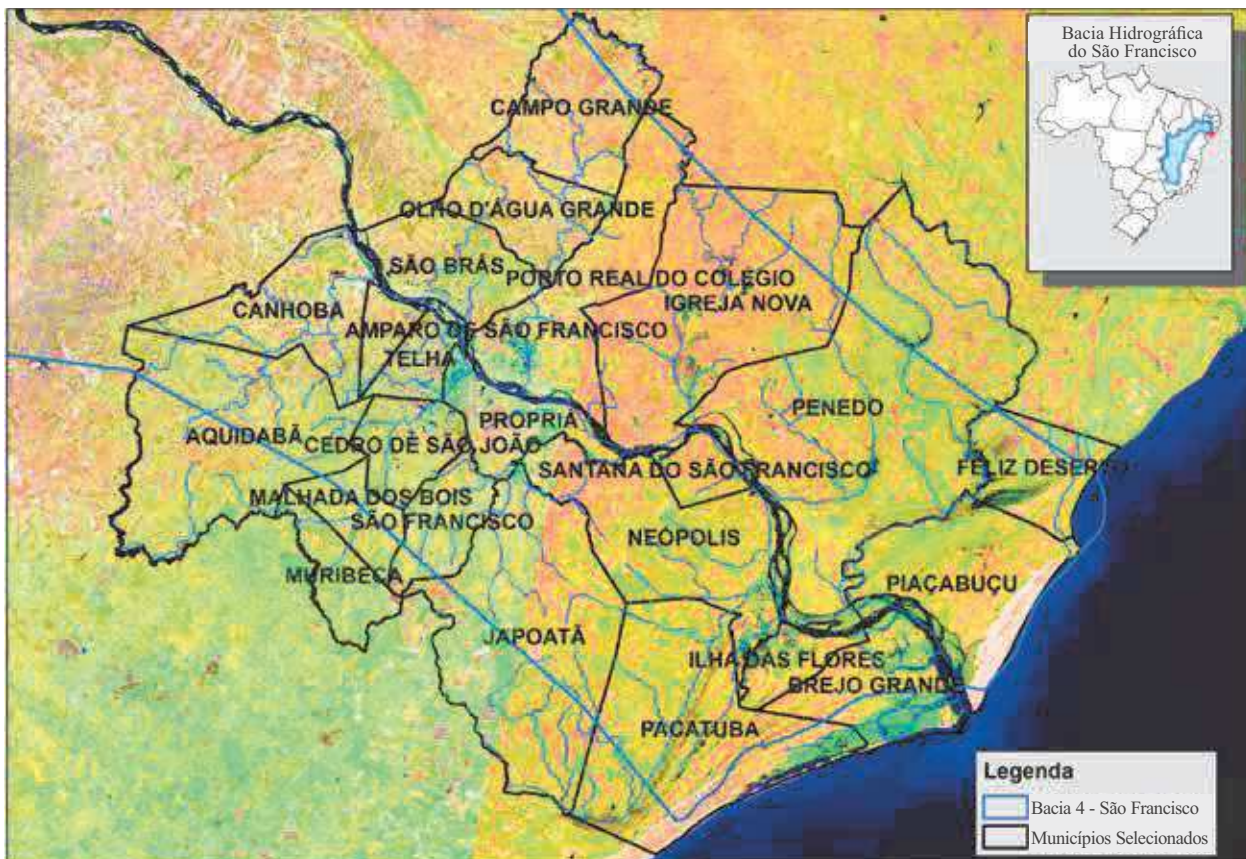


ram à produção aquícola, arroz com casca, cana-de-açúcar, rebanhos bovinos e ovinos (ano base 2015). Quanto aos dados vetoriais georreferenciados, as fontes foram o Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE, 2017c), a Agência Nacional das Águas (ANA, 2017) o Departamento Nacional de Pesquisa Mineral (DNPM, 2017). Corresponderam, respectivamente, à divisão política dos estados (Sergipe e Alagoas) e dos municípios da área de estudo; à delimitação da bacia hidrográfica do São Francisco e aos polígonos de mineração. Estes últimos auxiliaram o processo de associação das classes de ocupação do solo.

Os dados matriciais corresponderam às cenas orbitais advindas do sensor multiespectral (MSI - Multispectral Instrument) projeto SENTI-

NEL-2, financiado pela Agência Espacial Europeia (ESA, 2017), distribuídos em 13 bandas espectrais VNIR (Visible–Near Infrared) e SWIR (Shortwave Infrared), disponível a partir do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS, 2017). Das 13 bandas espectrais, foram utilizadas as seguintes: 490 nm (B2), 560 nm (B3), 665 nm (B4), 842 nm (B8), na resolução espacial de 10 m, que permite mapeamentos na escala de até 1:25.000, pelo Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC). O produto corresponde ao nível 2A que possui correção topo-atmosférica (TOA). A resolução radiométrica do instrumento MSI é de 12 bits, permitindo que a imagem seja adquirida em um intervalo de 0 a 4095 valores de intensidade de luz potencial (ESA, 2017).

Figura 1 – Localização da área de estudo: municípios do Baixo São Francisco acompanhado da delimitação dos limites da Bacia do São Francisco

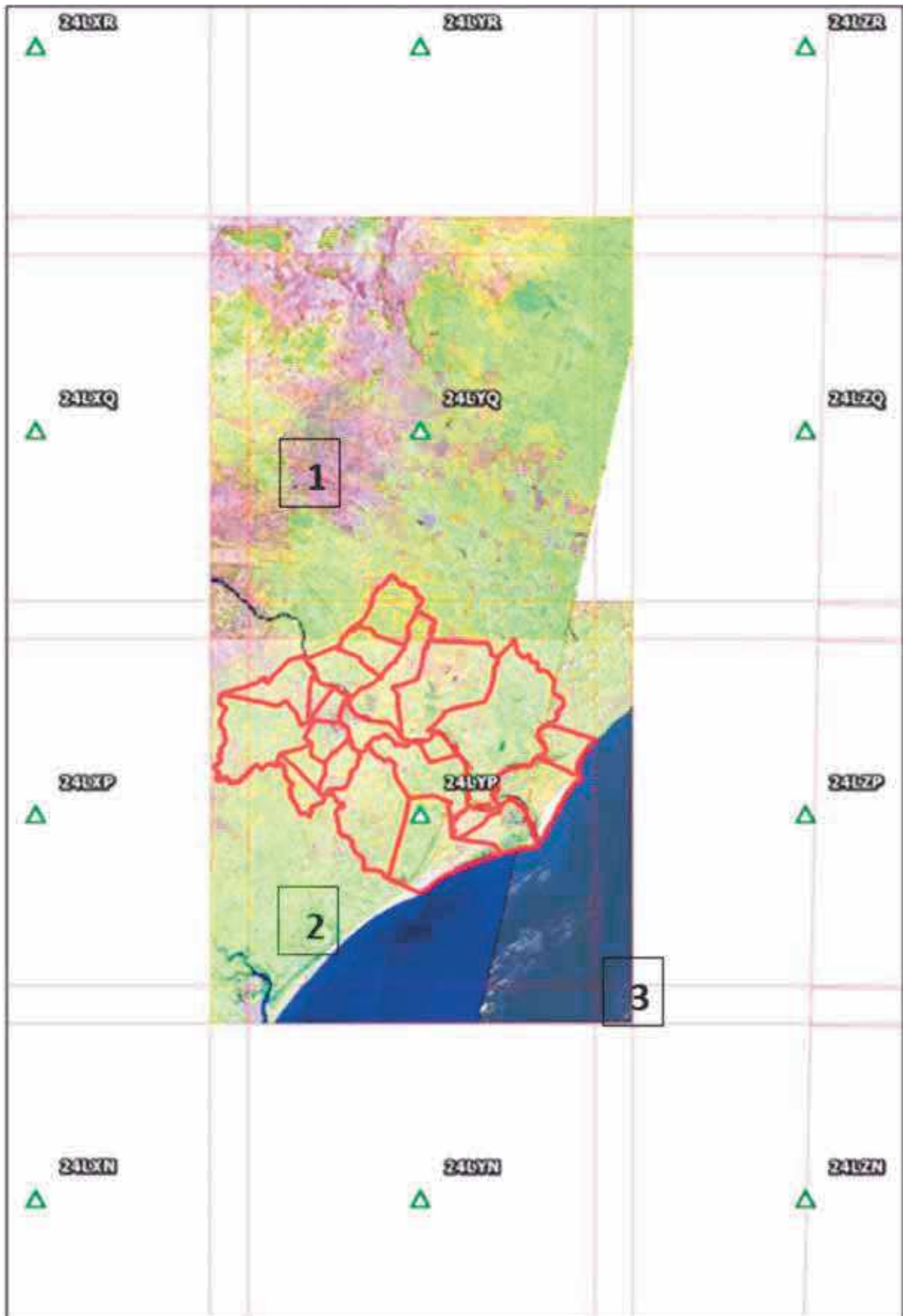


Fonte: USGS (2017); IBGE (2017)

O desafio da utilização de cenas orbitais em quadrantes diferentes consiste em coincidir o mesmo período sazonal para o mosaico das cenas, obter intervalos temporais curtos e a menor cobertura de nuvens possível, a fim de garantir a mínima variabilidade na reflectâncias dos alvos. Na Figura

2, tem-se a grade com o índice das cenas (24LYQ e 24LYP), assim como a sobreposição necessária entre elas. Foram utilizadas duas imagens datadas de 16 de maio de 2017 e a terceira de 24 de novembro de 2016, portanto períodos sazonais e interferência atmosférica distintas na terceira cena.

Figura 2 – Cenas 1 e 2: 16/05/2017; Cena 3: 24/11/2016



Fonte: ESA/USGS (2017).

A produção de mapeamentos exige a definição de variáveis importantes, como a extensão

da área a ser mapeada, a escala pretendida, o intervalo da série temporal ou a época do ano

a ser considerada. Tais requisitos definirão as resoluções espacial, temporal e radiométrica dos produtos. As bandas geradas pelos sensores orbitais correspondem às matrizes bidimensionais de valores digitais, cujo menor elemento é o pixel, os quais são classificados por meio das técnicas advindas da estatística multivariada. A classificação multiespectral pode ser baseada no pixel ou no grupo de pixels (regiões ou objetos), neste último caso, a partir do processo de segmentação (LIU; MASON, 2009). Em ambos os casos é possível aplicar técnicas supervisionada, não supervisionada e/ou mista.

Na fase de pré-processamento das imagens foram realizados o mosaicamento e o recorte com base na área de estudo, acrescido de um distanciamento de 5 km, a fim de garantir o limite de segurança. O processamento das cenas foi elaborado por meio da aplicação da técnica de Análise por Componentes Principais (ACP) e do algoritmo de agrupamento K-means. A técnica de agrupamento foi aplicada tanto ao conjunto de dados principais (B2, B3, B4 e B8) quanto aos dois primeiros componentes principais (CP1 e CP2). O software ENVI v. 5.4 SP1 foi utilizado para o processamento dos dados matriciais e o ArcGIS v. 10.6 para os dados vetoriais. Como se tratou de técnica não supervisionada, não houve o cálculo do índice kappa no pós-processamento para identificação da acurácia da classificação. A seguir haverá um maior detalhamento das técnicas ACP e do agrupamento K-means.

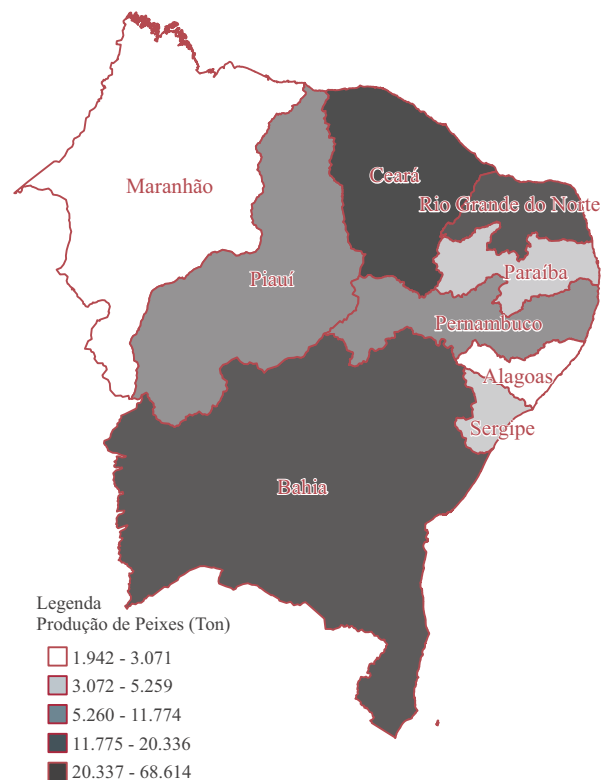
Por fim, foram coletadas amostras de água em dez pisciculturas (Figuras 15 a 17) entre Nov/2016 e Jan/2017, em três pontos dos afluentes do Rio São Francisco e nove canais de abastecimento das pisciculturas para avaliação de piretroides – deltametrina e cipermetrina, uma vez que identificamos, no processo de mapeamento e nas visitas ao campo, forte proximidade e até mesmo o compartilhamento de tanques no cultivo de arroz e criação de peixes.

## 4 RESULTADOS E A DISCUSSÃO

### 4.1 Análise e espacialização dos dados de produção agrícola e pecuária, na Região do Baixo São Francisco

A região Nordeste liderou a produção de peixes no país, respondendo por quase 30% do total produzido, com grande destaque ao estado do Ceará, totalizando quase 70 mil toneladas, seguido pelos estados da Bahia e Rio Grande do Norte, no ano de 2015 (IBGE 2017c, Figura 3). Embora a região do Baixo São Francisco, nos estados de Sergipe e Alagoas, não apresente produções expressivas quando comparada aos dos estados vizinhos, a criação de peixes para as comunidades locais é uma das mais importantes atividades exercidas como meio de subsistência.

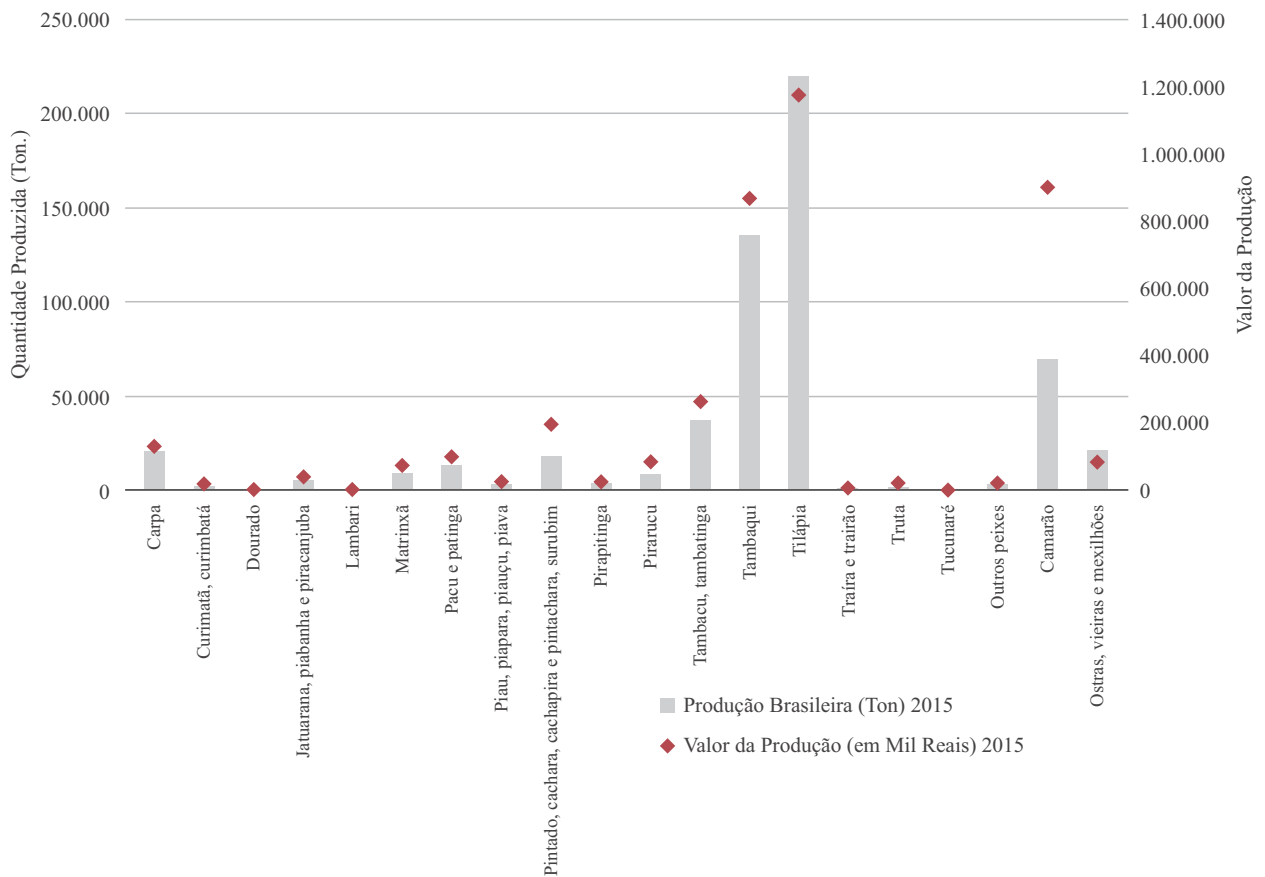
Figura 3 – Produção de peixes nos estados da Região Nordeste (t)



Fonte: dados do IBGE (2017).

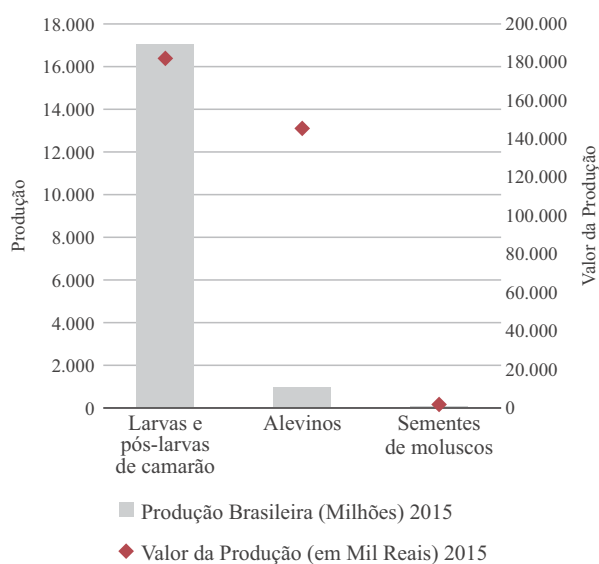
Em termos nacionais, a produção aquícola brasileira em 2015 correspondeu a quase 575 mil toneladas, com destaque para tilápia, tambaqui e camarão, além de larvas de camarão e alevinos, sendo que estes últimos possuem um alto valor de comercialização (Figuras 4 e 5).

Figura 4 – Produção (toneladas) e valor da produção (mil) de peixes, ostras e camarões, em 2015, no Brasil



Fonte: dados do IBGE (2017).

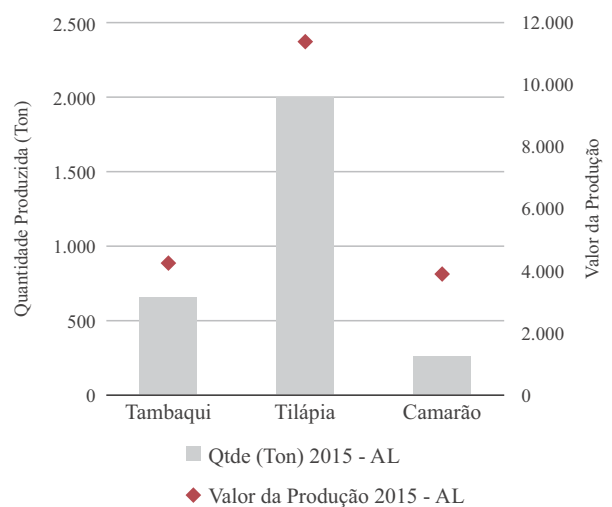
Figura 5 – Produção (toneladas) e valor da produção (mil) de larvas e pós-larvas de camarão, alevinos e sementes de moluscos, em 2015, no Brasil



Fonte: dados do IBGE (2017).

quanto em Sergipe, a relevância foi para as produções de tambaqui e camarão (Figuras 6 e 7).

Figura 6 – Produção (toneladas) e valor da produção (mil) de tambaqui, tilápia e camarão, em 2015, em Alagoas

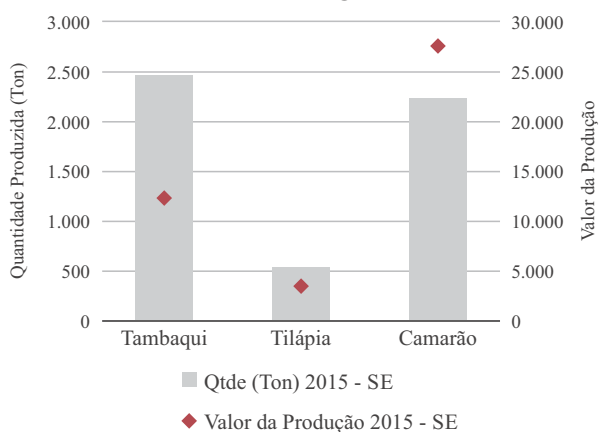


Fonte: dados do IBGE (2017).

Quanto à região do Baixo São Francisco, em Alagoas, a produção de tilápia se destacou en-



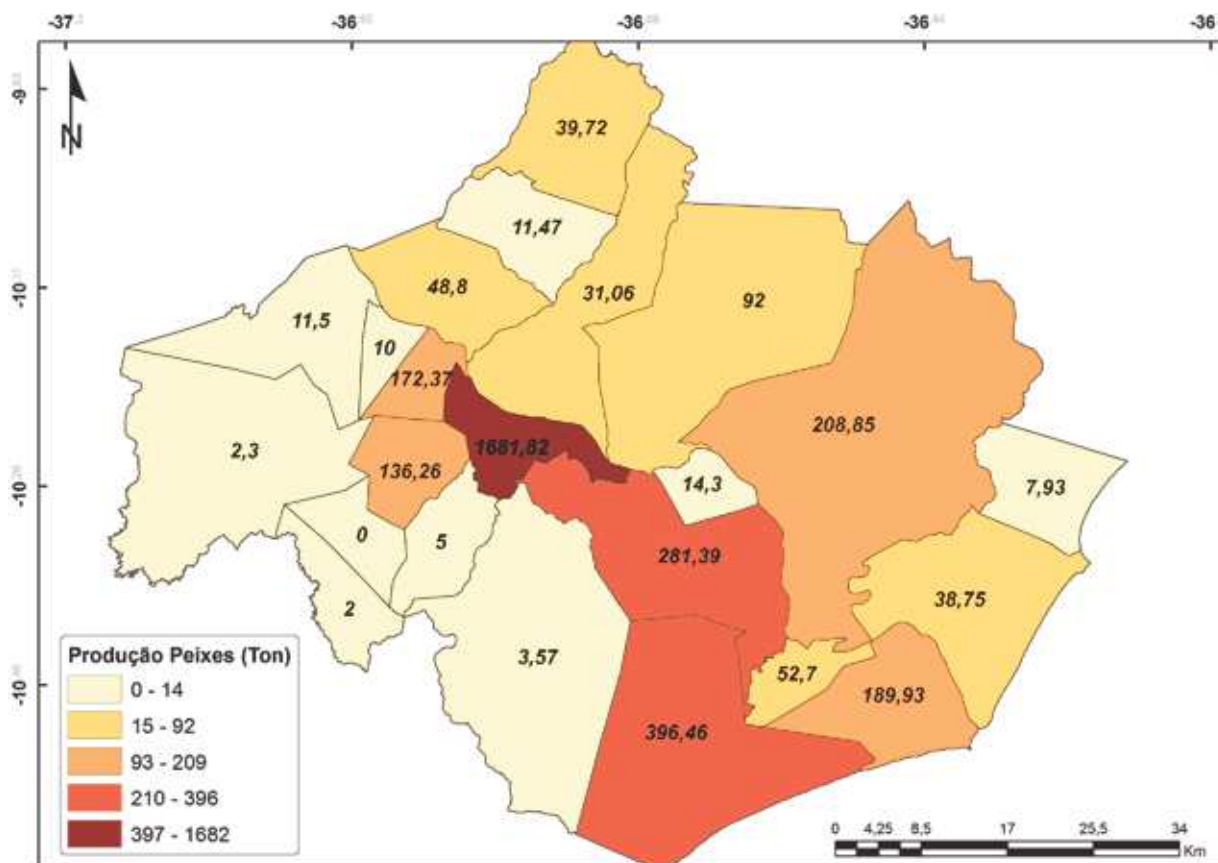
Figura 7 – Produção (ton) e valor da produção (mil) de tambaqui, tilápia e camarão, em 2015, em Alagoas



Fonte: dados do IBGE (2017).

A partir da Figura 8, tem-se a espacialização em intervalos de classes da produção de peixes (toneladas) na área de estudo. Destacou-se a produção no município de Propriá (SE) com cerca de 1700 toneladas.

Figura 8 – Produção de peixes (toneladas) nos municípios do Baixo São Francisco



Quanto à rizicultura, o Brasil produziu na safra 2015 o equivalente a 1,23 milhão de toneladas de arroz (casca), sendo que a região Sul do país contribui com 80% do total, seguida pelas regiões Norte e Centro-Oeste, que juntas produziram cerca de 15%, as regiões Nordeste e Sudeste ficaram com os 5% restantes. O estado do Maranhão (315 mil toneladas) liderou

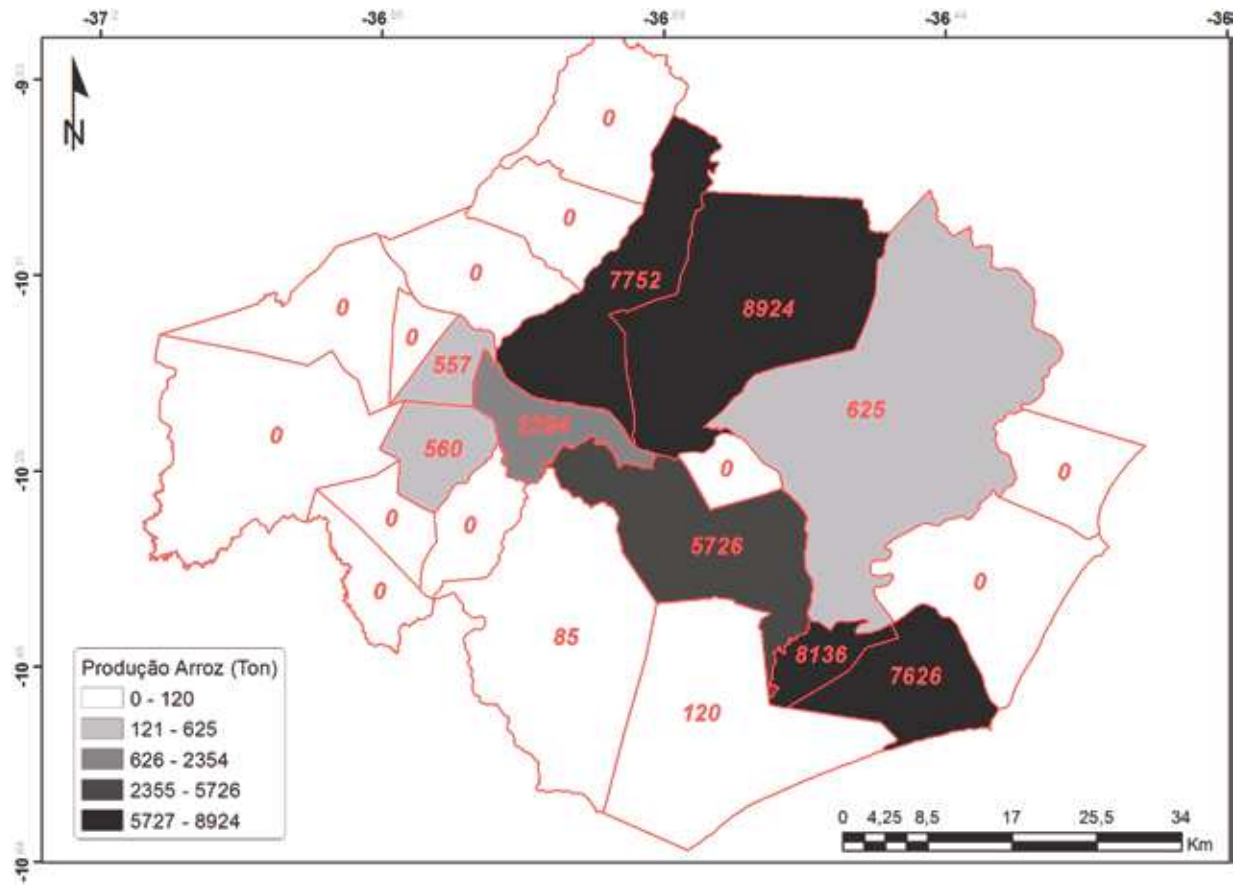
isoladamente a produção no Nordeste do Brasil, seguido pelo Piauí (100 mil toneladas); Sergipe e Alagoas juntos responderam por cerca de 43 mil toneladas, concentradas no vale do Baixo São Francisco.

Nota-se, pela Figura 9, que a produção de arroz se destaca nos municípios de Igreja Nova e Porto Real do Colégio em Alagoas. Em Ser-

gipe, têm-se os municípios de Ilha das Flores, Brejo Grande, Neópolis e Propriá. Os sistemas de cultivo de arroz no Baixo São Francisco ocorrem em áreas não irrigadas que encharcam

e formam lâmina d'água após as chuvas (sequeiro) e por meio de sistemas irrigados que envolvem ou não o controle da água. (RABELLO, et al., 2013).

Figura 9 – Produção de arroz (toneladas) nos municípios do Baixo São Francisco



A cana-de-açúcar se destaca na porção nordeste da área de estudo (Figura 10), mais especificamente, nos municípios de Penedo, Igreja Nova e Feliz Deserto (AL), que somaram uma produção de 2,3 milhões de toneladas. A criação de bovinos

(Figura 11A) é forte em Aquidabã, Canhoba e Japoatã em Sergipe; em Alagoas, destacam-se Igreja Nova, Porto Real do Colégio e Penedo. Os ovinos (Figura 11B) são expressivos, sobretudo em Aquidabã (SE), Piaçabuçu e Feliz Deserto (AL).

Figura 10 – Produção de cana-de açúcar (toneladas) nos municípios do Baixo São Francisco

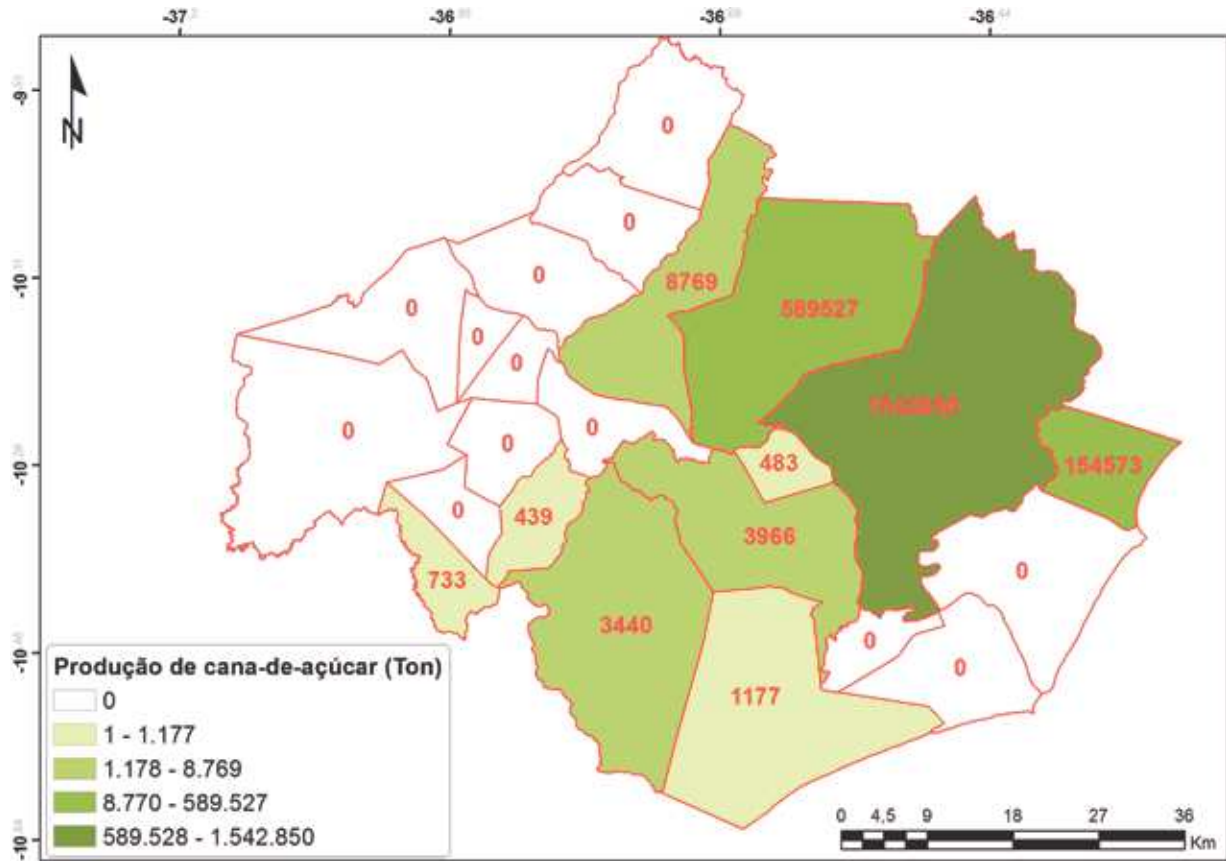
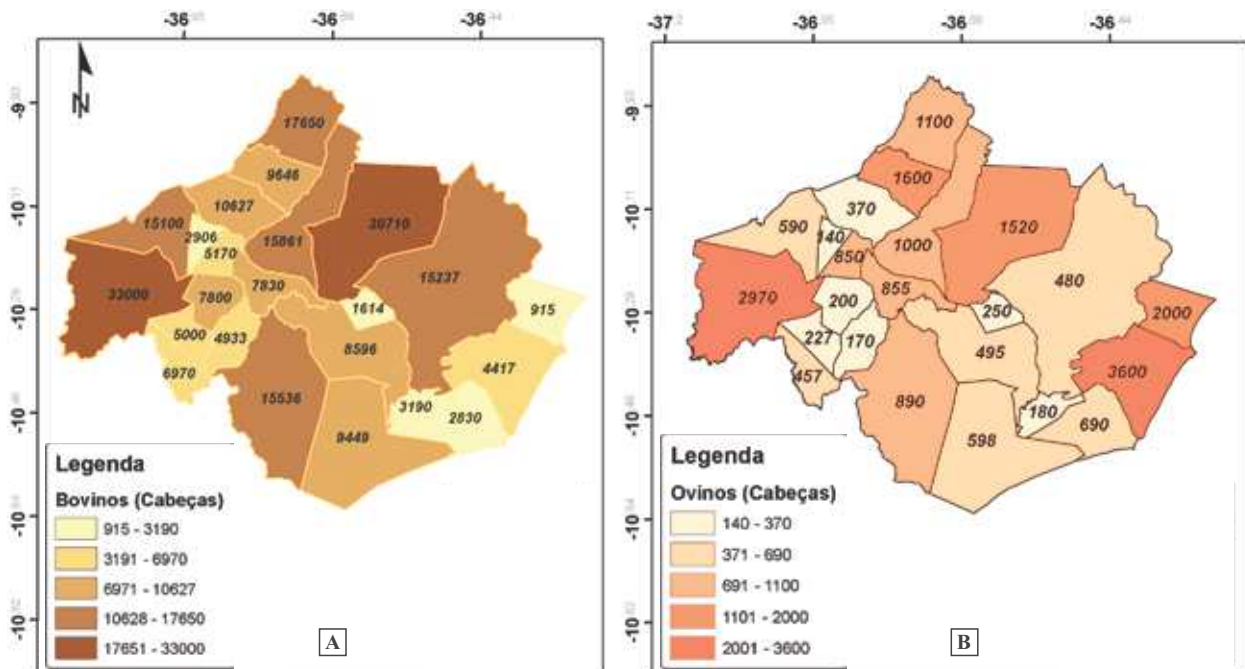


Figura 11 – Produção de bovinos (A) e ovinos (B) nos municípios do Baixo São Francisco



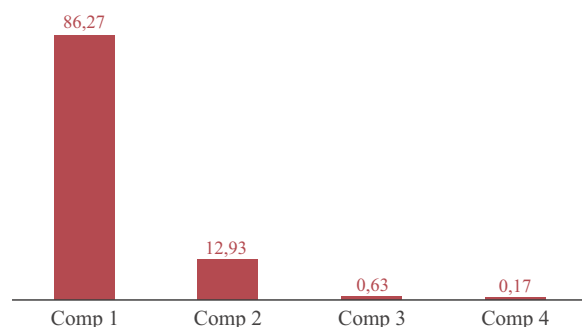
Essa análise exploratória das principais atividades agropecuárias na região do Baixo São Francisco foi necessária para o processo de identificação das classes de uso do solo agrícola a partir do processamento das imagens orbitais.

#### 4.2 Resultado do processamento das imagens orbitais da área de estudo

Os dados necessários para a geração dos ativos cartográficos são provindos sobretudo a partir de sensores a bordo de satélites, aviões e drones. Tais dados são armazenados na forma de matrizes de números digitais (DN), cujos valores e dimensões dependem da resolução radiométrica (bit) e espacial (m). O número total de matrizes ou bandas resultantes de um imageamento varia em função da resolução espectral (nm). Conforme detalhado na metodologia, houve o emprego de quatro bandas corrigidas, resolução espectral de 12 bits, resolução espacial de 10 metros e resolução espectral de 490 nm (B2), 560 nm (B3), 665 nm (B4), 842 nm (B8); advindas do sensor MSI, satélite Sentinel2 da Agência Espacial Europeia (ESA).

Procedeu-se com o processamento dos referidos dados por meio de obtenção dos componentes principais e do processamento pelo método de agrupamento não supervisionado, tanto dos conjuntos originais quanto dos dois primeiros componentes principais, pela matriz de covariância. Nota-se pela Figura 12 que a variância do conjunto de dados ficou concentrada (99,2%) nos dois primeiros componentes.

Figura 12 – Gráfico com resultado da transformação por componentes principais – variância concentrada nos dois primeiros componentes



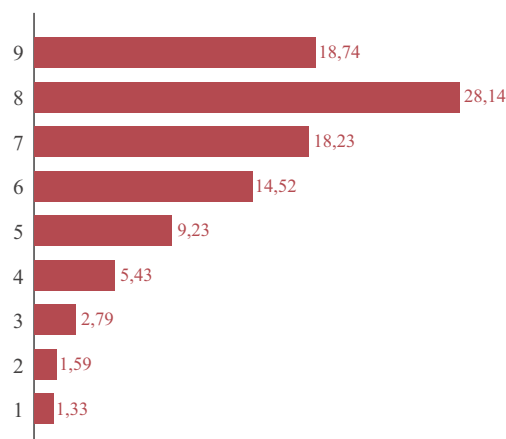
Os parâmetros para o processamento, tanto do agrupamento a partir das quatro bandas originais (B2, B3, B4 e B8) quanto dos dois

primeiros componentes, foram de 10 clusters e cinco iterações, parâmetros inseridos a priori. O resultado da classificação encontra-se nos gráficos da Figura 13, referentes ao processamento do conjunto sem rotação (bandas originais 13A) e com os dois primeiros componentes gerados da ACP (13B). A representação das classes resultantes do agrupamento no Quadro 1 obedece ao padrão de cores definido na figura supracitada.

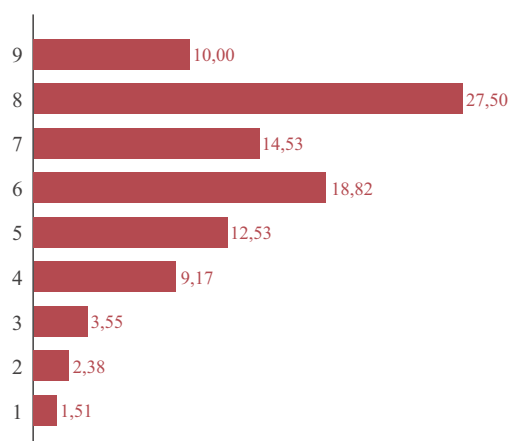
A partir de análise por comparação e tendo como base um conjunto de dados de maior resolução espacial, foi possível observar que o processo de agrupamento (K-means) com base nos componentes principais permitiu uma melhor separação das classes de uso do solo (sobretudo pastagem degradada, sadia e solo exposto), além de representar economia de tempo de processamento, uma vez que diminuiu o número de bandas a serem computadas.

A classe predominante foi aquela em que se constatou a ocorrência de pastagem degradada ou em processo de degradação (28%). Quase 15% do total das águas superficiais mapeadas apresentou alta ocorrência de sedimento em suspensão, indicando forte assoreamento dos corpos hídricos. No entanto, é importante relatar que a imagem foi obtida em 16 de maio, portanto, início do período chuvoso na região. Diante disso, é possível que tenha havido influência do estresse hídrico na reflectância e, portanto, também no agrupamento.

Figura 13 – Resultado do agrupamento (%) de pixels a partir do processamento das quatro bandas originais (A) dos dois primeiros componentes principais (B) e classes correspondentes







ID	Classe	Legenda Quadro1
9	Uso urbano / Solo exposto	
8	Pastagem degradada e em degradação / cultivo anual em fase final	
7	Vegetação gramínea /pastagem sadia/cultivo anual em fase intermediária	
6	Cultivo anual fase colheita /cultivo permanente/vegetação porte arbóreo-arbustivo	
5	Vegetação densa - porte arbóreo	
4	Água - sedimento grau muito alto	
3	Água - sedimento grau alto	
2	Água - sedimento grau médio	
1	Água - sedimento grau baixo	

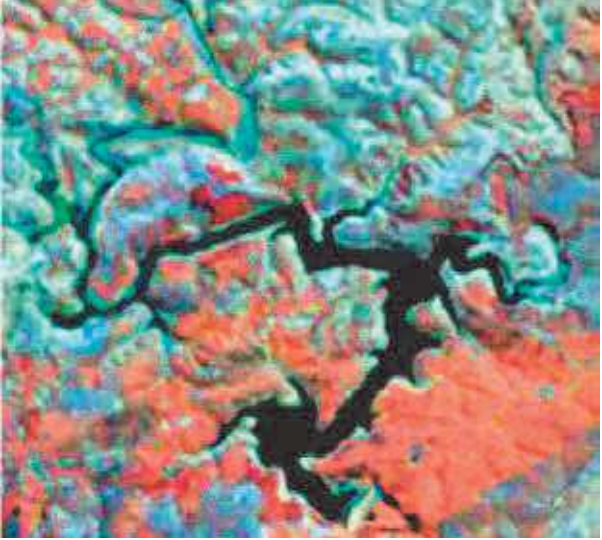
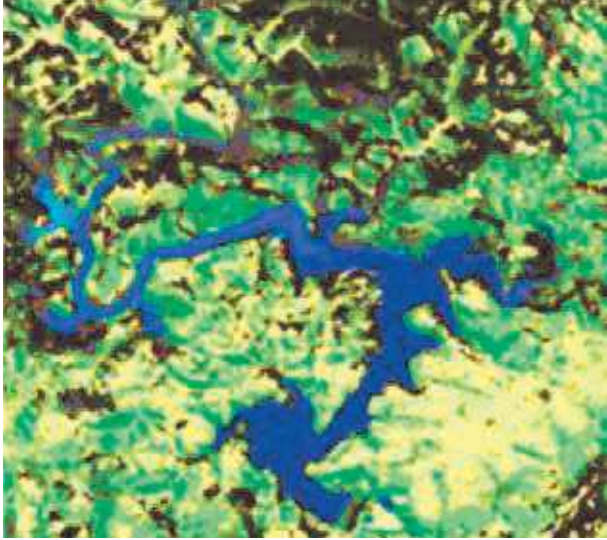
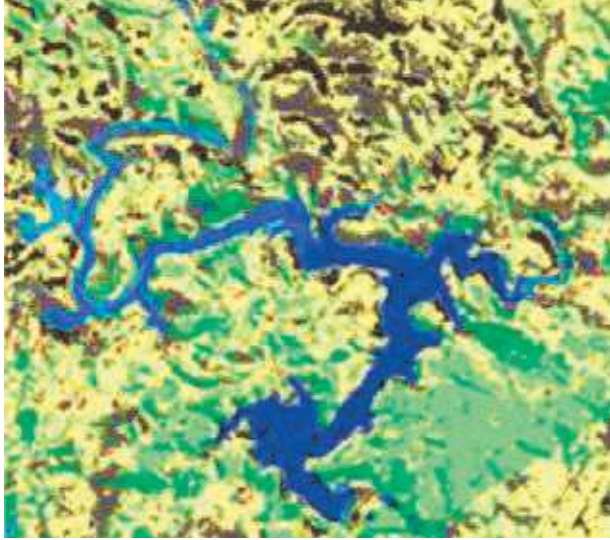
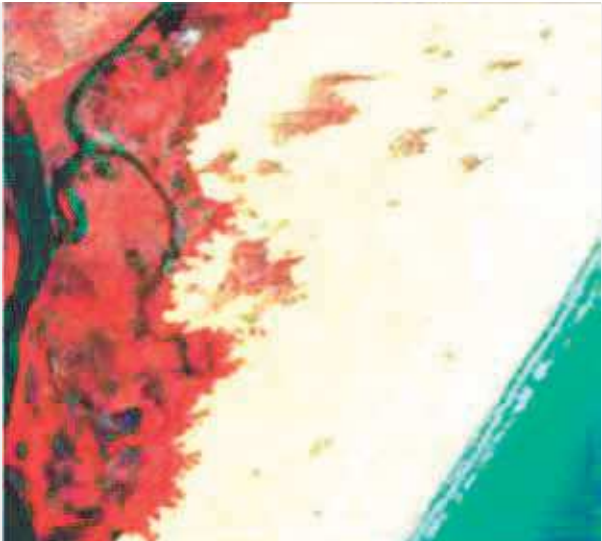
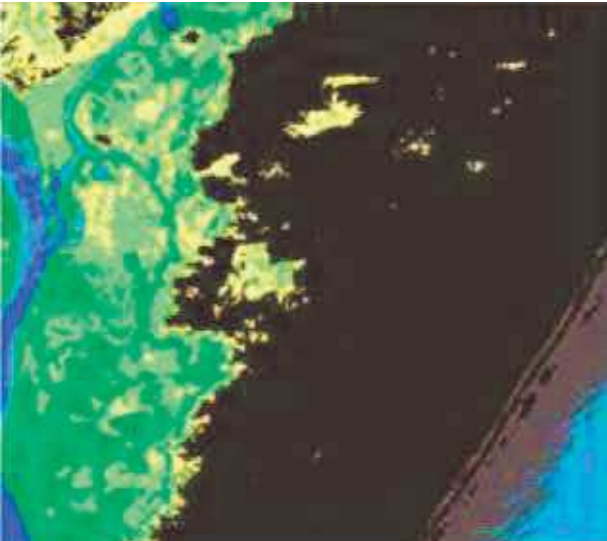
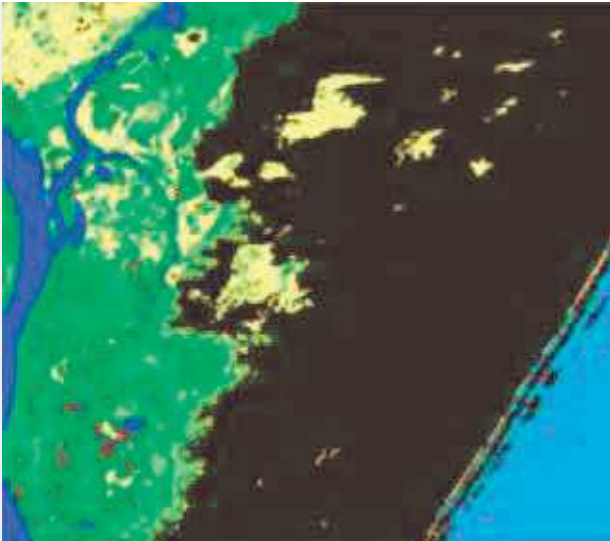
O Quadro 1 traz, na primeira coluna, amstras do conjunto original de dados na compo-

ção R8G3B2, em que a vegetação (Infravermelho ou banda 8) é refletida no canal vermelho. Na segunda coluna, encontra-se a classificação resultante do processamento K-means a partir do conjunto original dos dados (B2, B3, B4, B8) e na terceira, aquela feita pelos dois primeiros componentes principais, com as classes representadas de acordo com a legenda da Figura 13.

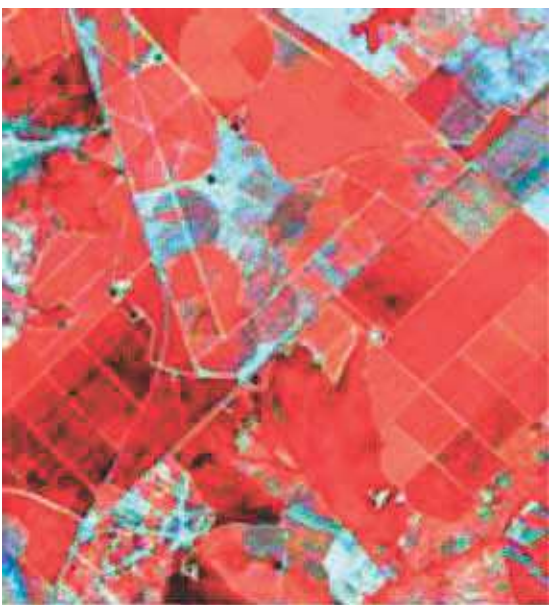
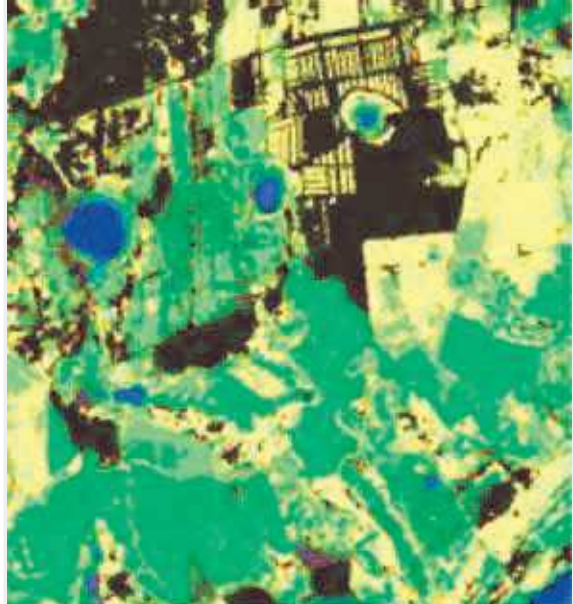
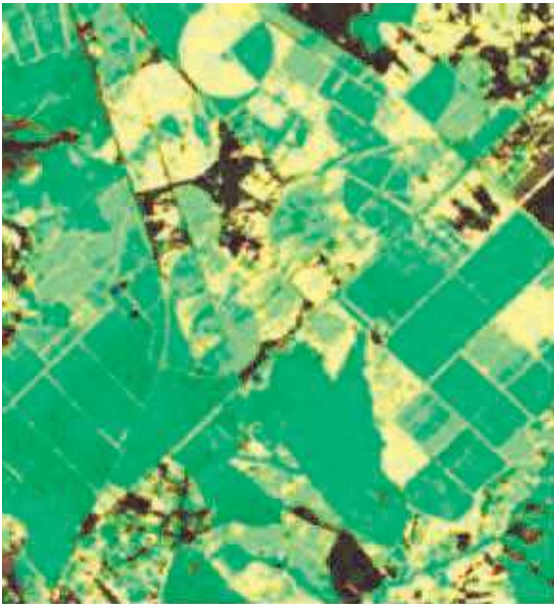
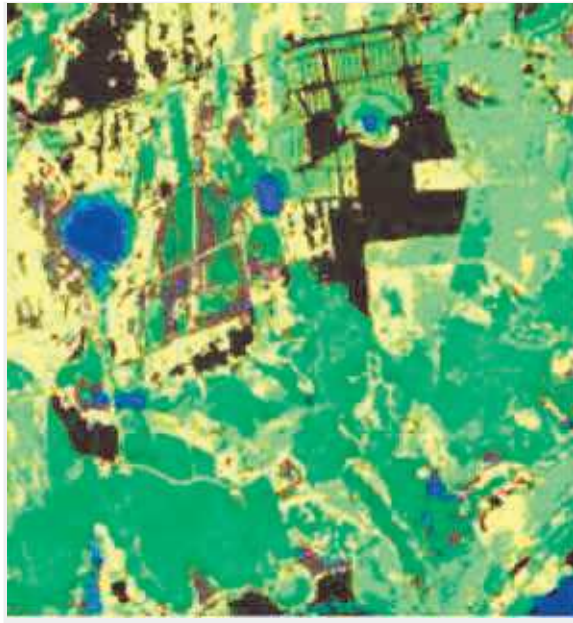
Apesar de uma boa parte da região de estudo ter tido sua vegetação nativa devastada ao longo das décadas, desde os primórdios de ocupação do país, ainda existem remanescentes (Mata Atlântica - Quadro1-L) e áreas passíveis de serem recuperadas (Quadro1-K), como APP hídricas ou matas ciliares, cuja ausência culmina com um maior assoreamento dos corpos hídricos, diminuindo a quantidade e qualidade desse recurso.

Outro fato constatado na área foi a degradação do solo pela prática de mineração (Quadro1-M), sobretudo de argila, atividade que provavelmente não possui um zoneamento definido por parte dos órgãos públicos de licenciamento para garantir a sustentabilidade dos ecossistemas locais e evitar conflitos de uso

Quadro 1 – Amostras com resultado da classificação não supervisionada

ID	Cena orbital composição R8G3B2	Imagem processada K-means Bandas 2,3,4,8 (10m)	Imagem processada K-means ACP – 2 primeiros Componentes
A			
	Corpos hídricos /área de pastagem degradada e solo exposto		
B			
	Corpos hídricos / área de mangue/ viveiros de camarão/ dunas / sedimentos costeiro		





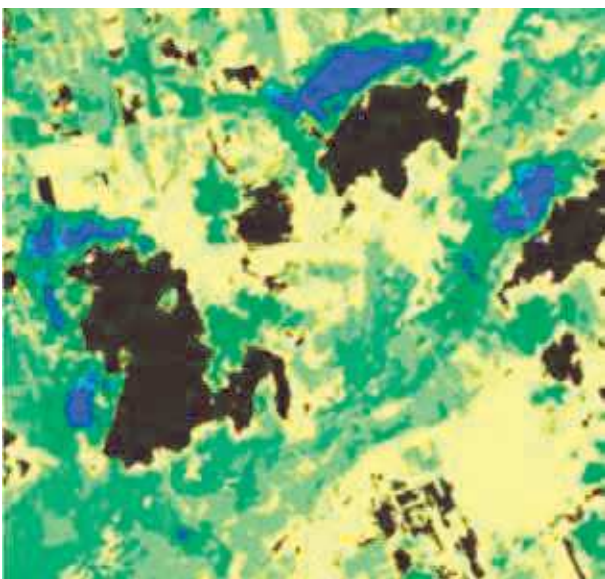
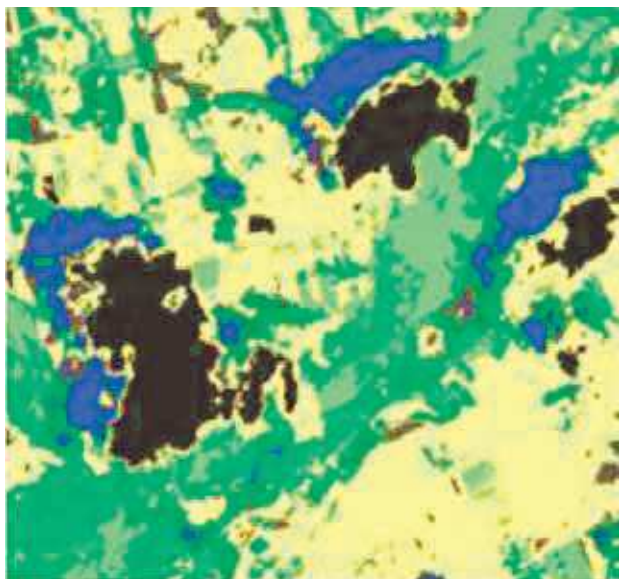
C

Cultivo irrigado fase alta/ mancha de vegetação nativa com textura rugosa

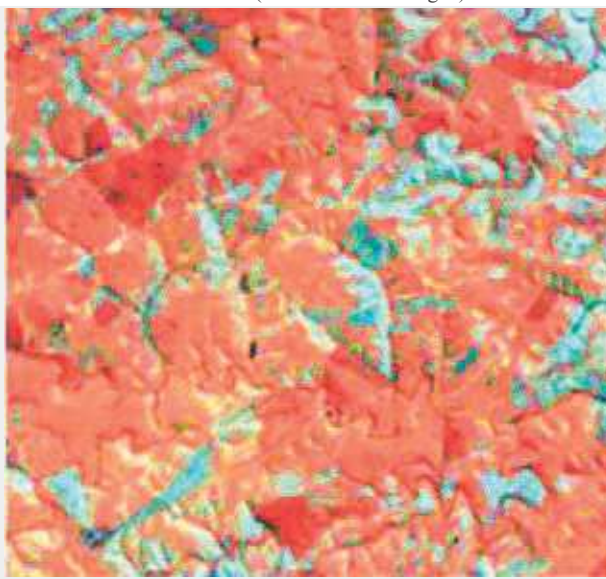
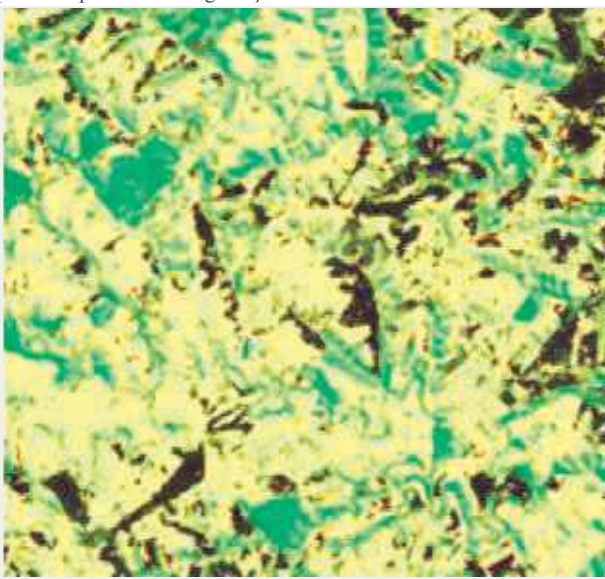
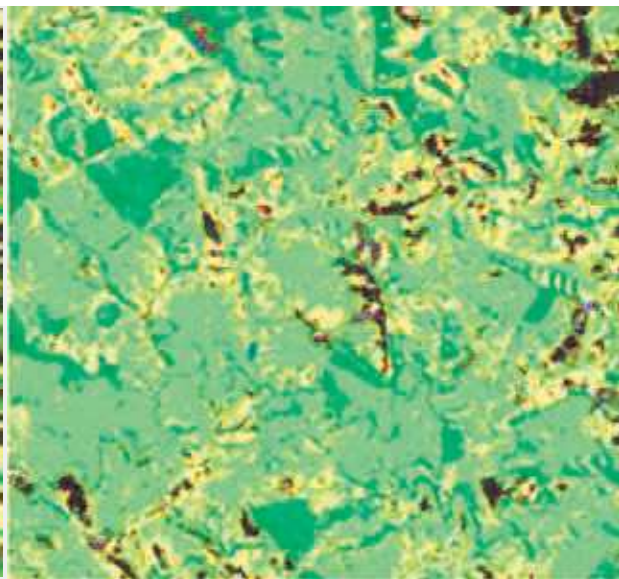
D

Vegetação nativa com textura rugosa / corpos d'água/ cultivo irrigado com muito sedimento





Nuvens e sombra de nuvens (classificada como água)/ ao fundo solo exposto em processo de degradação

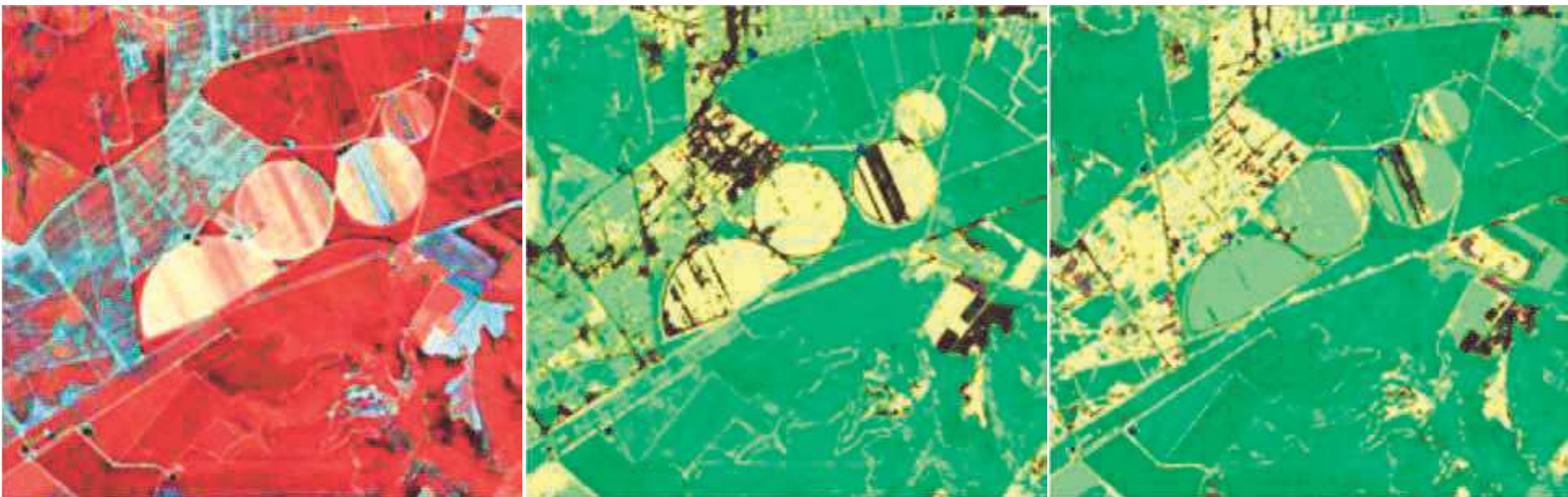


Área de gramínea (pastagens) com poucas manchas de vegetação nativa e solo exposto – nota-se que a segunda classificação agrupou melhor a pastagem em estágio intermediário de conservação

E

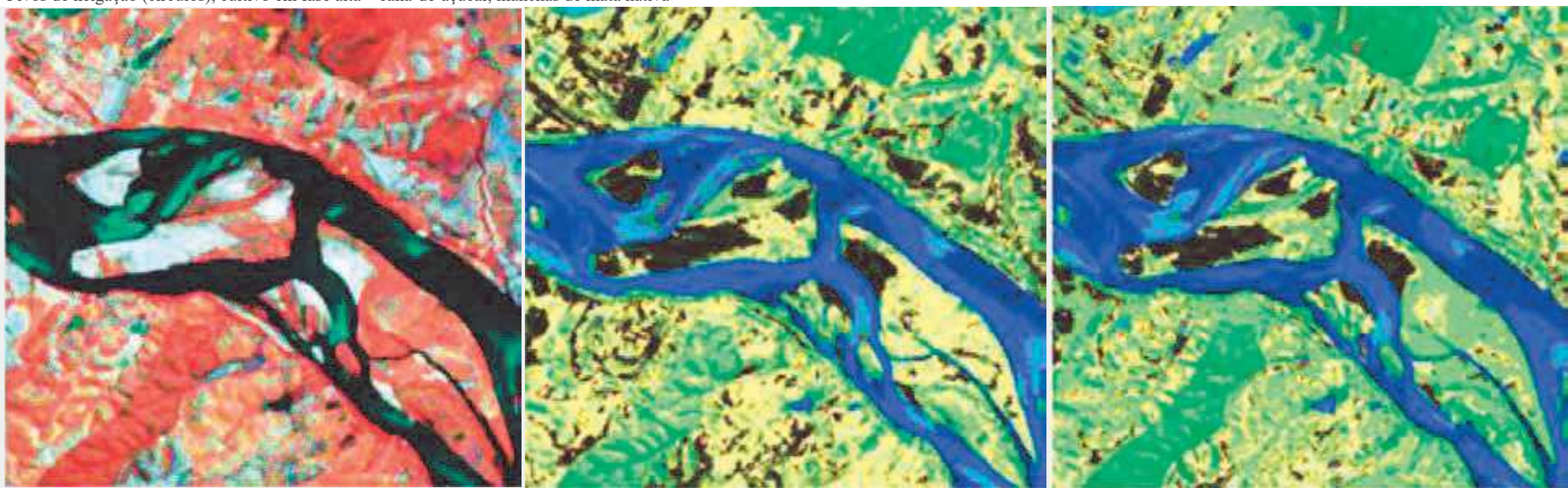
F





G

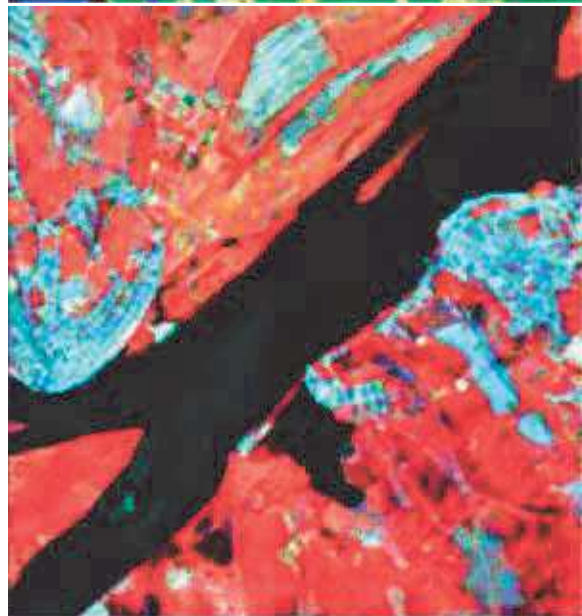
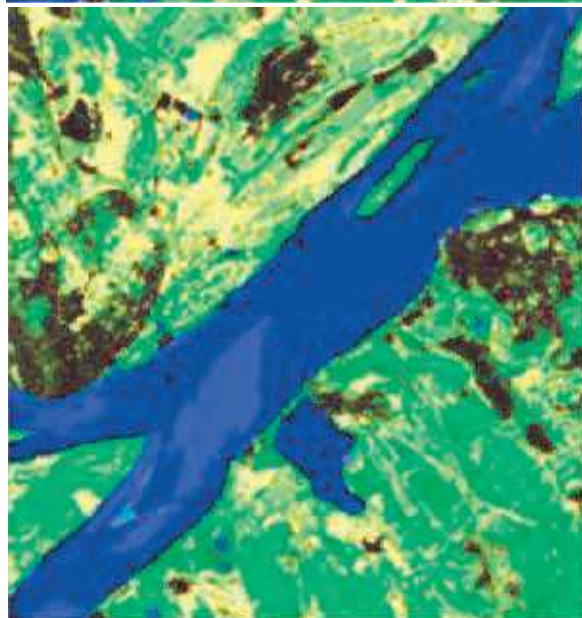
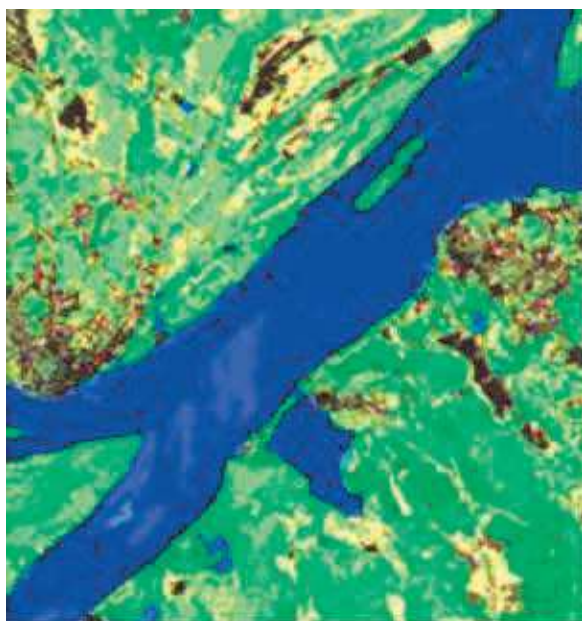
Pivos de irrigação (círculos), cultivo em fase alta – cana-de-açúcar, manchas de mata nativa



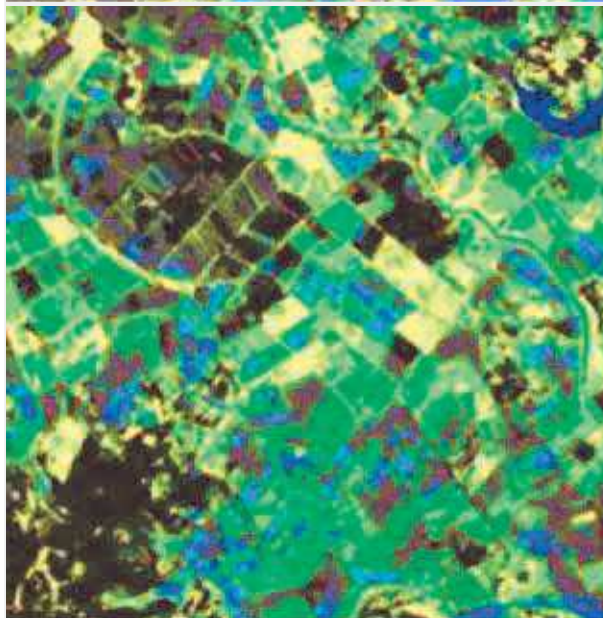
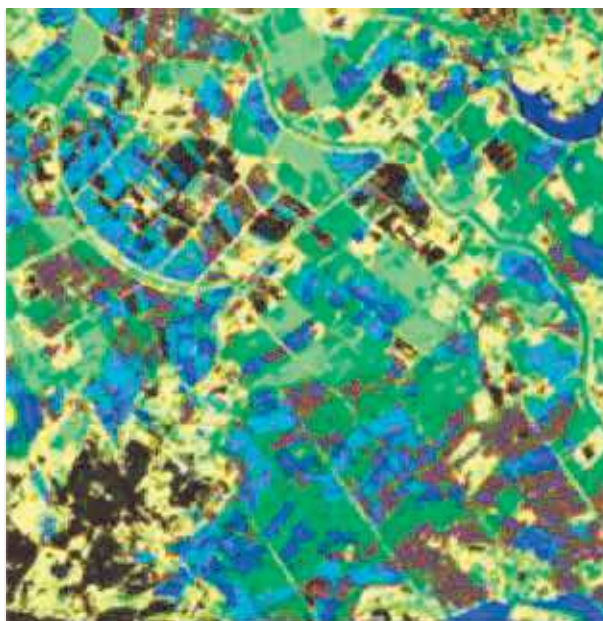
H

Canal do rio São Francisco sem APP (Área de Proteção Permanente) e com alto grau de assoreamento





Canal do rio São Francisco com área urbana formando APP

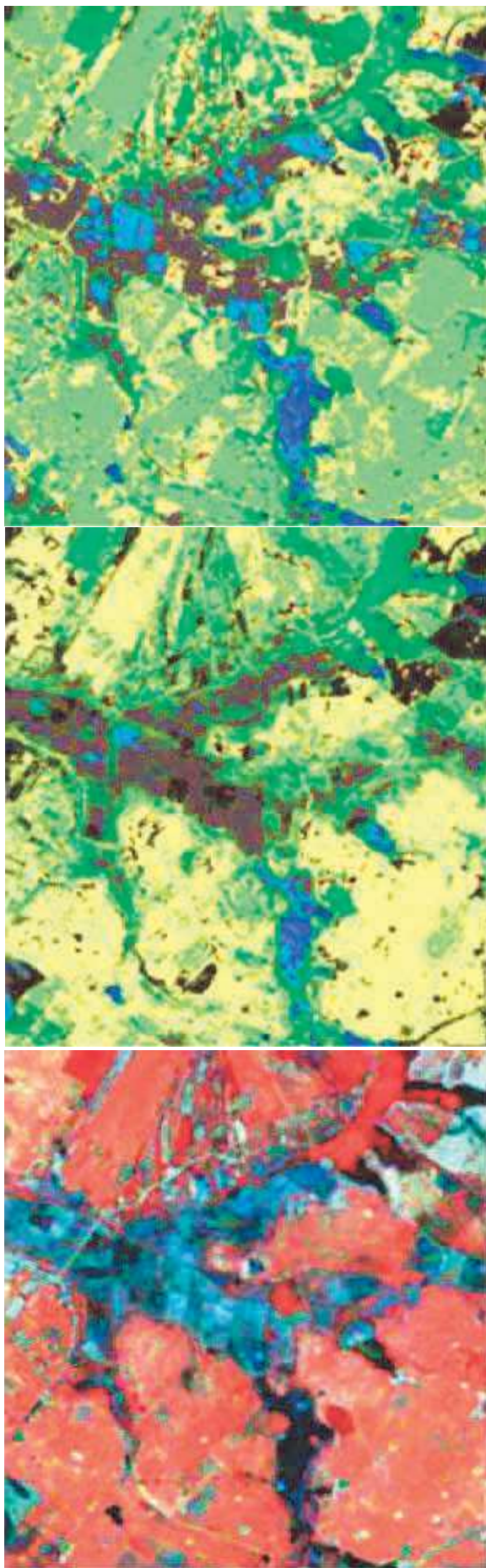


Área de cultivo de arroz e tanques de piscicultura, água com muito sedimento

I

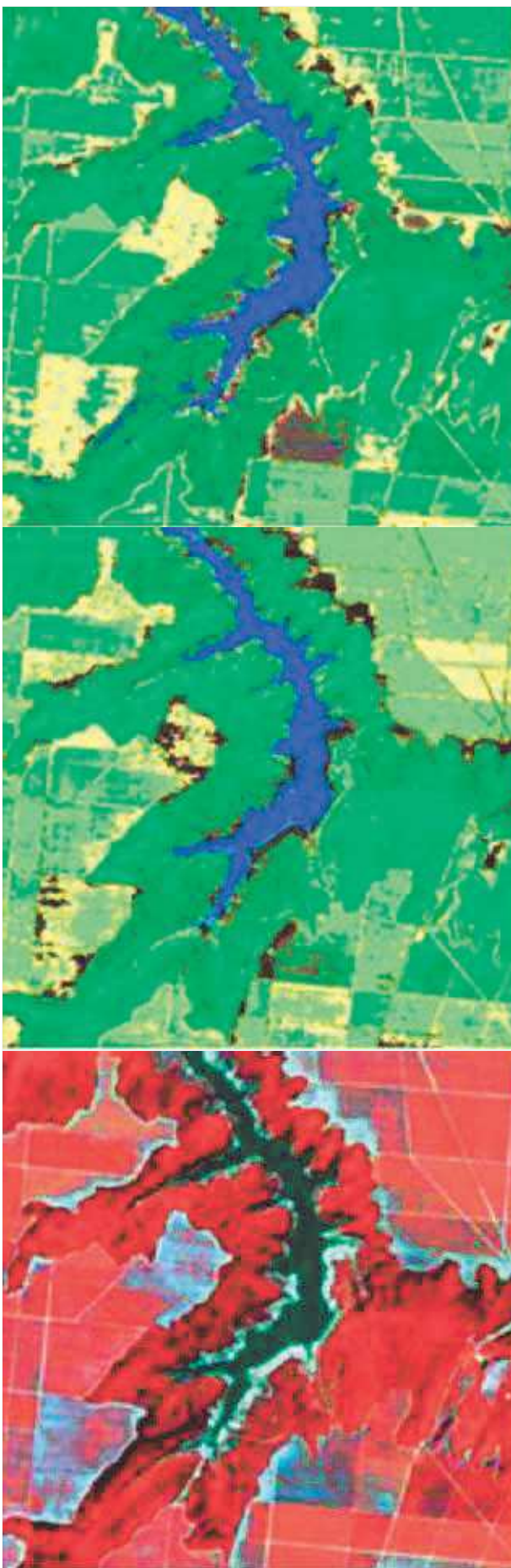
J





Área de cultivo de arroz (água com sedimento) e área de pastagem sadia e degradada

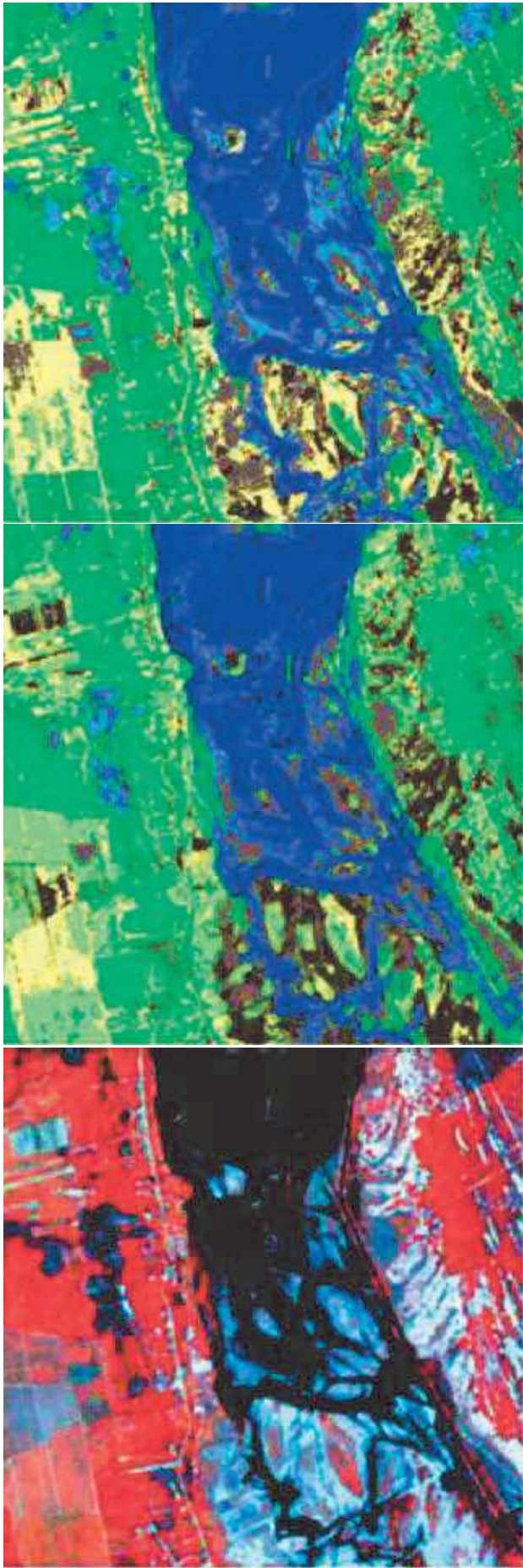
K



Corpo hídrico com APP preservada/ cultivos temporários no entorno

L





Área degradada por mineração de argila

M



Nota-se a ocorrência dos tanques de criação de peixes próximos da área produção de arroz e, muitas vezes, se sobrepondo a eles. Dentre os conflitos ambientais que têm ganhado notoriedade, a maioria está relacionada ao uso da água. Conforme discutido anteriormente, desde a década de 1970, inúmeras barragens foram construídas ao longo do rio São Francisco, e mais recentemente, a transposição de suas águas, sem a consideração dos efeitos à jusante. Tal fato, somado à retirada indiscriminada de matas nativas, sobretudo das matas ciliares (APP hídricas) possuem como consequência o assoreamento dos corpos hídricos, diminuindo a quantidade e qualidade da água continental superficial.

A salinização das águas já se tornou uma dura realidade imposta aos ribeirinhos e pescadores na parte baixa da bacia do São Francisco e corroboradas por pesquisas, como a de Gonçalves (2016) que identificou, no período de 1927 a 2015, em Penedo-AL (Estação 49740000), que as cotas máximas e os episódios de cheias vêm diminuindo e o pH aumentando, evidenciando o processo de salinização. A diminuição da vazão do rio e avanço da água do mar trazem danos irreparáveis ao abastecimento hídrico da população, às atividades agropecuárias e aos solos, tornando-os improdutivos.

### 4.3 Análise das águas em pisciculturas na Região do Baixo São Francisco

A partir da análise dos dados de produção de peixes e de arroz na Região do Baixo São Fran-

cisco, é possível notar uma grande proximidade e até sobreposição entre as práticas, uma vez que é muito comum o consórcio do cultivo de arroz com a criação de peixes, portanto, há o compartilhamento dos mesmos canais de drenagem ou córregos para acesso ao recurso hídrico. A opção pela produção de arroz ou pela criação de peixe se dá mediante o retorno financeiro ditado pelo mercado.

Segundo Rabelo et al. (2013), poucos orizicultores utilizam agrotóxicos seguindo critérios técnicos. Sua aplicação é feita com pulverizador costal manual, em que a dose nem sempre é calculada e o momento certo da aplicação é desconsiderado, ocasionando excessos. Embora a Resolução n. 357 do Conama (BRASIL, 2005) não determine limites de piretroide em nenhuma classe de águas, existe uma referência canadense, que indica que a concentração de deltametrina para não comprometer os organismos aquáticos de água doce é de 0,0004 µg/L (CCREM, 1999).

A partir desta referência, constata-se que os resultados da análise das amostras de água nas dez pisciculturas (Figuras 15 a 17) entre Nov/2016 e Jan/2017, em três pontos dos afluentes do Rio São Francisco e nove canais de abastecimento das pisciculturas, indicou a presença da deltametrina acima do nível seguro para os recursos hídricos. Quanto à cipermetrina não é possível afirmar se a sua concentração está dentro dos padrões permitidos em corpos hídricos, pela falta de referências.

Figura 15 – Cultivo de arroz (A) e tanques destinados à criação de peixes



Figura 16 – Distribuição espacial das classes de concentração de Deltametrina ( $\mu\text{g/L}$ ), nos locais de coleta

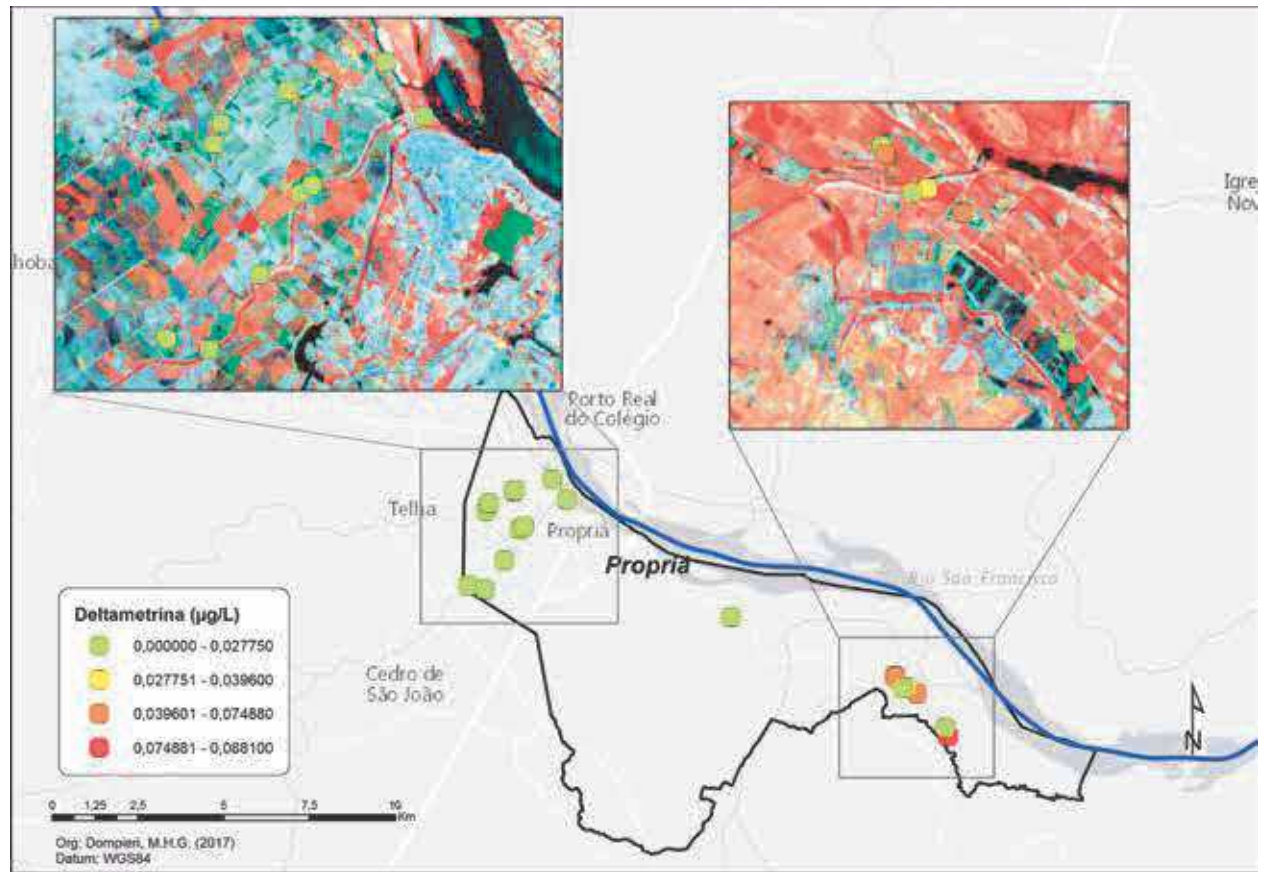
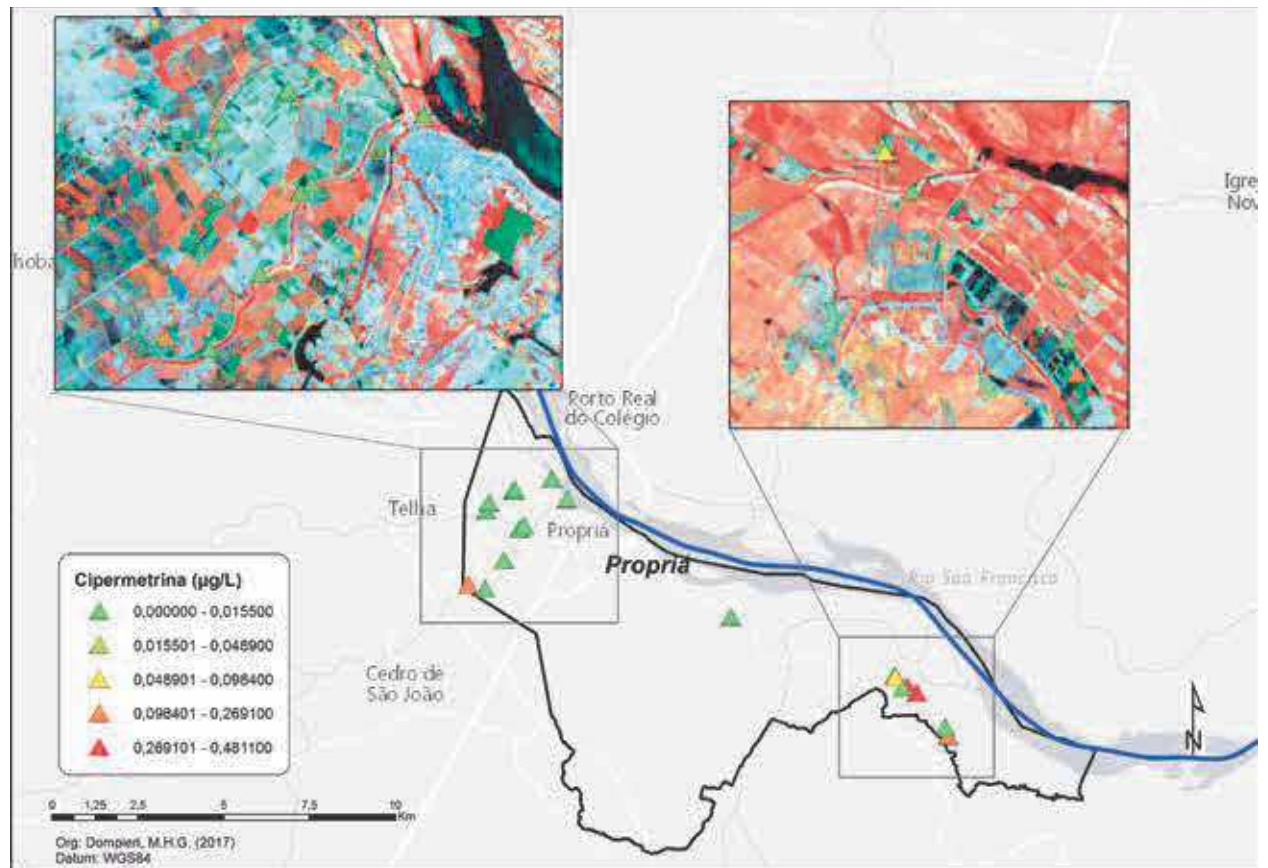


Figura 17 – Distribuição espacial das classes de concentração de Cipermetrina ( $\mu\text{g/L}$ ), nos locais de coleta



Embora possuam baixa toxicidade aos mamíferos e aves quando comparados a outros inseticidas, estudos comprovam que os piretroides são altamente tóxicos aos organismos aquáticos e alguns insetos não alvos, como as abelhas – responsáveis pela polinização na agricultura. A literatura indica que os piretroides causam alterações endógenas (disfunção hepática), comportamentais (alterações no sistema nervoso central) e hematológicas (por conta do estresse) nos peixes, repercutindo na cadeia reprodutiva (BORGES, 2005; CENGIS et al., 2006; CUNHA et al. 2017; PIMPÃO et al., 2007; SANTOS et al. 2007; SELVI, 2008).

Torna-se necessário o aprofundamento de estudos sobre os efeitos dessas substâncias na cadeia produtiva piscícola e sobre a saúde da população consumidora, assim como a regulamentação e fiscalização do seu uso por parte de órgãos de controle. Da mesma forma, os resíduos advindos dos viveiros de peixes e camarões, como matéria orgânica e outros compostos químicos e antibióticos, também necessitam de controle, tratamento e orientação para evitar o comprometimento dos sistemas ambientais.

## 5 CONCLUSÕES

Dentre os métodos de análise empregados, constatou-se resultados mais eficientes, quanto à separabilidade de classes e tempo de processamento, a partir do emprego das técnicas multivariadas ACP e K-means. Quanto aos resultados obtidos, concluiu-se:

- i. Uma considerável proporção da área mapeada (cerca de 50%) foi classificada como solo exposto, pastagens degradadas ou em processo de degradação, fato que também contribui para a alta concentração de sedimentos em suspensão nos corpos d'água, além do processo natural de carreamento de sedimentos fluviais;
- ii. A região destinada à produção de cana-de-açúcar, concentrada nos municípios de Penedo, Igreja Nova e Feliz Deserto (AL), apresentou Áreas de Proteção Ambiental (APP), no entorno dos corpos d'água, bastante preservadas. Situação não observada nos demais casos de uso da terra;

- iii. Assim como a aquicultura, a rizicultura também é dependente dos recursos hídricos e, portanto, compartilham historicamente das mesmas áreas de produção no Baixo São Francisco. A decisão de produzir um ou outro item é ditada pelo retorno financeiro aos produtores. Áreas com cultivo de arroz podem se transformar rapidamente em tanques de criação de peixes e vice-versa. Tais constatações podem embasar futuros estudos quanto à investigação de concentrações aceitáveis de piretroides (deltametrina), uma vez que o cenário atual mostra valores acima dos limites estabelecidos por normas internacionais pesquisadas. Tais estudos devem ser embasados por um robusto plano de amostragem, não somente no tocante à qualidade da água, mas também quanto às consequências para as pisciculturas e saúde da população, visando subsidiar normatizações nacionais e orientações técnicas aos orizicultores.

## REFERÊNCIAS

- ABDI. H.; WILLIAMS, L. J. Principal component analysis. Wiley Interdisciplinary Reviews: **Computational Statistics**, s/n, 2, p. 433-59, 2010.
- ANA - AGÊNCIA NACIONAL DAS ÁGUAS. HidroWeb – Sistema de Informações Hidrológicas. **Bacia do São Francisco**. Disponível em: <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/> Acesso em: 13 ago. 2017.
- BORGES, A. **Valores hematológicos e bioquímicos séricos, efeitos de doses subletais da cipermetrina e características físico-químicas do sêmem do Jundiá Rhamdia quelen**. Porto Alegre, 2005. 175 f. Tese (Doutorado em Ciências Biológicas) - Universidade Federal do Rio Grande do Sul, 2005.



BRASIL. Ministério do Meio Ambiente. Conselho Nacional do Meio Ambiente (Conama). **Resolução n. 357**, de 17 de março de 2005. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Diário Oficial da União, Brasília, DF, 2005. Disponível em: <http://www.mma.gov.br/port/conama/res/res05/res35705.pdf>. Acesso em: 19 jun. 2017.

CCREM - CANADIAN COUNCIL OF RESOURCE AND ENVIRONMENT MINISTERS **Canadian water quality guidelines: updates: arsenic, bromacil, carbaryl, chlorpyrifos, deltamethin, and glycols**. Appendix 23, 1999

CENGIZ, E. I.; UNLU, E. Sublethal effects of commercial deltamethrin on the structure of the gill, liver and gut tissues of mosquitofish, *Gambusia affinis*: A microscopic study. **Environmental Toxicology and Pharmacology**, n. 21, p. 246- 53, 2006.

CODEVASF - COMPANHIA DE DESENVOLVIMENTO DOS VALES DO SÃO FRANCISCO E PARNAÍBA. **Piscicultura no vale do São Francisco**. Brasília: CODEVASF, 1985.

CUNHA, F. S.; SOUZA, R. M.; MENESES, J. O.; LIMA, B. S.; CARVALHO, Y. M. B.; ARAÚJO, A. A. S.; SENA FILHO, J. G.; DOMPIERI, M. H. G.; MARIA, A. N.; CARNEIRO, P. C. F.; FUJIMOTO, R. Y. **Análise de piretroides em corpos d'água da região do Baixo São Francisco: incentivo à formulação de políticas públicas**. Aracaju: Embrapa Tabuleiros Costeiros (Documentos, 213), 2017, 15p.

DNPM - DEPARTAMENTO NACIONAL DE PRODUÇÃO MINERAL. **SIGMINE**. Disponível em: <http://sigmine.dnpm.gov.br/webmap> Acesso em: 13 ago. 2017.

ENVI Tutorials – Harris Geospatial Solutions, 2017. Disponível em: <http://www.harrisgeospatial.com/Support/SelfHelpTools/Tutorials.aspx> Acesso em: 5 ago. 2017.

ESA - EUROPEAN SPATIAL AGENCY. User Guides. **Spatial Resolution**. Disponível em: <https://earth.esa.int/web/sentinel/user-guides/sentinel-2-msi/resolutions/spatial>. Acesso em: 5 jul. 2017.

ESQUERDO, J. C. D. M; PARIZZI, T. N. T.; COUTINHO, A. C; ANTUNES, J. F. G.; BERTOLO, L. S. Dinâmica do uso e cobertura da terra na mesorregião nordeste mato-grossense. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 18, Santos, SP: **Anais...**, 2017. Disponível em: <https://proceedings.galoa.com.br/sbsr>. Acesso em: 28 jul. 2017.

ESTEVES, J. C. B. **Desenvolvimento rural e subdesenvolvimento econômico no Baixo São Francisco Sergipano**. São Cristóvão, 2012. 107f. Dissertação (Mestrado Profissional em Desenvolvimento Regional e Gestão de Empreendimentos Locais). Universidade Federal de Sergipe, 2012.

ESTORNELL, J., MARTÍ-GAVILÁ, J.M, SEVASTIÁ, T.; MENGUAL, J. Principal component analysis applied to remote sensing. **Modelling in Science Education and Learning**. v. 6, n. 7, 2013, p. 83-89.

FREIRE, R. R. Integridade ambiental de corpos d'água: degradação ambiental, funções ecossistêmicas e perda de serviços ecossistêmicos no baixo São Francisco. **Revista Eletrônica de Gestão e Tecnologias Ambientais**, v. 2, n. 1, 2014

GONÇALVES, M.J. S. Avaliação do impacto ambiental da redução de vazão na foz do rio São Francisco. In: Simpósio da Bacia Hidrográfica do Rio São Francisco, 1, Juazeiro, BA. **Anais ...**, 2016.



IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção agrícola municipal - área plantada ou destinada à colheita, área colhida, quantidade produzida, rendimento médio e valor da produção das lavouras temporárias e permanentes.** Rio de Janeiro. Sistema IBGE de recuperação automática, SIDRA. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 25 ago. 2017a.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Bases e referenciais. Bases cartográficas. Malhas digitais.** Municipal. Rio de Janeiro. Disponível em <https://mapas.ibge.gov.br/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais.html> Acesso em: 10 ago. 2017b.

IBGE - INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. **Produção pecuária municipal - produção da aquicultura, por tipo de produto.** Rio de Janeiro. Sistema IBGE de recuperação automática, SIDRA. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br>. Acesso em: 25 ago. 2017c.

JENSEN, J. R. **Sensoriamento remoto do ambiente: uma perspectiva em recursos terrestres.** Tradução de José Carlos Neves Epiphânio (coordenador)... [et al.] São José dos Campos, SP: Parêntese, 2009.

LI, J.; FAN, K.; ZHOU, L. Satellite observations of El Niño impacts on Eurasian spring vegetation greenness during the period 1982-2015. **Remote Sensing**, n. 9, p. 628, 2017.

LINDEN, R. Técnicas de agrupamento. **Revista de Sistemas de Informação da FSMA**, n. 4, p. 18-36, 2009.

LIU, H.; LI, Q.; SHI, T.; HU, S.; WU, G.; ZHOU, Q. Application of sentinel 2 MSI images to retrieve suspended particulate matter concentrations in Poyang Lake. **Remote Sensing**, n. 9, p. 761, 2017.

LIU, J. G.; MASON, P. J. **Essential image processing and GIS for remote sensing**, Wiley-Blackwell:Chichester, UK, 2009, 437 p.

MACQUEEN J. B. Some Methods for classification and Analysis of Multivariate Observations. In: 5-th Berkeley Symposium on Mathematical Statistics and Probability., **Proceedings** .... Berkeley, University of California Press, 1:281-97, 1967.

MARTINS, D. M. F.; CHAGAS R.M.; MELO NETO, J. O.; MÉLLO JÚNIOR, A.V. Impactos da construção da usina hidrelétrica de Sobradinho no regime de vazões no Baixo São Francisco. **Revista brasileira de engenharia agrícola e ambiental**, Campina Grande, v. 15, n. 10, p. 1054-1061, Oct. 2011. Disponível em: <http://www.scielo.br/scielo>” [http://www.scielo.br/scielo.php?Script=sci\\_arttext&pid=S1415-43662011001000010&lng=en&nrm=iso](http://www.scielo.br/scielo.php?Script=sci_arttext&pid=S1415-43662011001000010&lng=en&nrm=iso). Acesso em: 1 set. 2017.

MEDEIROS, P. R. P.; SANTOS, M. M.; CAVALCANTE, G. H.; SOUZA W. F. L., SILVA, W. F. Características ambientais do Baixo São Francisco (AL/SE): efeitos de barragens no transporte de materiais na interface continente-oceano. **Geochimica Brasiliensis**. v. 28, n. 1. p. 65-78, 2014.

NITZE, I.; GROSSE, G.; JONES, B. M.; ARP, C. D.; ULRICH, M.; FEDOROV, A.; VEREMEEVA, A. Landsat-based trend analysis of lake dynamics across northern permafrost regions. **Remote Sensing**. n. 9, p. 640, 2017.

PEARSON, K. On lines and planes of closest fit to systems of points in space. **Philosophical Magazine**, v. 2, n. 6, p. 559-72, 1901.

PIMPÃO, C. T.; ZAMPRONIO, A. R.; SILVA DE ASSIS, H. C. Effects of deltamethrin on hematological parameters and enzymatic activity in *Ancistrus multispinis* (Pisces, Teleostei). **Pesticide Biochemistry and Physiology**, v. 88, p. 122-27, 2007

RABELO, R. R., SANTOS, A. L. C., SILVA, B. C.; FREIRE, J. B. **Cadeia produtiva rizícola do Baixo São Francisco: antecedentes, situação atual, perspectivas e atuação de alguns componentes.** Brasília, DF: Embrapa Embrapa Arroz e Feijão (Documentos), 2013, 27 p.

SANTOS, M. A. T.; AREAS, M. A.; REYES, F. G. R. Piretroides - uma visão geral. **Alimentos e Nutrição**, Araraquara, v. 18, n. 3, p. 339-49, 2007.

SELVI, M.; SARIKAYA, R.; ERKOÇ, F.; KOÇAK, O. Acute toxicity of the cyfluthrin pesticide on guppy fish. **Environmental Chemistry Letters**, 2008.

USGS. United States Geological Survey. Earth Explorer – **Landsat e Sentinel Images**. Disponível em: <https://earthexplorer.usgs.gov>. Acesso em: ago. 2017.