

Técnicas de sensoriamento remoto para análise temporal do espelho d'água da Lagoa Grande na cidade de Sete Lagoas – MG**Remote sensing techniques for temporal analysis of the Lagoa Grande water mirror in the city of Sete Lagoas – MG**

Fernanda Mara Coelho Pizani
Universidade Federal de Minas Gerais
fm.coelho@yahoo.com.br

Max Paulo Rocha Pereira
Universidade Federal de Minas Gerais
mqualidadeambiental@gmail.com

Matheus Miranda da Silva
Centro Universitário Una- Unidade Sete Lagoas
matheusmirandadasilva@hotmail.com

Marcos Antônio Timbó Elmiro
Universidade Federal de Minas Gerais
timboelmiro@gmail.com

RESUMO

Nos últimos anos, muitos estudos têm sido desenvolvidos abordando as pressões que os corpos hídricos vêm sofrendo frente à urbanização, industrialização e demais usos que impactam direta e indiretamente a qualidade desses recursos naturais. As superfícies lacustres exercem importante papel na qualidade ambiental de áreas urbanas e periurbanas. O município de Sete Lagoas é caracterizado pela baixa disponibilidade de água superficial, logo o consumo urbano (residencial, industrial e demais usos) é obtido, quase em sua totalidade (cerca de 95%), de poços subterrâneos. As áreas de recarga hídrica são de extrema importância para manutenção dessa captação de água. A Lagoa Grande se apresenta como um corpo lacustre perene que vem mostrando uma diminuição do seu espelho d'água nos últimos dez anos, agravando-se expressivamente nos últimos cinco anos. Este trabalho tem por objetivo demonstrar tal redução utilizando recursos de sensoriamento remoto aliados a análises estatísticas, de forma a explorar o potencial dessas ferramentas no monitoramento de variáveis ambientais. Os resultados obtidos por meio das imagens de sensoriamento remoto mostraram-se eficientes na detecção da diminuição do espelho d'água da Lagoa Grande. Identificou-se, no período analisado (2008 a 2018), uma significativa redução da área da Lagoa Grande em relação às demais lagoas componentes do estudo (cerca de 81% de decréscimo do espelho d'água).

Palavras-chave: Sensoriamento remoto, geotecnologia, análise espaço-temporal, recurso hídrico.

ABSTRACT

In recent years, many studies have been developed on the pressures that water bodies have been suffering due to urbanization, industrialization and other uses that directly and indirectly impact the quality of these natural resources. The lake surfaces play an important role in the environmental quality of urban areas and neighborhoods. The municipality of Sete Lagoas is characterized by low availability of surface water, so urban water consumption (residential, industrial and other uses) is obtained almost entirely (about 95%) from underground wells. Water recharge areas are extremely important for maintaining this water extraction. Lagoa Grande is a perennial lake body that has had a decrease in its water mirror in the last ten years, worsening significantly in the last five years. This work aims to demonstrate such reduction using remote sensing resources combined with statistical analysis, in order to explore the potential of these methodologies in monitoring environmental variables. The results obtained by application of remote sensing images proved to be efficient in detecting the decrease of water mirror in Lagoa Grande. During the study period (2008 to 2018), a significant reduction in the area of Lagoa Grande was identified in comparison with the other lagoons that compose the study (decrease of the water mirror in the order of 81%).

Keywords: Remote sensing, geotechnology, spatio-temporal analysis, water resource.

Introdução

As superfícies lacustres exercem importante papel na qualidade ambiental de áreas urbanas e periurbanas. No contexto urbano esses ecossistemas sofrem fortemente as consequências das ações antrópicas, sendo direta e indiretamente afetados pelos efeitos indesejáveis de várias atividades humanas como os lançamento de efluentes domiciliares e industriais, ocupação desordenada do entorno, depósito de resíduos sólidos dentre outras práticas que podem influenciar negativamente tanto na qualidade como na quantidade de água presente nestes ambientes (SOUZA e AZEVEDO, 2020).

Dessa forma rios, zonas costeiras, lagos e lagoas estão susceptíveis a sofrer os impactos advindos da urbanização, guardando se as características que os distinguem e os tornam mais ou menos vulneráveis. Sobre essas peculiaridades, Novo e Tundisi (1988) ressaltam que nos rios as águas são constantemente renovadas, já as águas dos lagos e lagoas têm uma longa permanência, tornando-se sujeitos a processos bióticos e abióticos internos os quais levam à acumulação de substâncias de modo diferente do que ocorre nos rios.

Sete Lagoas é um município mineiro com expressiva relevância econômica industrial, sendo que sua industrialização se inicia com a implantação de um polo siderúrgico

na década de 1950 que ao longo do tempo possibilita sua consolidação como centralidade de uma microrregião composta por 20 municípios do seu entorno, apresentando até as últimas décadas analisadas (2000 a 2010) o maior crescimento econômico e demográficos de sua respectiva microrregião (NOGUEIRA, 2005; RIBEIRO *et al.*, 2013, IBGE, 2012).

A partir dos anos 1990, com o declínio do setor siderúrgico, houve uma diversificação das atividades industriais, marcada pela instalação de unidades nas áreas automobilísticas e de suprimentos, consolidando a condição de centralidade deste município (NOGUEIRA, 2005).

Acompanhando as tendências populacionais, a área urbana do município também aumentou nas últimas décadas. Este crescimento direcionou-se à porção leste do município na década de 1950, junto à chegada da siderurgia, passando a ser orientada para região norte da cidade, nas décadas de 1970 e 1980. A implantação de grandes empresas e conjuntos habitacionais contribuíram para a aceleração da ocupação do espaço a nordeste do município, que se tornou o grande eixo de expansão urbana nos últimos anos (LANDAU; OLIVEIRA; GUIMARÃES, 2011).

Carregando em seu nome uma das suas principais identidades, a presença das lagoas tem sua ocorrência fortemente explicada pela localização do município que, em sua maior parte, está sobre as estruturas metassedimentares do Grupo Bambuí e Macaúbas, formando uma grande região cárstica (NOGUEIRA, 2005). Essas características implicam em uma baixa disponibilidade de água superficial na região fazendo com que o consumo residencial, industrial, além de outros, seja quase totalmente dependente de fontes subterrâneas. Neste cenário, as áreas de recargas hídricas e sua conservação são de grande importância para manutenção dessa captação a partir de fontes subterrâneas.

Dentre os muitos representantes do sistema lacustre no município, destaca-se a Lagoa Grande, situada a norte/nordeste do município. Trata-se de uma lagoa perene, alimentada exclusivamente pelo escoamento superficial, sofrendo variações sazonais do seu nível de água (BERBERT-BORN, 1998). A localização na porção norte do município submete a lagoa a pressões decorrentes da vetorização da expansão urbana nessa região e da implantação de empreendimentos de grande porte, como as fábricas das multinacionais IVECO e AMBEV.

Na perspectiva de avaliar os impactos desse processo de urbanização/industrialização sobre os corpos lacustres presentes no município, várias metodologias se apresentam. Neste artigo o destaque foi dado para o potencial das

geotecnologias em auxiliar na caracterização e no controle ambiental, uma vez que os produtos advindos de suas técnicas e ferramentas possibilitam a identificação de padrões e variações na forma e na estrutura de expressões espaciais diversas, possibilitando ainda o alinhamento de dados físicos e socioeconômicos dentre outros que colaboram com a interpretação dos fenômenos espaciais e podem subsidiar a tomada de decisão (AQUINO e VALLADARES, 2013).

Dentre as geotecnologias disponíveis as imagens orbitais adquiridas por diferentes tipos de sensores carregados a bordo de satélites se apresentam como uma importante ferramenta para avaliação e monitoramento dos componentes ambientais. Nas imagens óticas de satélites, por exemplo, as superfícies lacustres apresentam baixa refletância, permitindo uma fácil identificação e separação do seu padrão de ocorrência dos demais tipos de alvo, dependendo das bandas espectrais analisadas.

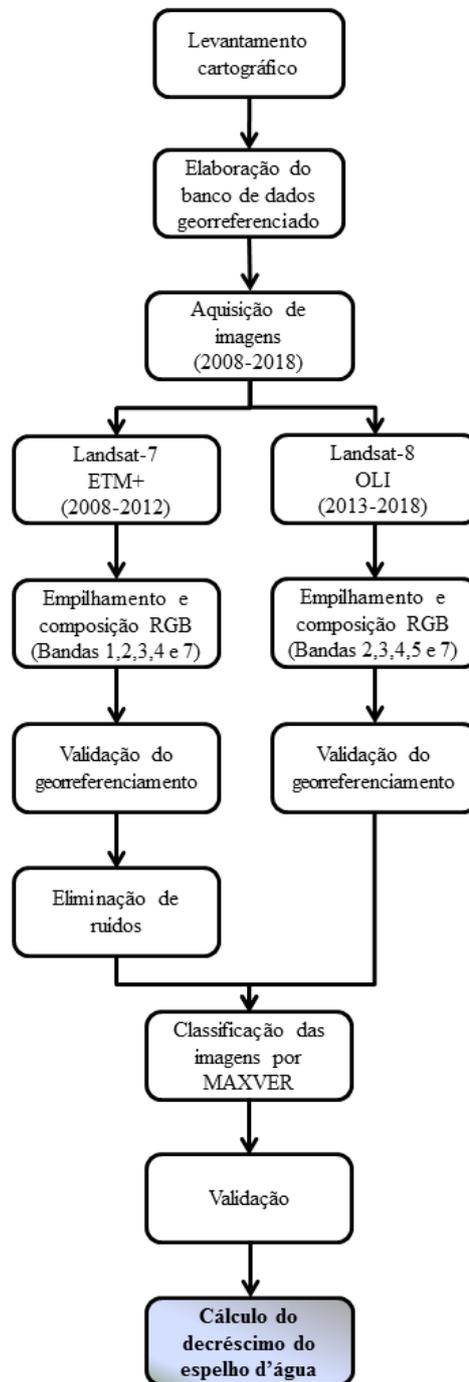
A aplicação de técnicas de sensoriamento remoto pode auxiliar na superação da limitação espaço-temporal apresentada pelos métodos tradicionais de monitoramento de reservatório e de outras características do corpo hídrico, uma vez que possibilita a tomada de informações em diferentes escalas espaciais e temporais, permitindo um acompanhamento do objeto em análise (PINTO *et al.*, 2014).

Assim, este trabalho tem como objetivo principal analisar a variação do espelho d'água de cinco dos sete corpos lacustres que dão nome ao município de Sete Lagoas a partir de técnicas e recursos de sensoriamento remoto com maior destaque maior para a Lagoa Grande que representa o maior corpo d'água submetido aos maiores impactos ao longo do tempo.

Metodologia

A metodologia do estudo consistiu em procedimentos para análise espacial da variação do espelho d'água de cinco corpos lacustres presentes no município de Sete Lagoas, MG com ênfase maior para a Lagoa Grande. Os procedimentos foram divididos em três etapas principais: 1) caracterização da área de estudo; 2) elaboração do banco de dados georreferenciado e; 3) processamento dos dados para efetivação do cálculo do decréscimo da área do espelho d'água nas lagoas pontuadas no estudo. Os procedimentos metodológicos são apresentados no fluxograma da Figura 1.

Figura 1 - Fluxograma das etapas metodológicas



Fonte: Elaborado pelos autores (2018)

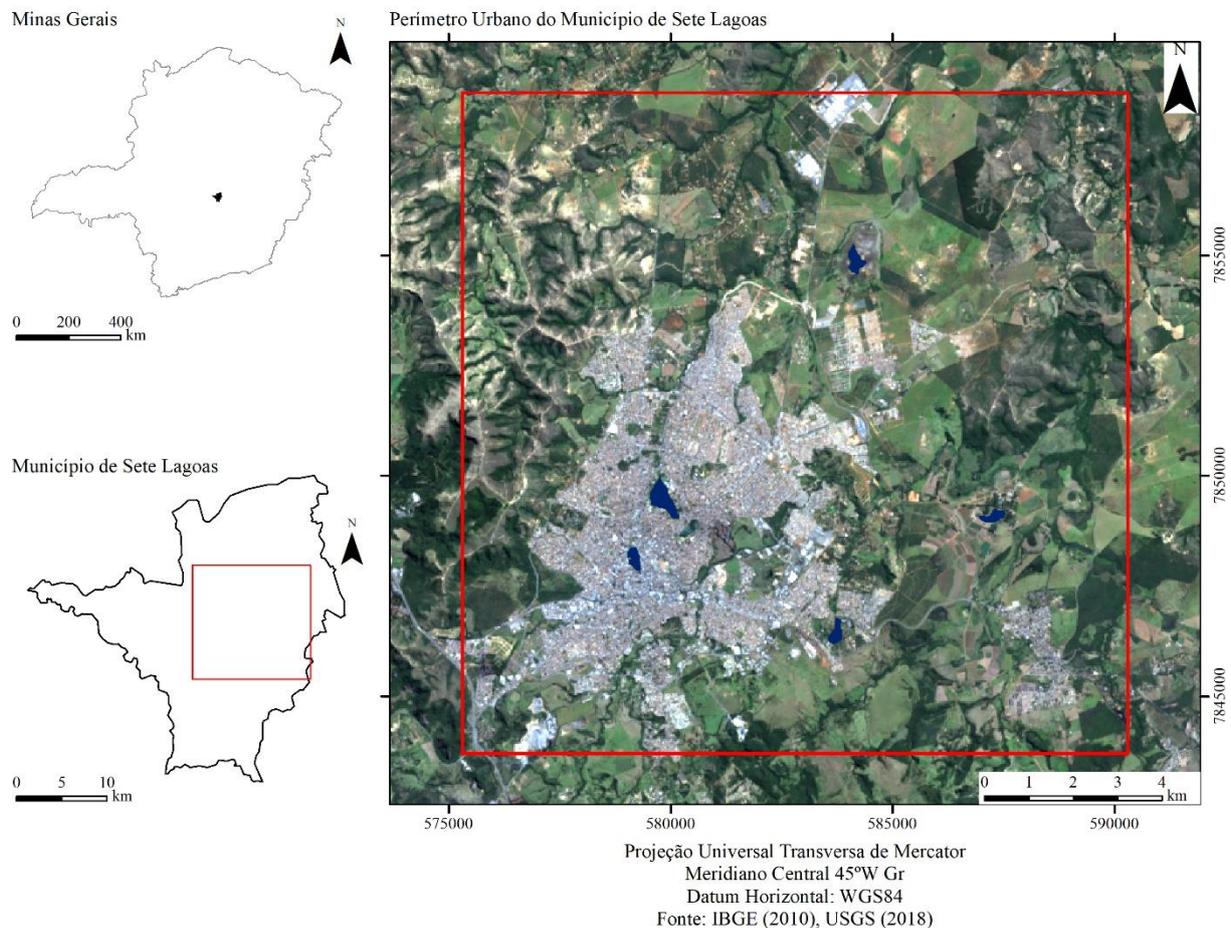
Caracterização da área de estudo

O município de Sete Lagoas localiza-se na Região Central do Estado de Minas Gerais, distando aproximadamente 70 km da capital mineira fazendo limites com os municípios de Esmeraldas, Capim Branco, Prudente de Moraes, Funilândia, Jequitibá, Araçá, Paraopeba e Inhaúma. O acesso à região é feito pelas rodovias BR-040 e MG-424.

A região está inserida no Cráton São Francisco e apresenta afloramento de sedimentos argilo-arenosos carbonatados do Grupo Bambuí na Bacia do São Francisco. A área territorial que compõe o município é produto de transgressões marinhas que ocorreram no Proterozoico Superior e cobriam extensas áreas do Cráton São Francisco, está dividida entre a Formação Sete Lagoas e a Formação Santa Helena. É marcada predominantemente pela presença do sistema cárstico que se apresenta como o relevo geológico caracterizado pela presença de rochas solúveis, ou seja, que possuem alta susceptibilidade ao intemperismo químico com baixa produção de resíduos insolúveis.

As lagoas presentes no município de Sete Lagoas possuem relevo cárstico e estão associadas à dolinas e/ou planícies rebaixadas (KARMANN, 2000). Possuem importante valor histórico e cultural sendo que duas das sete lagoas oficiais estão localizadas na região do hipercentro urbano e as demais estão distribuídas entre as regiões periféricas e rurais. Para a realização deste estudo, optou-se pela escolha das cinco maiores dentre as sete lagoas oficiais do município, tendo em vista que as duas menores apresentam áreas pequenas, inadequadas ao escopo dos métodos adotados no estudo. Todas as lagoas estão totalmente inseridas na Sub-bacia do rio das Velhas, Bacia do Rio São Francisco, dentro de um retângulo envolvente entre as latitudes 19°21'52''S e 19°59'29''S e longitudes 44°16'59''W e 44°08'24''W, atingindo uma área de aproximadamente 15 km² no perímetro urbano do distrito sede (Figura 2).

Figura 2- Localização da área de estudo com destaque para as lagoas estudadas



Fonte: Elaborado pelos autores (2018)

Elaboração do banco de dados georreferenciado

Para a construção do cenário multitemporal da área de estudo foram utilizadas as imagens dos satélites Landsat-7 (sensor ETM+) e Landsat-8 (sensor OLI), com resolução espacial de 30 metros, disponibilizadas por meio do Serviço Geológico dos Estados Unidos (USGS), dos anos de 2008 a 2018. Foram adquiridas imagens com condições meteorológicas semelhantes, sem cobertura de nuvens e correspondentes ao mesmo período do ano (estação seca, entre os meses de maio e agosto).

O banco de dados georreferenciado foi construído com o suporte do *software* ArcGis, versão 10.3, adotando-se o sistema de referência geodésico WGS-84, a projeção

Universal Transversa de Mercator (UTM), fuso 23, hemisfério sul. Após a montagem do banco de dados outros softwares (SPRING, ENVI, ENVI-IDL) foram aplicados para processamentos específicos.

A Tabela 1 apresenta informações de localização geográfica referentes às lagoas objeto do estudo proposto neste trabalho (denominação, coordenadas UTM de referência e bairro/região de inserção).

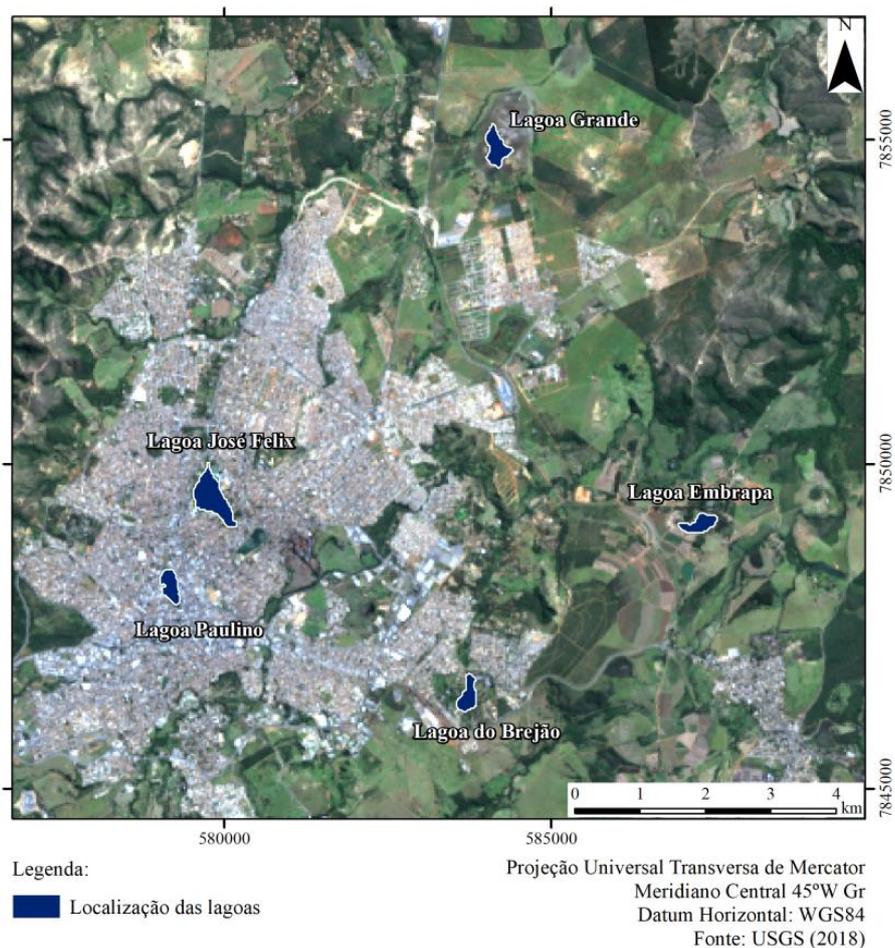
Tabela 1- Lagoas, objetos de estudo

ID:	Nome da lagoa objeto de estudo	Coordenadas UTM (E/N) de referência	Inserção geográfica
1	Lagoa Grande	584153 / 7854865	Bairro Cidade de Deus
2	Lagoa José Felix	579796 / 7849478	Bairro Recanto do Yassú
3	Lagoa Embrapa	587177 / 7849084	Zona Rural
4	Lagoa Paulino	579072 / 7848112	Bairro Centro
5	Lagoa do Brejão	583681 / 7846501	Bairro Anchieta

Fonte: Elaborado pelos autores (2018)

A Figura 3 apresenta a localização das lagoas, objeto de estudo, destacadas na imagem de sensoriamento remoto de acordo com o nome indicado na Tabela 1.

Figura 3- Localização das lagoas objeto de estudo



Processamento dos dados para efetivação do cálculo do decréscimo do espelho d'água

Os dados foram processados utilizando os *softwares* ENVI (versão 5.1, desenvolvido pela Exelis), SPRING (versão 5.3, desenvolvido pelo INPE) e ArcGis (versão 10.3, desenvolvido pela ESRI). Por meio do *software* ENVI, foi feito o empilhamento das bandas, aferição do georreferenciamento, recorte da área e tratamento das imagens do satélite Landsat-7. O *software* SPRING foi utilizado para a classificação das imagens. O *software* ArcGis, além da aplicação na organização do banco de dados, foi utilizado para o cálculo do decréscimo do espelho d'água das lagoas. A escolha dos *softwares* SPRING e ENVI para processamentos específicos ocorreu em função de algumas das suas habilidades especiais focadas no processamento digital de imagens de sensoriamento remoto. A metodologia adotada neste trabalho requereu o desenvolvimento de algoritmos específicos para restauração e

tratamento de dados corrompidos nas imagens Landsat-7. Essas funções específicas para o caso presente não estão disponibilizados prontamente nas rotinas e menus dos softwares de processamento de imagens adotados.

Todas as imagens correspondem à órbita/ponto 218/073 do sistema de referência WRS usado como padrão no Landsat. Os processamentos foram realizados para cada um dos anos escolhidos desde 2008 até 2018.

Com a finalidade de delimitar as lagoas envolvidas no estudo e realizar o cálculo do decréscimo dos seus espelhos d'água, utilizou-se o método de classificação de imagens para produzir os planos de informações multitemporais, os quais foram posteriormente submetidos às operações adequadas para quantificação do decréscimo das áreas. Para tanto, primeiramente, as bandas multiespectrais utilizadas no trabalho (azul, verde, vermelho, infravermelho próximo e infravermelho médio) foram empilhadas a fim de facilitar processamentos multibandas, como composições coloridas para escolha de amostras de treinamento e procedimentos para tratamentos de ruídos. Para as imagens Landsat-7, estas faixas espectrais correspondem às bandas 1, 2, 3, 4 e 7, respectivamente. Para as imagens Landsat-8, estas faixas espectrais correspondem às bandas 2, 3, 4, 5 e 7, respectivamente. A Tabela 2 ilustra de forma objetiva o comparativo de bandas e faixas espectrais dos satélites utilizados.

Tabela 2 - Comparativo entre as bandas espectrais dos satélites Landsat-7 e Landsat-8

Landsat-7 ETM+ Bands (µm)			Landsat-8 OLI and TIRS Bands (µm)		
			30 m Coastal/Aerosol	0.435 - 0.451	Band 1
Band 1	30 m Blue	0.441 - 0.514	30 m Blue	0.452 - 0.512	Band 2
Band 2	30 m Green	0.519 - 0.601	30 m Green	0.533 - 0.590	Band 3
Band 3	30 m Red	0.631 - 0.692	30 m Red	0.636 - 0.673	Band 4
Band 4	30 m NIR	0.772 - 0.898	30 m NIR	0.851 - 0.879	Band 5
Band 5	30 m SWIR-1	1.547 - 1.749	30 m SWIR-1	1.566 - 1.651	Band 6
Band 6	60 m TIR	10.31 - 12.36	100 m TIR-1	10.60 – 11.19	Band 10
			100 m TIR-2	11.50 – 12.51	Band 11
Band 7	30 m SWIR-2	2.064 - 2.345	30 m SWIR-2	2.107 - 2.294	Band 7
Band 8	15 m Pan	0.515 - 0.896	15 m Pan	0.503 - 0.676	Band 8
			30 m Cirrus	1.363 - 1.384	Band 9

Fonte: NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION (2016).

Nesta fase do processo, foi feita uma validação do georreferenciamento de todas as imagens a fim de garantir a qualidade e a consistência dos dados multitemporais e cálculos realizados ao final do processo. Na sequência, procedeu-se a etapa de recorte da área de estudo. Para essa validação, foram utilizados pontos de controle com correspondência presente em todas as imagens (2008 a 2018) e conferido o registro. Os pontos de controle se referem a edificações, loteamentos outras feições que permaneceram imutáveis nas imagens durante os dez anos utilizados para a base desta pesquisa.

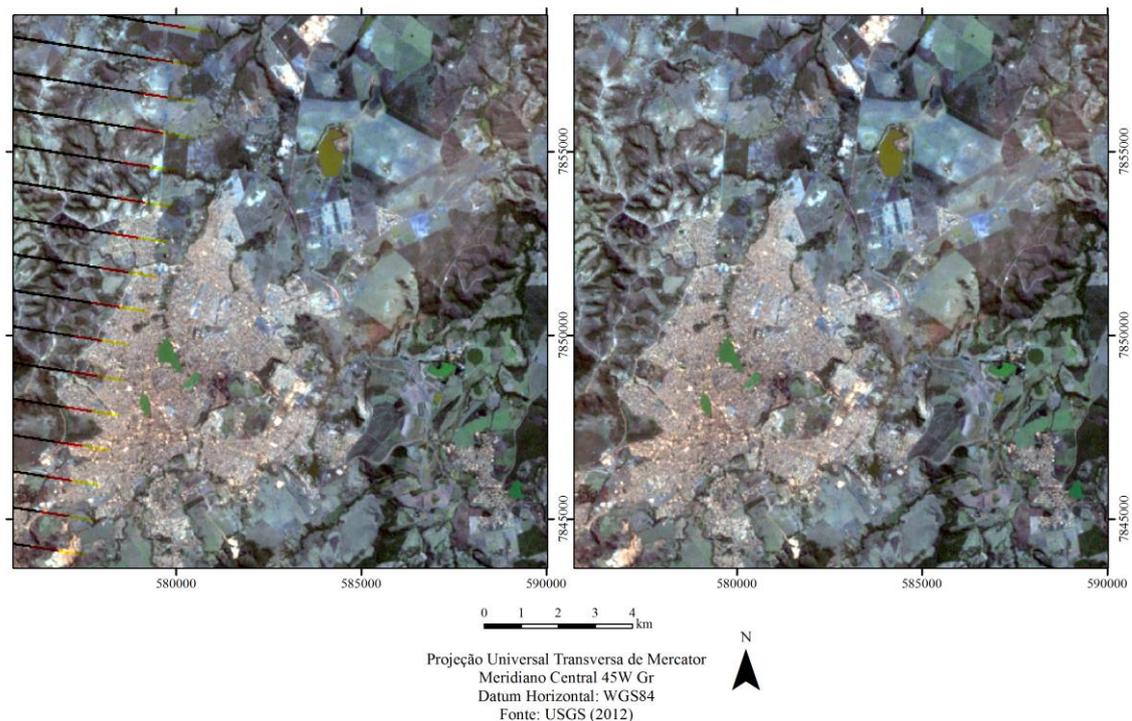
Precedendo à etapa de classificação, foi necessário aplicar tratamentos restaurativos nas imagens provenientes do satélite Landsat-7, uma vez que apresentavam significativas quantidades de pixels com ausência de dados decorrentes de falhas no dispositivo Scan Line Corrector (SLC) que foi danificado de forma permanente. Até o ano de 2003, o dispositivo SLC a bordo do Landsat-7 operou e enviou dados à Terra de forma completa. A partir de então, o hardware presente no satélite foi danificado e este dispositivo SLC (corretor das linhas de varredura) passou a operar em modo desligado e com as imagens apresentando ausência de dados em vários trechos das linhas de varredura. Desta forma, a utilização destes dados de imagens Landsat-7 requer tratamento por parte dos usuários externos para correção (CHEN et al. 2012). As imagens Landsat-7 tratadas correspondem aos anos de 2008 a 2012 que apresentaram estas falhas em todas as bandas em diferentes posições geográficas.

Após a análise das áreas comprometidas com a ausência de dados decorrentes da falha do SLC, concluiu-se pela necessidade de desenvolver um procedimento específico de filtragem usando a linguagem computacional IDL hospedada no software ENVI para o tratamento adequado deste tipo de falha nas imagens. A filtragem espacial com base na vizinhança é o método adequado, neste caso trata-se de uma filtragem que opera em cada banda individual separadamente de forma seletiva, ou seja, são modificados somente os pixels afetados pelas falhas do SLC, enquanto os demais valores das imagens são mantidos inalterados. A lógica do algoritmo utilizado é a substituição dos pixels afetados pelo SLC com base nos dados de janelas móveis de vizinhanças próximas, tendo em vista que dados de sensoriamento remoto provenientes de uma mesma banda espectral e espacialmente próximos são muito correlacionados. O valor de substituição é resultado das médias e medianas das janelas móveis ou dos próprios vizinhos mais próximos, dependendo da extensão da área afetada pelo SLC. As linhas de código IDL a seguir descrevem o procedimento adotado:

```
print, 'INICIANDO.....'           ; mensagem na tela de início do procedimento
B2=B1                             ;memória interna para as imagens
COL=1001 & LIN=1000 & BANDAS=5    ;cinco bandas com 1001 linhas e 1000 colunas
FOR K=0,BANDAS-1 DO BEGIN         ;repete o processo para todas as bandas
  FOR I=3,COL-4 DO BEGIN          ;percorre as colunas na busca de erros
    FOR J=3,LIN-4 DO BEGIN        ;percorre as linhas na busca de erros
      IF B1[I,J,K]EQ 0 THEN B2[I,J,K]= MAX(B1[I-3:I+3,J-3:J+3,K]) ;tratamento erros
    ENDFOR                        ;final da busca nas linhas
  ENDFOR                          ;final da busca nas colunas
  B2[* ,0:2,K]= B2[* ,3:5,K] ;& B2[* ,LIN-1:LIN-3,K]= B2[* ,LIN-4:LIN-6,K]
  B2[0:2,* ,K]= B2[3:5,* ,K] ;& B2[COL-1:COL-3,* ,K]= B2[COL-4:COL-6,* ,K]
  PRINT, LIN-2,LIN-3,K,LIN-4,LIN-6 ;controle do percurso
  FOR I=1,COL-2 DO BEGIN          ;percorre as colunas na busca de erros
    FOR J=1,LIN-2 DO BEGIN        ;percorre as linhas na busca de erros
      IF B2[I,J,K]EQ 0 THEN B2[I,J,K]= BYTE(MEAN(B2[I-1:I+1,J-1:J+1,K])) ;tratamento
    ENDFOR                        ;final da busca nas linhas
  ENDFOR                          ;final da busca nas colunas
ENDFOR                            ;fim do processo para todas as bandas
Print, 'Fim do Programa'         ; mensagem na tela de término do procedimento
END                               ;fim do código liberação da memória
```

A Figura 4 ilustra um exemplo do resultado do tratamento das imagens Landsat-7 afetadas pela falha do SLC. Trata-se de é um exemplo demonstrativo usando apenas três bandas em composição colorida RGB. Na totalidade são muitas imagens temporais referentes a vários anos, de cada imagem anual são usadas cinco bandas, além disso, a falha é visível na imagem da Figura 4 porque corresponde a uma junção de vários pixels. Quando o problema corresponde a uma linha fina com apenas um pixel ou sequências eventualmente interrompidas de pixels ou mesmo pixels isolados, a falha fica visualmente imperceptível. Trata se, portanto de procedimento relevante que deve ser aplicado às imagens Landsat-7 precedente à aplicação de outros processamentos.

Figura 4 - Comparativo entre as imagens do satélite Landsat-7, antes e depois da aplicação do procedimento IDL, respectivamente.



Após o tratamento de restauração das imagens foi possível executar a classificação das imagens multitemporais a fim de se calcular o decréscimo da área de espelho d'água de cada lagoa estudada. Para este estudo, a principal classe de interesse é a água. Foi adotada a classificação supervisionada, onde o classificador escolhido foi do tipo pixel a pixel pelo método estatístico de Máxima Verossimilhança (MAXVER). Este método pondera as distâncias entre médias dos níveis digitais das classes, utilizando parâmetros estatísticos (INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS, 2012).

Com o objetivo de calcular o decréscimo do espelho d'água da Lagoa Grande e de comparar seus valores aos valores das demais lagoas presentes no estudo, foram utilizadas ferramentas do *software* ArcGis versão 10.3 com a finalidade de monitorar as alterações nos espelhos d'águas. Foi necessário converter os dados das cinco lagoas do formato matricial para o formato vetorial com objetivo de calcular, com maior precisão, a área do espelho d'água de cada uma delas por meio da ferramenta *Calculate Geometry* do ArcGis 10.3.

Os valores das áreas das cinco lagoas, relativos ao período estudado, foi o parâmetro analisado a partir do método estatístico de análise de variâncias (ANOVA). O método parte de

uma medida estabelecida para se comparar a diferença entre médias, com uma estimativa de ocorrência de variabilidade natural, estabelecendo se tal diferença pode ser considerada estatisticamente significativa (TABACHNICK e FIDEL, 2007). Portanto, a finalidade do teste foi verificar a existência de diferenças entre as áreas médias das lagoas. Para tal, calculou-se a diferença relativa entre o observado em cada ano analisado em relação ao ano inicial do período. Uma vez verificada a significância entre as médias analisadas, o teste HSD de *Tukey* foi aplicado para a determinação dentre quais lagoas a diferença foi observada. Os dois testes estatísticos foram realizados com o emprego do *software* R v. 3.2.3 (R CORE TEAM, 2015), adotando-se um nível de significância de 0,05.

Resultados e discussão

Cálculo e análise espaço-temporal do espelho d'água entre os anos 2008 e 2018

A partir do processamento das imagens de sensoriamento remoto realizado por meio de separação das classes foi possível identificar a variação temporal do espelho d'água das lagoas presentes na área de estudo, possibilitando o cálculo da redução, em termos de área, do espelho d'água das cinco lagoas analisadas a fim de estabelecer comparação.

Na Figura 5, observa-se que a Lagoa Grande apresentou uma variação em área de 78,0 hectares, no ano de 2008, para 14,7 hectares no ano de 2018, sendo que o ano mais crítico analisado foi 2017, com uma área de 8,3 hectares de espelho d'água. O declínio na área superficial da lagoa tornou-se mais acentuado a partir do ano de 2012. Para as demais lagoas, o traçado gráfico da Figura 5 demonstra que as variações se apresentaram de forma mais sutil, sem grandes mudanças, ao longo do período de análise.

A partir da ANOVA, verificou-se que a modificação da área das lagoas variou conforme o período de análise ($F_{55,4}=16,38$; $p<0,01$). A variação da Lagoa Grande em relação às demais pôde ser verificada (Tabela 3). Na comparação das variações entre as lagoas, somente a Lagoa Grande apresentou variação significativa frente a todas as outras. A única exceção observada foi com a variação entre as lagoas Brejão e da Embrapa, cuja diferença das médias foi observada de forma estatisticamente significativa. A partir desta observação, infere-se uma tendência maior de modificação de área na Lagoa Grande, uma vez que tal variação,

quando comparada proporcionalmente às das demais lagoas, apresenta diferença estatisticamente retratada.

Figura 5 - Variação da área de espelho d'água das lagoas na área de estudo em hectares

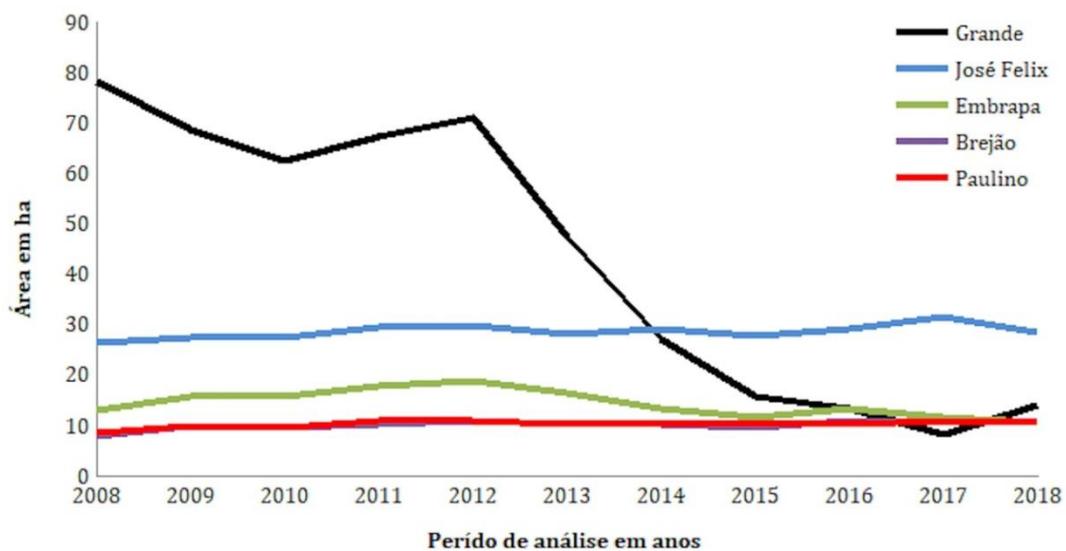


Tabela 3 - Resultado do teste HSD de Tukey, retratando a variação entre as médias de modificação de área das lagoas

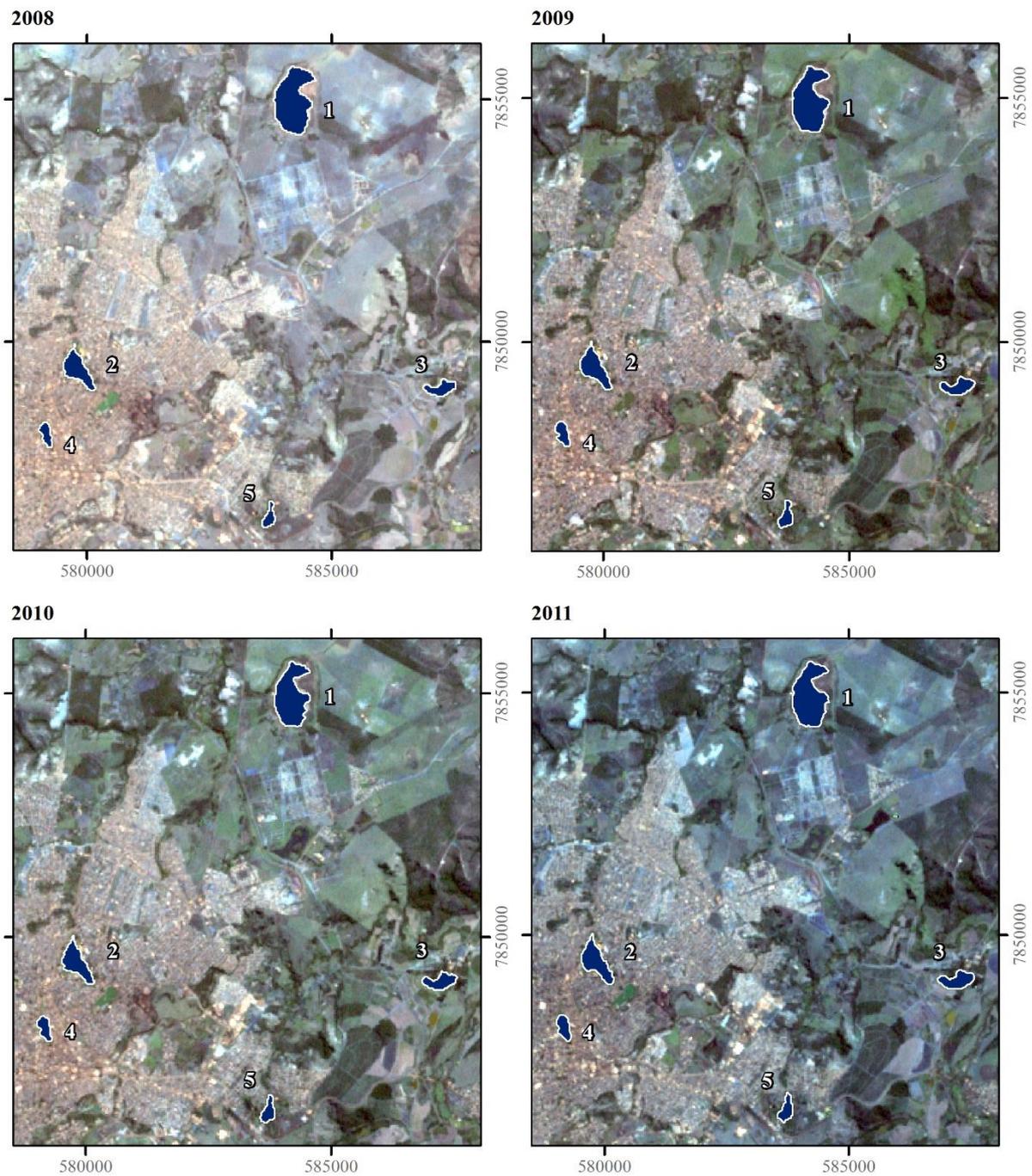
Lagoas	Diferença	p-valor	
Brejão-Embrapa	0,25212751	0,012	*
Brejão-Grande	0,56429324	< 0,001	*
Brejão-José Félix	0,11535472	0,546	
Brejão - Paulino	0,13887491	0,358	
Embrapa - Grande	0,31216573	0,001	*
José Félix - Embrapa	0,13677279	0,374	
Paulino - Embrapa	0,1132526	0,563	
José Félix - Grande	0,44893853	< 0,001	*
Paulino - Grande	0,42541834	< 0,001	*
José Félix - Paulino	0,02352019	0,998	

Nas Figuras 6, 7 e 8, pode se observar que a feição 1 correspondente à Lagoa Grande apresenta uma acentuada variação negativa da área ocupada pelo espelho d'água extraída a partir das imagens obtidas entre os anos de 2008 e 2018, enquanto as demais lagoas sofreram pequenas variações menos acentuadas.

Nesta série histórica de imagens é possível observar o evidente decréscimo do espelho d'água da Lagoa Grande, notando-se ter sido mais acentuado entre os anos de 2013 a 2017 corroborando os resultados das classificações anuais de imagens e os cálculos das áreas dos espelhos d'água apresentados na Figura 5.

Guimarães (2015) ao analisar a diminuição do espelho d'água da Lagoa Grande considerou como possíveis causadores de problemas no abastecimento dos sistemas lacustres o aumento da população atendida pelo abastecimento público e, conseqüentemente, o aumento do volume de água faturada pela concessionária de água e esgoto do município, além da instalação de uma planta industrial a menos de 2000 metros da lagoa em análise, com uma captação de aproximadamente 20 milhões de litros por dia.

Figura 6 - Série histórica de imagens entre os anos de 2008 e 2011.

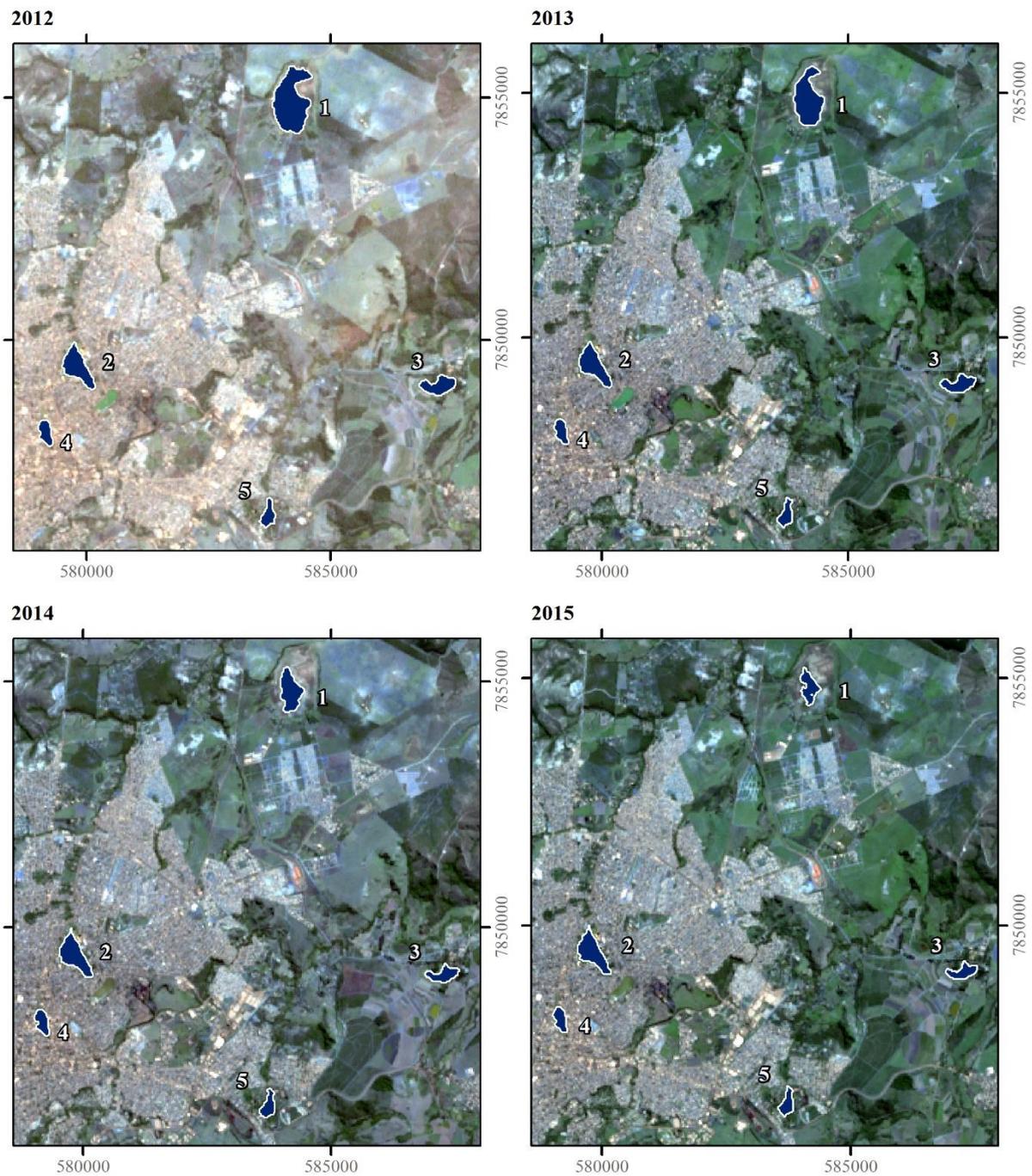


- 1. Lagoa Grande
- 2. Lagoa José Félix
- 3. Lagoa Embrapa
- 4. Lagoa Paulino
- 5. Lagoa do Brejão

Projeção Universal Transversa de Mercator
Meridiano Central 45°W Gr
Datum Horizontal: WGS84
Fonte: USGS (2018)



Figura 7- Série histórica de imagens entre os anos de 2012-2015.

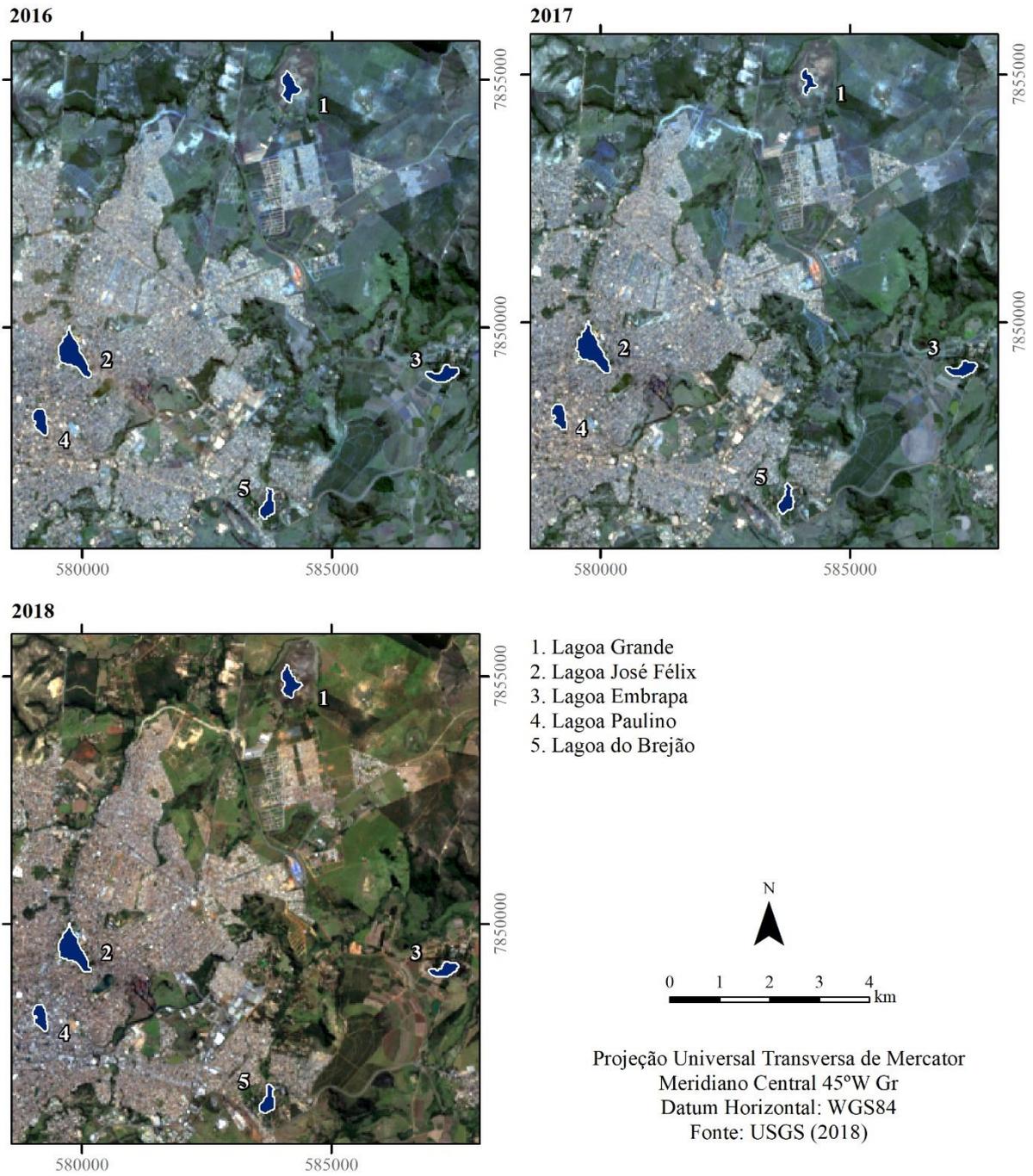


- 1. Lagoa Grande
- 2. Lagoa José Félix
- 3. Lagoa Embrapa
- 4. Lagoa Paulino
- 5. Lagoa do Brejão

Projeção Universal Transversa de Mercator
Meridiano Central 45°W Gr
Datum Horizontal: WGS84
Fonte: USGS (2018)



Figura 8- Série histórica de imagens entre os anos de 2016-2018.



Conclusão

A utilização de técnicas e recursos de sensoriamento remoto para a análise e monitoramento do decréscimo da área do espelho d'água das lagoas apresentou-se ágil e eficaz na realização do estudo. A disponibilidade de dados geoespaciais, imagens de sensoriamento remoto sem custos e geotecnologias adequadas possibilitaram a integração efetiva para o emprego dessas técnicas e recursos.

A partir da análise de imagens de sensoriamento remoto, observou-se uma redução de 81,15% da área correspondente ao espelho d'água da Lagoa Grande no município de Sete Lagoas-MG. Tal redução, estatisticamente diferente da variação nas demais lagoas analisadas, elucida a necessidade da realização de estudos hidrogeológicos no município, além da adoção de ações como maior controle do uso da água e melhores diretrizes para o uso do solo, fatores que se apresentam com potencial para modificação dos corpos hídricos locais.

Algoritmos adequados executados em linguagens computacionais podem ser desenvolvidos para abordar questões específicas e para obtenção de resultados especiais de caráter individual como foi o caso do tratamento das imagens Landsat-7 com ausência de dados em pixels e trechos de linhas de varreduras decorrentes de falhas no SLC. Estes procedimentos e algoritmos complementam ferramentas que não estão prontamente disponíveis nas plataformas de geoprocessamento apresentando potencial efetivo para personalizar ferramentas já existentes.

Para avançar mais nessas investigações relacionadas ao fenômeno demonstrado pelas análises realizadas neste estudo, futuras pesquisas são sugeridas no sentido de investigar a disponibilidade de precipitação do entorno destas áreas lacustres. Tais estudos permitiriam verificar com mais confiança o grau de contribuição da precipitação para a variação das lagoas que apresentam uma variação mais ou menos semelhantes, porém com algumas anomalias anuais.

Referências bibliográficas

AQUINO, C.M.S.; VALLADARES, G.S. Geografia, Geotecnologias e Planejamento Ambiental. *Geografia (Londrina)*, Londrina, v.22, n.1, p. 117 – 138, jan/abr, 2021.

BERBERT-BORN, M.L.C. *Geoquímica dos sedimentos superficiais de lagoas da região cárstica de Sete Lagoas-Lagoa Santa (MG), e os indícios de interferências antrópicas*. 1998. Dissertação (Mestrado em Geoquímica Ambiental) – Escola de Minas, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto.

CHEN, F.; ZHAO, X.; YE, H. Making Use of the Landsat 7 SLC-off ETM+ Image Through Different Recovering Approaches. In KARAKEHAYOV, Z. (Ed.). *Data Acquisition Applications*. London: IntechOpen, 2012. Cap.13, p.317-342.

GUIMARÃES, V. M. B. *Estudo acerca das possíveis causas para o decréscimo do volume hídrico na Lagoa Grande no município de Sete Lagoas – MG*. 2015. Monografia (Graduação em Geografia) – Departamento de Geografia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA (IBGE). *Censo Brasileiro de 2010*. Rio de Janeiro: IBGE, 2012.

INSTITUTO NACIONAL DE METEOROLOGIA. *Banco de dados meteorológicos para ensino e pesquisa*. Brasília: INMET, 2016. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/projetos/rede/pesquisa/>>. Acesso em: 07 jul. 2016.

INSTITUTO NACIONAL DE PESQUISAS ESPACIAIS. Manual do SPRING: *Tutorial de Geoprocessamento*. São José dos Campos: INPE, 2012. Disponível em: <<http://www.dpi.inpe.br/spring/portugues/tutorial/classific.html>>. Acesso em: 18 jun. 2018.

KARMANN, I. Ciclo da Água, Água subterrânea e sua ação geológica. In TEIXEIRA, W. et al. (Org.). *Decifrando a Terra*. São Paulo: Oficina de Textos, 2000. Cap.7, p.114-136.

LANDAU, E.C.; OLIVEIRA, R.P.C. de.; SANTOS, M.A. dos.; GUIMARÃES, D.P. Expansão Urbana da Cidade de Sete Lagoas/MG entre 1949 e 2010. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO – SBSR*, 15, 2011, Curitiba: INPE, 2011, p. 4011-4016.

NATIONAL AERONAUTICS AND SPACE ADMINISTRATION. *Landsat 8*. Washington, 2016. Disponível em: <<http://landsat.gsfc.nasa.gov/?p=3186>>. Acesso em: 11 jul. 2016.

NOGUEIRA, M. Sete Lagoas: a dinâmica funcional de uma cidade média e sua inserção na rede urbana de Minas Gerais. *Boletim Goiano de Geografia*, Goiânia, v.25, n.1, p.47-60, 2005.

NOVO, E. M. L. M.; TUNDISI, J. G. Sensoriamento remoto de águas interiores: Perspectivas. In: *SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO*, V, 1988, Natal: INPE/SELPER, 1988, p.13-21.

PINTO, C. E. T.; MENEZES P. H. B. J.; MARTINEZ, J.M; ROIG, H. L.; VILLAR, R. A. E. Uso de imagens MODIS no monitoramento do fluxo de sedimentos no reservatório de Três Marias. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v.18, n.5, p.507–516, 2014.

R CORE TEAM. *R: A language and environment for statistical computing*. Viena: R Foundation for Statistical Computing, 2015.

RIBEIRO, W.C.; SOUZA, J.B.; PAULO, G.L.; BARROSO, L.C. Tipologia e hierarquização da microrregião de Sete Lagoas – MG. *Revista da Casa da Geografia de Sobral (RCGS)*, Sobral – CE, v. 15, n. 2, p. 84 – 108, 2013.

SOUZA, F.P.; AZEVEDO, J.P.S. Panorama das lagoas urbanas no Rio de Janeiro: aspectos relevantes na gestão das Lagoas Rodrigo de Freitas, Araruama e Complexo Lagunar de Jacarepaguá. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v.25 n.1, p. 197 – 204. Jan/fev 2020.

TABACHNICK, B. G.; FIDELL, L. S. *Experimental designs using ANOVA*. Belmont, CA: Thomson/Brooks/Cole, 2007.