

**ANÁLISE ESPACIAL E TEMPORAL DO USO E OCUPAÇÃO DA TERRA  
ASSOCIADO A ATIVIDADE DE EXTRAÇÃO MINERAL NO RIO  
JEQUITINHONHA DIAMANTINA- MG**

Spatial and Temporal Analysis of the Land Use Associated to the Mineral Extracion  
Activity in the Jequitinhonha River Diamantina- MG

Análisis Espacial y Temporal del Uso de la Tierra y la Ocupación Asociada com la  
Actividad de Extracción de Minerales en el Río Jequitinhonha, Diamantina-MG.

Bruno Teles de Souza  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
[brteles@hotmail.com](mailto:brteles@hotmail.com)

Matheus Simões Santos  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
[matheusanalytica@gmail.com](mailto:matheusanalytica@gmail.com)

Hernando Baggio Filho  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
[hernandobaggio@yahoo.com.br](mailto:hernandobaggio@yahoo.com.br)

Renato Ferreira da Silva  
Universidade Federal dos Vales do Jequitinhonha e Mucuri  
[renato.ferreiradasilva@yahoo.com.br](mailto:renato.ferreiradasilva@yahoo.com.br)

**Resumo**

As ferramentas de sensoriamento remoto estão cada vez mais presentes em estudos ambientais. As principais razões são sua praticidade, baixo custo e rápida resposta para análises preliminares. Desde o lançamento do primeiro satélite da série Landsat, estudos de análise temporal se tornaram importante recurso para entender as alterações na superfície da terra, as quais podem ocorrer de formas naturais ou por intervenções antrópicas. Essas mudanças podem acontecer de modo pouco perceptível durante curtos períodos de tempo, e muitas vezes, são evidenciadas ao analisar períodos de longa duração. O presente estudo tem como objetivo compreender como ocorreu a evolução do impacto ambiental, durante um período de 40 anos, em uma área afetada pela atividade de extração mineral, e as mudanças causadas na morfologia do rio Jequitinhonha-MG. Para tal, foram utilizadas imagens Landsat 5 e 8 e o cruzamento de suas bandas espectrais para a criação de imagens NDVI, em áreas de lavra de ouro e diamantes, ocupadas pela atividade do garimpo, localizados em um segmento fluvial do rio Jequitinhonha, próximo ao município de Diamantina, Minas Gerais. Este estudo contribuiu para a identificação dos estilos e feições fluviais, apontando alterações no quadro evolutivo e dinâmico nos padrões de drenagem e no aporte sedimentológico. Identificou-se que o uso e ocupação da

terra fundamentam-se como a principal causa dessas alterações morfológicas ao logo do tempo.

**Palavras-chave:** Análise espacial temporal; NDVI; Atividades antrópicas; Impactos ambientais;

### **Abstract**

Remote sensing tools are increasingly common in environmental studies. The main reasons are the practicality, low cost, and quickly answer for preliminary analysis. Since the release of the first Landsat satellite series, temporal analysis studies became important resource to understand the land surface alterations, which could happen in natural ways or by antropogenic intervations. These changes can happen unnoticeably over short periods of time, and are often evidenced by analyzing long them periods. The objective of this study is understand how the evolution of the environmental impact occurred, over a 40 years period, in affected areas by the mineral extraction activity, and the changes in Jequitinhonha river morphology. For this, Landsat 5 and 8 images were used and the crossing of its spectral bands to create NDVI images, in gold and diamond mining areas, occupied by panning mining activity, located on the banks of the Jequitinhonha river, near the municipality of Diamantina, Minas Gerais. This study contributed to the identification of river styles and editions, pointing out changes in the evolutionary and dynamic picture in the drainage patterns and in the sedimentological contribution. We identified that the use and occupation of the land are based on the main cause of these morphological changes over time

**Keywords:** Spatial and temporal Analysis; NDVI, antropogenic activities; environmental impacts,

### **Resumen**

Las herramientas de teledetección están cada vez más presentes en los estudios ambientales. Las razones principales son su practicidad, bajo costo y respuesta rápida a los análisis preliminares. Desde el lanzamiento del primer satélite de la serie Landsat, los estudios de análisis temporal se han convertido en un recurso importante para endender los cambios en la superficie de la Tierra, que pueden ocurrir de forma natural o por intervención antrópica. Estos cambios pueden ocurrir de una manera solo notable por cortos períodos de tiempo, y a menudo se evidencian al analizar largos períodos. El presente estudio tiene como objetivo comprender cómo se produjo la evolución del impacto ambiental, durante un período de 40 años, en un región afectada por la actividad de extracción de mineral, y los cambios causados en la morfología del río Jequitinhonha-MG. Para este fin, las imágenes Landsat 5 y 8 y el cruce de sus bandas espectrales se usaron para crear imágenes NDVI, en zonas mineras de oro y diamantes, ocupadas por la actividad minera, ubicadas en un segmento fluvial del río Jequitinhonha, cerca del municipio de Diamantina, Minas Gerais. Este estudio contribuyó a la identificación de estilos y características fluviales, señalando cambios en la imagen evolutiva y dinámica en los patrones de drenaje y en la contribución sedimentológico. Se identificó que el uso y la ocupación de la tierra se basan en la causa principal de estos cambios morfológicos a lo largo del tiempo.

**Palabras-clave:** Análisis temporal espacial; NDVI; Actividades humanas; Impactos ambientales

## **Introdução**

O rio Jequitinhonha tem grande importância no cenário nacional, sendo um dos mais relevantes rios para a região Nordeste do Estado de Minas Gerais. Sua bacia ocupa uma extensão total de 70.315km<sup>2</sup>, os quais estão divididos em uma área de 66.319 km<sup>2</sup> em Minas Gerais, enquanto 3.996 km<sup>2</sup> se encontram na Bahia (GONÇALVES, 1997). Apresenta uma extensão aproximada de 1100 km, e suas nascentes estão localizadas a aproximadamente 1300 m de altitude. Estas encontram-se no Planalto de Diamantina, na Serra do Espinhaço, junto com as nascentes de outros importantes rios como o Doce e Araçuaí (SAADI,1995).

As resoluções espaciais de 30 m dos satélites Landsat podem ser de benefício imediato para algumas aplicações como o monitoramento superficial de minerações (IRONS et al., 1984). Deste modo a utilização do sensoriamento remoto, para avaliações de impactos ambientais é uma poderosa ferramenta, pois através desta pode-se mensurar e observar as mudanças decorrentes em uma área através da morfologia do terreno, assim como do tempo. No Brasil a definição de impacto ambiental pode ser encontrada no artigo 1º da RESOLUÇÃO CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986.

A análise ao longo do tempo pode facilitar nosso entendimento das mudanças para prever futuras alterações. Entre as ferramentas aplicadas no sensoriamento remoto, o índice de vegetação por diferença normalizada – NDVI é bastante utilizado para o monitoramento na agropecuária e no cálculo de áreas de vegetação. Porém, a utilização do NDVI, também é uma poderosa ferramenta para prever os efeitos das mudanças ambientais sobre os ecossistemas, e permitir um melhor entendimento dos impactos humanos (PETTORELLI et al., 2005). Este índice indica a presença de cobertura vegetal no pixel, sendo que, a ausência de vegetação apresenta baixos valores de resposta.

O rio Jequitinhonha é o recurso natural mais importante da região, atividades humanas de desmatamento para fins agropastoris, de mineração e de garimpagem em seu alto curso e alguns dos seus afluentes, têm causado no decurso dos anos, modificações importantes no ciclo hidrológico (GONÇALVES, 1997). Os sistemas fluviais estão entre os ambientes naturais mais impactados pelas atividades antrópicas. Toda essa modificação no meio ambiente, a qual inclui os processos de exploração mineral, gerou alterações nos geoambientes. Deste modo, se faz necessário entender de que forma e em quais períodos

temporais e espaciais essas mudanças ocorreram nesses compartimentos (BAGGIO, 2008; TRINDADE, 2012),

A escolha da área, para esse tipo de análise, ocorreu, pelo seu intenso histórico de atividades e empreendimentos minerais. A corrida do ouro no século XVII, desencadeada por desbravadores baianos e paulistas, foi a principal causa da origem e do povoamento da bacia do rio Jequitinhonha (GONÇALVES, 1997). O início das atividades minerárias no antigo distrito de Serro Frio, atual município de Diamantina - MG datam dos últimos anos do século XVII, com a extração de ouro pelos bandeirantes. A Lavra de Tijuco inicialmente se tratava de uma lavra aurífera apresentou seus primeiros indícios da exploração de diamantes no ano de 1729 (SANTOS, 1868). No período de 1772 até 1841, a lavra de diamantes foi explorada pela própria fazenda real, criando-se para isso a Real extração (CHAVES, UHLEIN, 1991).

Neste contexto o rio Jequitinhonha abrange um rico histórico sobre a exploração mineral. Os relatos da sua própria colonização pelos primeiros bandeirantes e a criação das primeiras vilas em suas margens, estão diretamente associadas à corrida do ouro no século XVII, e desde então, a produção mineral está associada às questões culturais regionais. Com o passar dos anos e com a evolução dos métodos de extração do ouro e diamantes em suas margens, tais como: dragas de bombeamento, desmonte hidráulico, utilização de escavadeiras e caminhões entre outras utilizadas no século passado, causaram alterações morfológicas neste importante sistema fluvial.

O presente trabalho objetiva-se em compreender como ocorreu a evolução do impacto ambiental, durante um período de 40 anos, em uma área afetada pela atividade de extração mineral, e as mudanças causadas na morfologia do rio Jequitinhonha. em áreas de lavra de ouro e diamantes, ocupadas pela atividade do garimpo no município de Diamantina, Minas Gerais.

## **Materiais e metodos**

### **Localização e Caracterização da Área de Estudo**

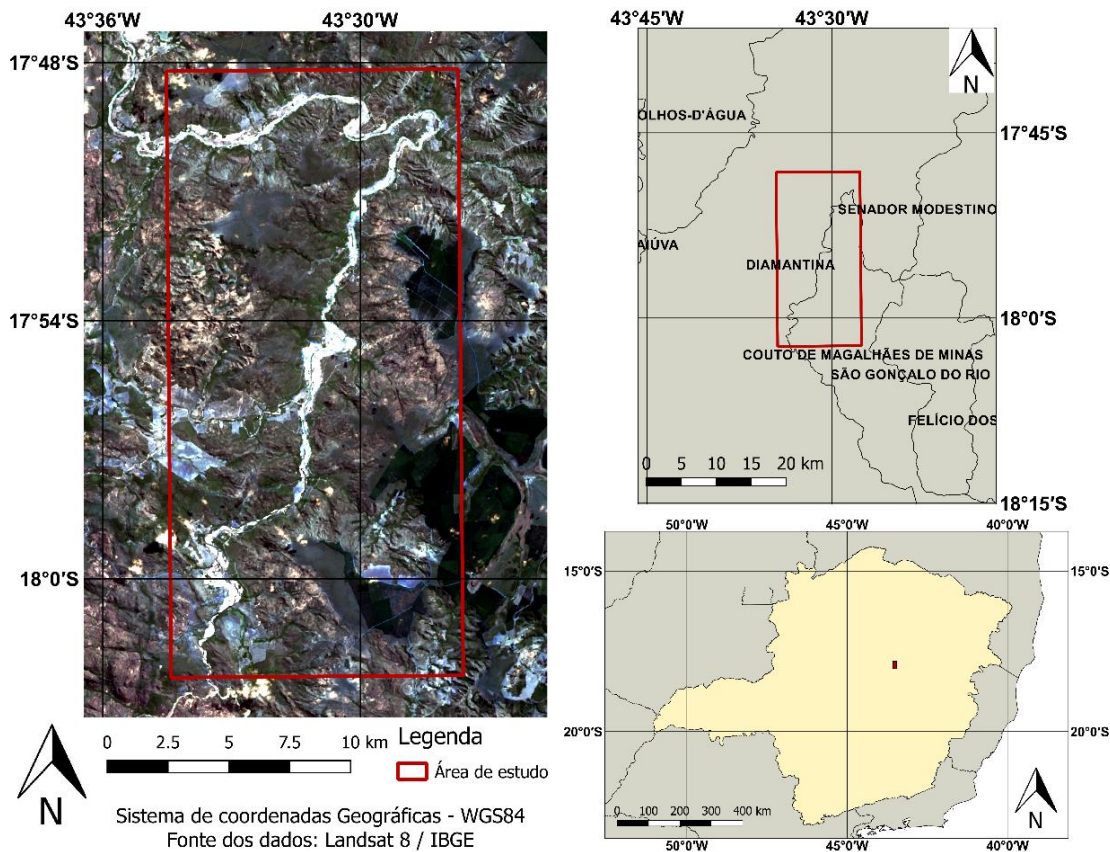
A área de estudo localiza-se a NE da sede municipal de Diamantina, cidade da Mesorregião do Alto Vale do Jequitinhonha no nordeste do estado de Minas Gerais e, entre os municípios de Couto de Magalhães de Minas e Diamantina. A área investigada

encontra-se entre as entre as latitudes 17°48'09"S até 18°02'17"S e longitudes 43°27'36"O a 43°34'23"O como mostra a Figura 1.

Segundo Dupont (1991), em 1955, um grupo de diamantinenses resolveram fundar a Mineração Tejucana S.A. Pouco tempo depois, a empresa conseguiu alvará para pesquisa mineral no rio Jequitinhonha, em um trecho de aproximadamente 100 km de comprimento e 200 m de largura ao longo do eixo de drenagem.

Por muito tempo, a mineração no rio Jequitinhonha aconteceu de maneira manual na forma de catas. Porém, com a liberação do alvará de pesquisa para a Mineração Tejucana S.A. no ano de 1962, e o aumento dos investimentos, no ano de 1966 foi instalada a primeira draga no rio Jequitinhonha. Em 1988, a Rio Novo Mineração, do Grupo Andrade Gutierrez, também iniciou a extração de diamante e ouro dos alúvios do rio Jequitinhonha, utilizando dragas alcatruzes (SCLIAR,1995; CHAVES, UHLEIN,1991).

No ano de 2007 a Mineradora Novo Rio, após duas décadas de extração de diamantes com maquinário e recursos tecnológicos de ponta, concluiu suas operações de lavra no rio Jequitinhonha alegando exaustão das jazidas. Sem o funcionamento da mineradora um fluxo surpreendente de garimpeiros ocupou a região em busca de ouro e diamantes. No ano de 2015 foram estimados em torno de 2000 pessoas trabalhando na região conhecida como Areinha (SANTOS, 2015).



**Figura 1** – Localização da área de estudo no contexto estadual e municipal.

No contexto geológico a área encontra-se inserida na Serra do Espinhaço Meridional, a qual, estende-se por cerca de 300 Km na direção N-S, desde o Quadrilátero Ferrífero até a região de Olhos d'Água e é edificada essencialmente por litologias do Supergrupo Espinhaço. Formado principalmente por rochas quartzíticas e, subordinadamente, rochas filíticas, conglomeráticas e vulcânicas de caráter básico e ácido (ALMEIDA- ABREU, 1995). Do ponto de vista geológico, a característica fundamental da Serra do espinhaço Meridional é a predominância absoluta dos quartzitos, que em toda a extensão do compartimento, compõem uma cobertura rígida densamente fraturada e cisalhada (BAGGIO, 2012).

O rio Jequitinhonha tem suas nascentes sobre os metaconglomerados da Formação Sopa-brumadinho, enquanto a área de estudo se encontra sobre as rochas do Grupo Macaúbas, o qual consiste de material glacial ressedimentado e depositado como *debris-flow* subaquoso e por correntes de turbidez - metarritmitos turbidíticos (UHLEIN et al, 1995).

Os aspectos morfológicos na área de estudo estão associados a geologia e geomorfologia local. Analisando o perfil fluvial do rio, podemos definir que à montante, o rio Jequitinhonha apresenta alta declividade, com um fluxo turbulento em canais estreitos, esculpidos sobre a rocha no seu leito coesivo. Próximo da cota de 700 metros de altimetria, ocorre uma redução brusca em sua declividade e seu canal apresenta maior largura e fluxo laminar. Esta mudança no comportamento fluvial está associada a uma vigorosa dissecação fluvial, próximo a região de Couto Magalhães de Minas, a qual seria conhecida como “Rasgo Interplanáltico da Cordilheira do Espinhaço”. Esta estrutura estaria relacionada a diminuição da resistência litológica de litotipos do Grupo Macaúbas e falhamentos de direção NW-SE. (SAADI, 1995).

A diferença no relevo nesta região está associada a desnudação diferencial, devido a maior resistência dos quartzitos encontrados no supergrupo espinhaço, em comparação as rochas do grupo Macaúbas. Para Salgado e Valadão (2003) a desnudação diferencial agrega os processos tanto mecânicos como geoquímicos na interpretação da gênese e evolução do modelo continental.

O clima da região de acordo com Köppen-Geiger (1927) é classificado como Cwb, ou seja, mesotérmico, apresentando duas estações bem definidas. A área apresenta uma precipitação acumulada média anual de 1375,3mm e uma temperatura média compensada medida pelo método de bulbo seco de 18.7°C. O volume das precipitações está diretamente associado as variações no nível hídrico dos rios, as estações úmidas e seca estão bem definidas e que os valores de menores precipitações se encontram no mês de julho caracterizando o ápice do período de secas, enquanto em dezembro temos os valores de maiores precipitações definindo o período de cheias do rio Jequitinhonha (INMET, 2019).

Na região de estudo a vegetação predominante são campos rupestres e de altitude, mas com ocorrências de florestas estacionais decíduais nos fundos de vale. Na extremidade ocidental da bacia. ao norte da Depressão de Couto de Magalhães encontradas florestas estacionais semi-decíduais, cerrados, campos de altitude e campos rupestres (FERREIRA, 2011). Os campos Rupestres ocorrem geralmente acima dos 900 metros de Altitude. Nas vertentes de córregos e rios são comumente encontradas as florestas estacionárias semi-decíduais, as quais estão condicionadas pela dupla estacionalidade climática, como épocas de intensas chuvas de verão, seguidas por estiagens acentuadas. (MENDONÇA FILHO,2005)

## Metodologia Empregada

Para Townsend et al., (2009) os resultados de séries temporais de imagens Landsat, a longo prazo, podem ser utilizadas para rastrear as atividades minerais através do tempo. Com o intuito de analisar o processo de expansão da lavra referente a atividade mineral, ao longo do rio Jequitinhonha, realizou-se uma análise das mudanças ocorridas na morfologia fluvial, através da interpretação de imagens de satélites, no período dos últimos quarenta anos. A metodologia adotada consiste na escolha de imagens de satélite com um intervalo temporal análogo, tratamento da interferência atmosférica para as bandas espectrais, cálculo do índice NDVI, posterior classificação supervisionada para delimitação das áreas de interesse, criação de polígonos vetorizados, cálculo das áreas afetadas e uma análise dos dados para avaliar o impacto da atividade na área, como observado no organograma da Figura 2. Para o tratamento e análise dos dados, foi utilizado o *software* livre *Quantum GIS* versão 2.18.



**Figura 2** – Organograma com as etapas do processo de análise temporal.

Foram utilizadas imagens de Satélite Landsat 5 e Landsat 8, com espaço temporal entre as imagens de 10 anos (+ ou – 2 meses). Entre os anos de 1987, 1997, 2007 e 2017, sendo que para os três primeiros anos de estudo, foram utilizadas as imagens do satélite Landsat 5, enquanto para o ano de 2017 foi utilizado imagens de satélites Landsat 8, conforme **Erro! Fonte de referência não encontrada.**



**Tabela 1 – Imagens de satélite utilizadas no estudo.**

<b>Imagem</b>	<b>Data de Aquisição</b>	<b>Satélite</b>	<b>Banda Espectral</b>	<b>Resolução (m)</b>
LT05_L1TP_218072	18.08.1987	Landsat 5	3 e 4	30
LT05_L1TP_218072	26.06.1997	Landsat 5	3 e 4	30
LT05_L1TP_218072	25.08.2007	Landsat 5	3 e 4	30
LC08_L1TP_218072	28.08.2017	Landsat 8	4 e 5	30

Para minimizar desvios nas análises, foram utilizadas imagens da mesma estação do ano para evitar problemas com sazonalidade. A variação nas estações do ano pode ser responsável por um maior acúmulo de biomassa e variações na área foliar (SAMSON, 1993). Desta forma os resultados podem ser afetados devido a estação de crescimento das plantas ser um diferencial, podendo gerar confusões entre solos sem vegetação, devido a períodos de estiagem e áreas com a presença da atuação da mineração. A presença de nuvens, também foi um fator relevante para a escolha das imagens, sendo utilizadas imagens com cobertura de nuvens menores que 10%. As nuvens podem interferir na análise, pois estas refletem a luz de forma diferente que a vegetação verde. Nuvens menores que o tamanho do pixel e nuvens do tipo Cirrus, se colocam como os maiores problemas (TUCKER, 1984).

Há pelo menos dois fatores que devem ser considerados na escolha do método de classificação: (a) a alta variabilidade espectral de uma mesma classe de uso e também entre as cenas, devido a variações no sensor entre as passagens do satélite; e (b) a própria dinâmica espacial de ocupação do território, que influencia nas classes de uso, nos processos de transição entre essas classes e nas bordas (MELLO et al., 2012). Seguindo estes princípios, após algumas análises e revisão bibliográfica optou-se pelo uso de imagens multi-espectrais, com o cálculo do índice de vegetação Normalizada – NDVI. Bandas de imagens multiespectrais de satélite podem ser combinadas com a finalidade de melhorar a interpretação dos padrões tonais e de textura das imagens. Diferentes composições coloridas podem destacar nessas imagens, alvos de interesse de acordo com o estudo desejado (SILVA, 2014).

O primeiro passo para a elaboração do estudo foi o de corrigir os efeitos atmosféricos presentes nas imagens. Os parâmetros atmosféricos como umidade atmosférica, presença de aerossóis, entre outros, podem interferir na medida da reflectância dos alvos a serem estudados. Considera-se que, os efeitos atmosféricos constituem grandes obstáculos à padronização dos dados, para permitir a construção de

mosaicos e realizar análises de dados multi-temporais. Desta forma é necessário o tratamento preliminar das imagens (NOVO, 2010; CAMPBELL, 1993).

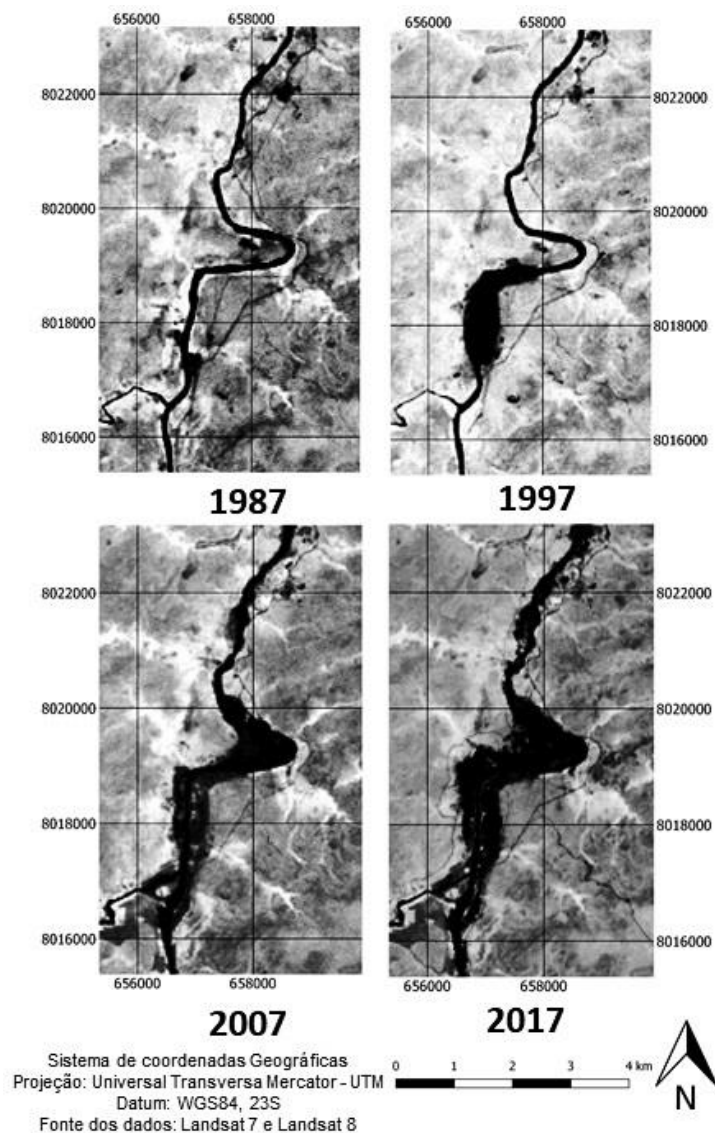
Para este optou-se pelo método *Dark Object Subtration* - DOS. Este método minimiza os efeitos causados pelas interferências atmosféricas (FRAGAL, MONTANHER, 2011). O método DOS permite ao usuário selecionar um modelo de dispersão atmosférico, e prever valores para a interferência com a normalização dos ganhos e deslocamentos para as bandas utilizadas a partir de um valor de interferência atmosférica inicial. Este procedimento utiliza apenas informações contidas nos dados da imagem digital, que se baseiam na correção do número digital (CHAVEZ JR, 1988). Os números digitais são valores numéricos proporcionais aos valores de radiância (intensidade), medida em diferentes faixas espectrais. Sua relação com a radiância é direta. Assim, quanto maior for o valor da radiância, maior será o valor do Número digital (SHIMABUKURO, PONZONI, 2017).

Após o tratamento atmosférico das imagens foi calculado o Índice de vegetação por diferença normalizada, para identificar as áreas onde a vegetação não se encontra presente, devido a supressão da mata ciliar ao longo da drenagem do rio Jequitinhonha, diante da expansão das áreas de lavra mineral presentes na região.

A utilização do índice de vegetação foi realizada pela primeira vez em 1973 com a análises das imagens do satélite *Earth Resources Technology Satellite 1* (ERTS-1), popularmente conhecido como Landsat 1, onde se procurou correlacionar os níveis das bandas com a biomassa verde e o conteúdo de umidade na vegetação (ROUSE et al., 1973). Embora alguns estudos anteriores já correlacionassem a utilização das bandas do infravermelho com a banda do vermelho para monitorar biomassa, Rouse foi o primeiro a diminuir o erro encontrado onde anteriormente se utilizava a razão entre o Infravermelho pela banda vermelha (TUCKER, 1979). Isto ocorre pois na região do visível a baixa reflectância é decorrente da absorção da radiação solar pela ação dos pigmentos fotossintetizantes, enquanto na região do infravermelho próximo a alta reflectância decorre do espalhamento da radiação eletromagnética pela estrutura celular (PONZONI et al., 2019). A utilização do índice de vegetação por diferença normalizada (NDVI) ocorre pela diferença entre as bandas do infravermelho próximo e a banda vermelho, dividido pelo somatório destas.

O NDVI indica a presença de cobertura vegetal no pixel, e seus valores variam de -1 a +1, sendo o valor máximo a resposta obtida em pixels com vegetação densa em estágio

avançado de crescimento (TEIXEIRA et al., 2017). Desta forma valores máximos próximo do mínimo são indicativos de áreas não produtivas e não vegetadas como centros urbanos. Enquanto valores máximos representam áreas que contem vegetação saudável (LENNEY et al., 1996). A representação nas imagens ocorre nos tons mais próximos da cor preta para a mínima respostas, onde se encontram áreas com ausência de vegetação e para áreas de cor próximo do branco para as áreas de maior vegetação, desta maneira as áreas sem vegetação se destacam de áreas com vegetação presente, facilitando a delimitação das áreas de lavra como mostra a Figura 3. A água apresenta uma resposta muito próximo ao valor mínimo, muito próxima a resposta espectral apresentada pelas áreas com ausência de vegetação.



**Figura 3** – Imagem NDVI ressaltando as áreas com ausência de vegetação, em um trecho da área de análise e seu comportamento durante os 40 anos de estudo.

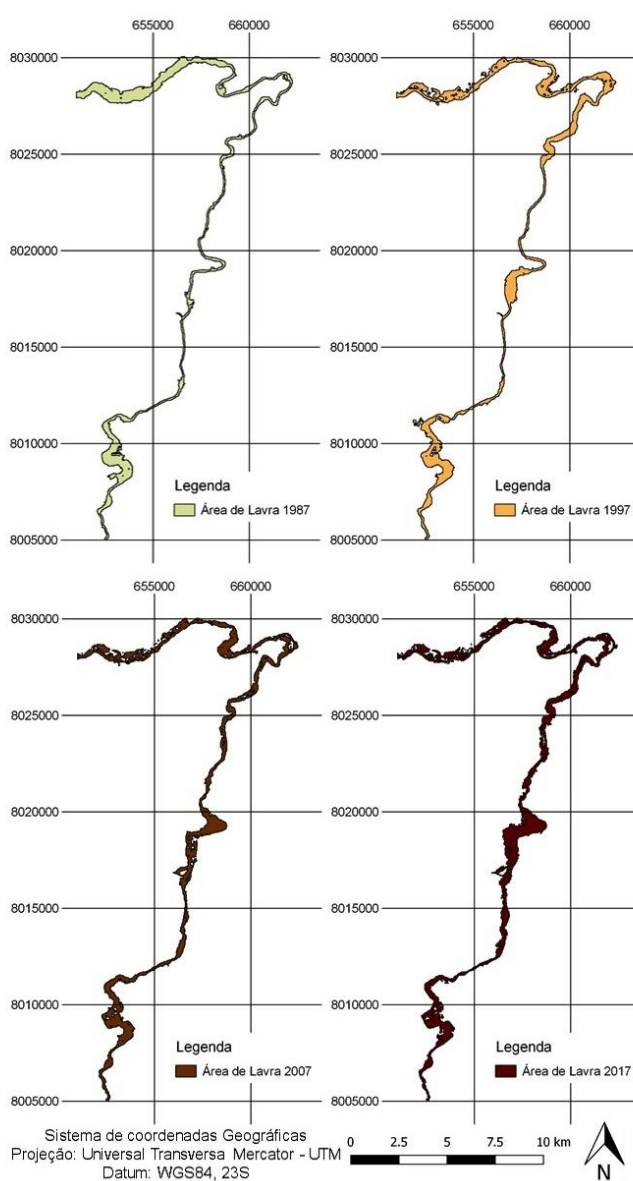
Não existe um padrão para a quantificação da vegetação implícito para os valores similares dos pixels nas análises multi-temporais utilizando o NVDI (LENNEY et al., 1996). Diferentes imagens podem sofrer influência da variação das condições atmosféricas e da direção da refletância gerando diferentes respostas em suas bandas espectrais (TUCKER, 1984). Pela ausência de um padrão nas respostas das bandas espectrais, se fez necessário a análise das imagens de cada período de forma distinta e individual, para gerar os limites das áreas afetadas pela atividade de extração mineral. Para Quinto (2013) as avaliações dos índices de vegetação podem ser feitas tanto pela análise estatística descritiva dos dados quanto pela comparação dos níveis de cinza das imagens, e desta forma se optou pela análise das imagens por seus níveis de cinza.

Após a preparação das imagens, foi realizada a classificação supervisionada das áreas com ausência de vegetação baseado em suas assinaturas espectrais. Para este processo foi utilizado o semi-automatic classification plugin, versão 5.4.2 para o QGIS 2.18. Na classificação supervisionada o usuário identifica alguns dos “pixels” (elementos de resolução) pertencentes às classes desejadas e deixa ao computador a tarefa de localizar todos os demais pixels pertencentes àquelas classes, baseado em alguma regra estatística pré-estabelecida (BERNARDI et al., 2007). O analista deve ter conhecimentos suficientes de campo e do comportamento espectral de alvos presentes na área de estudo, tanto naturais como antropizados para que limiares de desmatamento não sejam aplicados em áreas já antropizadas (BAYMA et al., 2015).

O método de classificação supervisionados por pixel, de forma simplificada, demanda duas fases: treinamento e classificação. O treinamento consiste na seleção de amostras representativas do comportamento espectral dos variados tipos de uso e cobertura do solo da área analisada. As amostras selecionadas treinam o algoritmo de classificação para mapeamento das classes temáticas. Classificadores por pixel utilizam a informação espectral de cada pixel para encontrar regiões homogêneas, as quais são divididas em polígonos que contém características espectrais e espaciais relativamente homogêneas, para serem utilizadas como amostras de treinamento (REIS et al., 2015). Esse método de classificação pixel a pixel minimiza falhas de interpretação, caso a seleção de parâmetros fornecidos para treinar o algoritmo estejam corretos. Após a geração automática das imagens, baseado no intervalo de valores, foram separadas apenas as áreas de desenvolvimento de lavra às margens do rio Jequitinhonha.

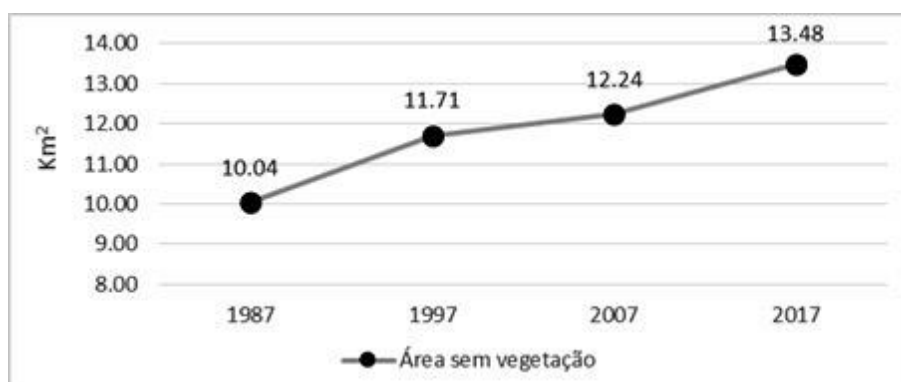
## Resultados e discussões

Com o auxílio da classificação supervisionada foram criados quatro polígonos das áreas nas margens do rio Jequitinhonha, referente à cada imagem analisada, onde a vegetação estava ausente às margens do rio Jequitinhonha, conforme a Figura 4. Para aferição destes dados foram importadas e comparadas as imagens temporais do *Google Earth Pro* versão 7.1.8.3036. Após confirmação dos dados, foi realizada locação em campo, com o auxílio de GPS de mão, para confirmação dos dados presentes na imagem do ano de 2017.



**Figura 4** – Área com ausência de vegetação às margens do rio Jequitinhonha, em área afetada pela atividade mineral. As imagens representam os anos de 1987, 1997, 2007 e 2017.

Com os polígonos criados para cada período, foram calculadas as áreas de cada um separadamente, os quais apresentaram a ausência de vegetação nas margens do rio Jequitinhonha. Uma breve estimativa da área afetada pelo impacto ambiental do empreendimento mineral pode ser observada na Figura 5 e Tabela 2, onde são vistas as diferenças da área afetada percentualmente.

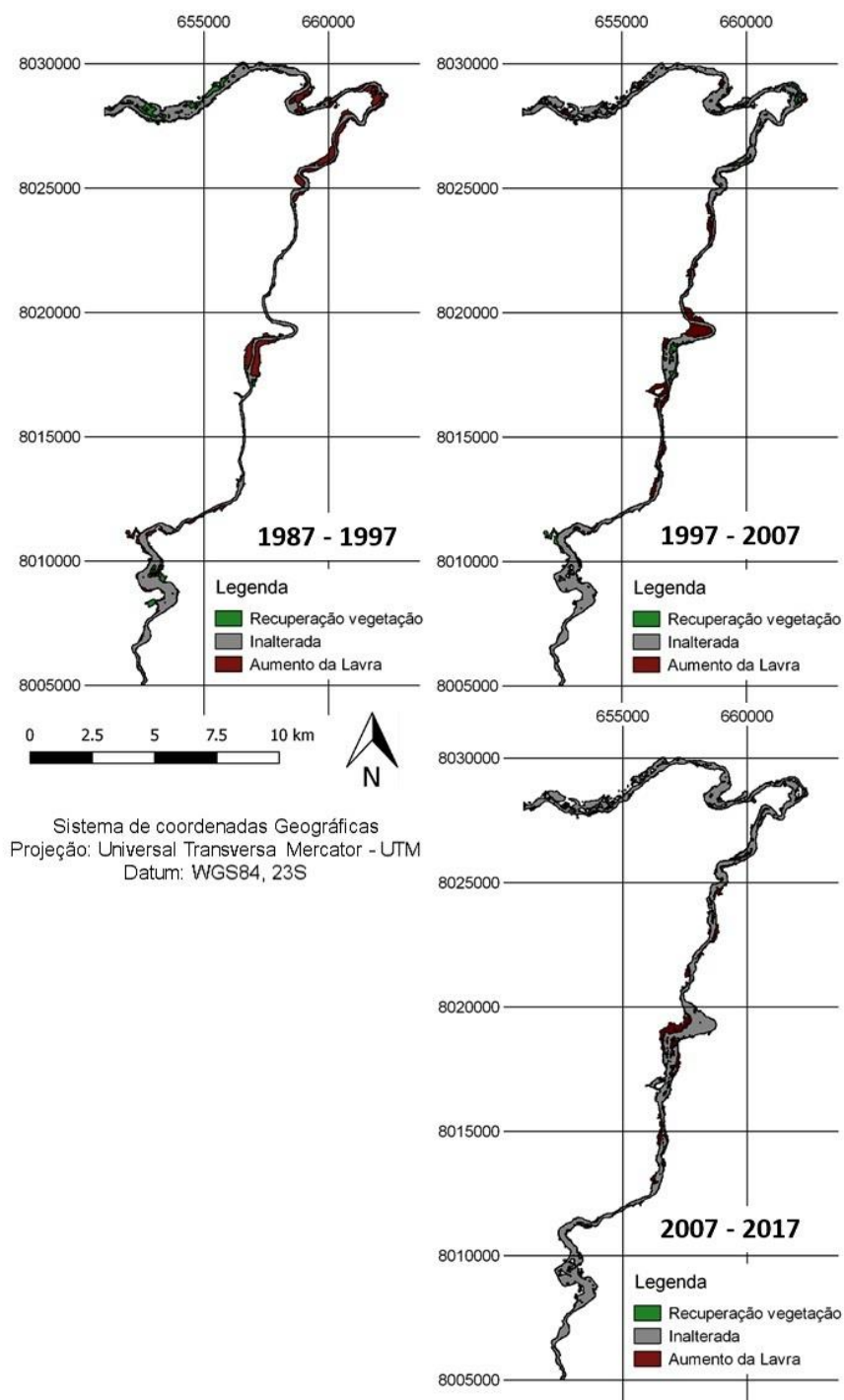


**Figura 5** – Área com ausência de vegetação às margens do rio Jequitinhonha, em área afetada pela atividade mineral. As imagens representam os anos de 1987, 1997, 2007 e 2017.

**Tabela 2** – Área com ausência de vegetação, afetada pela atividade de extração mineral (Km<sup>2</sup>).

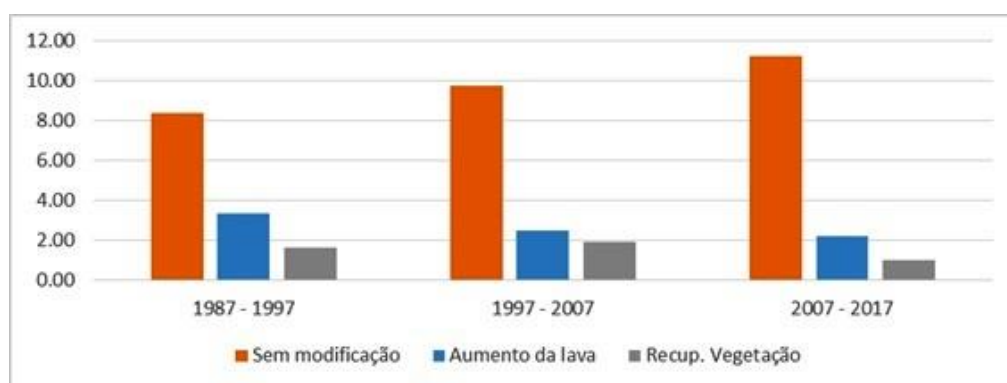
Área	1987	1997	2007	2017
Área sem vegetação (km <sup>2</sup> )	10,04	11,71	12,24	13,48
Aumento da área sem vegetação (km <sup>2</sup> )	-	1,67	0,53	1,24
Aumento da área sem vegetação (%)	-	14.2%	4.4%	9.2%

Com a criação dos polígonos referentes a cada imagem, foram calculadas as diferenças nas áreas para cada períodos de 10 anos, entre os anos de 1987 – 1997, 1997 – 2007 e 2007 – 2017. Esta análise dividiu cada período em três classes diferente: Áreas inalteradas, as quais não sofreram alterações no intervalo entre duas imagens; Áreas de recuperação da vegetação onde em uma primeira análise o terreno se encontrava sem vegetação e em análise posterior as imagens demonstraram a presença da mesma, e áreas de redução da vegetação as quais era observada a presença de vegetação a qual não está mais presente. Esta análise pode ser observada na Figura 6.



**Figura 6** – Classificação das áreas de acordo com a presença da vegetação para cada período de 10 anos.

O cálculo da diferença da área de cada período de 10 anos demonstrou, um aumento contínuo na expansão da lavra, enquanto, as áreas com recuperação de vegetação apresentaram uma retração, como mostra o gráfico da Figura 7 juntamente com a Tabela 3.



**Figura 7** – Quantificação das áreas afetadas pela lava das atividades minerais (Km2).

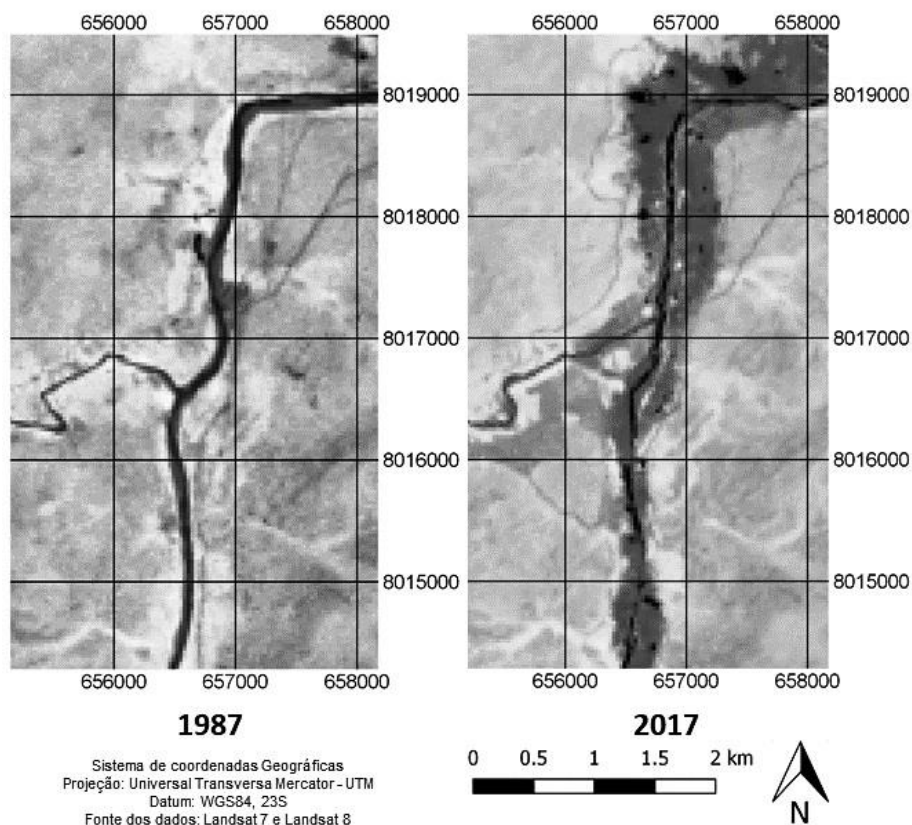
**Tabela 3** – Quantificação das áreas afetadas pela lava das atividades minerais (Km2).

Vegetação (Km <sup>2</sup> )	1987 - 1997	1997 - 2007	2007 - 2017
Recuperação da vegetação	1,67	1,96	1,01
Sem modificação	8,40	9,77	11,23
Aumento da lava	3,36	2,48	2,25

Esta análise permitiu observar de que modo a atuação das atividades minerais ocorreram, e em qual período de tempo, essas áreas foram afetadas. Deste modo, é possível afirmar que a atividade de extração mineral apresentou um desenvolvimento do Norte para o Sul, durante os anos de 1987 até o ano de 2007, período no qual, a extração mineral foi realizada por grandes empresas de mineração. Após o ano de 2007, a exploração das jazidas ocorreu pela ação de cooperativas de garimpeiros. Para este período de dez anos, entre os anos de 2007 e 2017, observou-se que, as atividades foram intensificadas na região próxima a desembocadura do rio Caeté-Mirim, afluente pela margem esquerda do rio Jequitinhonha. Pontualmente, são observadas lavras garimpeiras em áreas exploradas anteriormente pelas empresas de mineração, reprocessando material já lavrado. Estas regiões retrabalhadas podem ocorrer sobre locais com o retorno da vegetação, assim, como áreas que já estavam sendo afetadas pelo processo de desmatamento. Esta retomada de áreas anteriormente lavradas ocorre pela busca de diamantes menores, que, as grandes dragas não conseguiram processar. Quando, esta atividade ocorre em áreas que já estavam sem vegetação, não é possível definir um novo impacto para esta área, tendo em vista, que a utilização das imagens de satélite associadas ao NDVI só define áreas como a ausência ou presença de vegetação.



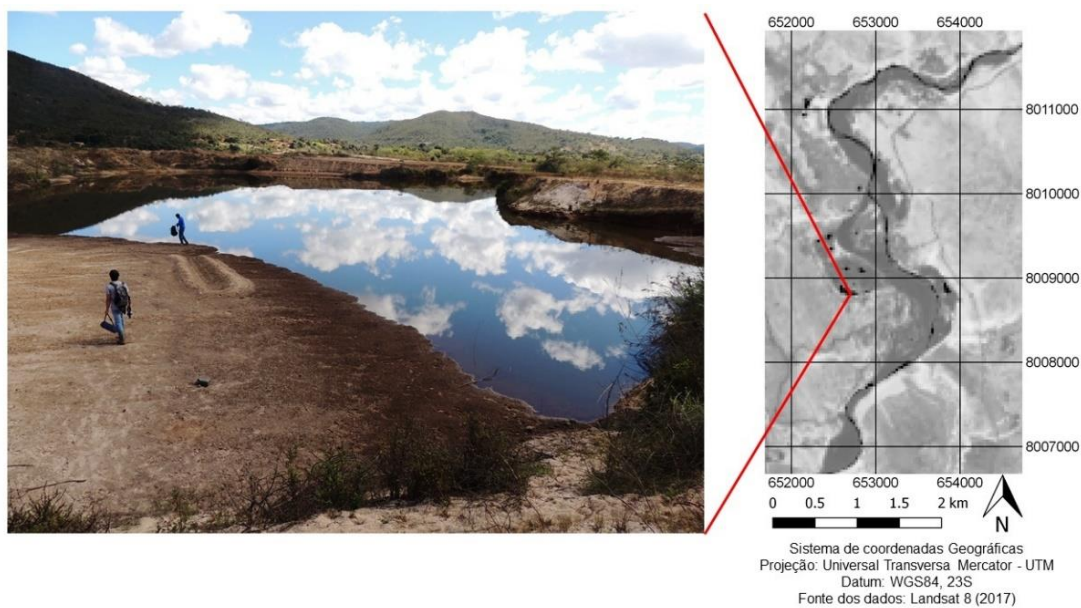
As imagens de satélite, também permitiram observar as mudanças ocorridas na morfologia do canal fluvial, e áreas do entorno, decorrentes de atividades antrópicas intensivas. As análises demonstraram importantes alterações nas feições meandranteras e, o surgimento de uma tendência morfológica de canal retilíneo ao longo do segmento fluvial. Os meandros são característicos da dinâmica fluvial, e representam a forma de equilíbrio em função da lei do menor esforço ou da melhor distribuição da energia (CHRISTOFOLETTI, 1981), como mostra a Figura 8. Ao modificar a calha fluvial, ocorre indiretamente mudanças na dispersão dos sedimentos, variação na deposição conforme a distribuições granulométricas e, alteração no tipo de fluxo das drenagens. Para Kondolf (1997) ao analisar minerações de cascalho nos leitos fluviais, removendo os sedimentos do canal, se interrompe o equilíbrio pré-existente entre oferta de sedimentos e capacidade de transporte, normalmente induzindo uma incisão a montante e a jusante do local de extração. Desta forma, a modificação na morfologia dos canais fluviais, esta associada a variação dos padrões e taxas de deposição de sedimentos ao longo dos leitos fluviais.



**Figura 8** – Comparação das imagens de 1987 e 2017, onde é possível observar as alterações na morfologia do canal fluvial, com uma suavização de seus meandros e a tendência a uma morfologia retilínea. Na mesma imagem também pode-se observar a mudança do ponto de intercessão do rio Caeté-Mirim com o rio Jequitinhonha.

A mineração, em planícies de inundação, também é responsável pela supressão da vegetação ripária, e na sequência, a abertura das cavas de mineração. Na área pesquisada, estas depressões fechadas em forma de lagoas formam ao longo da planície aluvial um “complexo lagunar artificial”, apresentando morfologia circulares e semi-circulares e bordas irregulares, com profundidades que podem atingir dezenas de metros sem interligação com nenhum sistema de drenagem. Sazonalmente, dependendo da vazão, podem ser interceptados pelo trajeto do rio principal.

Este impacto ambiental negativo, causado pela mineração, pode ser observado nas imagens orbital do satélite Landsat 8 como indica a Figura 9. Segundo Araújo (2017) essas lagoas acumulam sedimentos apresentando teores elevados de metais pesados estabelecendo-se como passivos ambientais. Os metais presentes nos sedimentos e confinados nessas lagoas podem ser carregados para o rio Jequitinhonha, onde, o aumento da vazão e do nível da água do rio, podem reconectar estas lagoas ao seguimento fluvial.



**Figura 9** – Mostra as cavas abandonadas de mineração, formando pequenas lagoas fechadas, apresentando morfologia semicircular e bordas irregulares, inseridas dentro da planície aluvial do rio Jequitinhonha.

## Conclusões

A utilização de imagens de Satélite Landsat 5, 7 e 8 é uma ferramenta efetiva na avaliação de mudanças ambientais causadas pela atividade antrópica relacionada ao desmatamento de novas áreas, porém esta análise somente avalia a área do impacto, não sendo possível estimar a quantidade de material remobilizado entre cavas e pilhas de

estéril. Para a utilização desta ferramenta deve ser levado em conta que embora apresente uma resolução espacial satisfatória, a sua resolução temporal pode ser um impeditivo para a utilização em áreas que o cálculo do desmatamento seja para curtos períodos de tempo.

A classificação supervisionada é um poderoso instrumento, desde que na fase de treinamento, as análises sejam realizadas junto ao suporte de imagens de satélite de melhores resolução espacial e trabalho de campo para a confirmação das áreas a serem classificadas. Caso a fase de treinamento do software não seja feita sem os devidos cuidados, a fase de classificação poderá gerar erros e um cálculo de área errado para a área com ausência de vegetação.

A comparação temporal e espacial das imagens favoreceu a identificação dos estilos e feições fluviais, apontando alterações no quadro evolutivo e dinâmico nos padrões de drenagem e no aporte sedimentológico. O uso e ocupação da terra fundamentam-se, como a principal causa dessas alterações morfológicas. Planos de gerenciamento ambiental e análises de recuperação ambiental devem ser estudados para minimizar o problema, sendo que, a atividade de extração mineral pode ocorrer em paralelo a áreas anteriormente lavradas.

## **Referências**

ALMEIDA-ABREU, P. A. O Supergrupo Espinhaço da Serra do Espinhaço Meridional (Minas Gerais): O rifte, a bacia e o orógeno. *Revista Geonomos*, Belo Horizonte, n. 3, v. 1, p. 1-18, 1995.

ALMEIDA-ABREU P. A. O caminho das pedras. *Revista Geonomos*, Belo Horizonte, n.20. 1996. p.77 – 93.

ALMEIDA-ABREU, P. A. & RENGER, F. E. Origem dos diamantes da serra do espinhaço meridional: O exemplo do distrito diamantífero de sopa-guinda (Diamantina - MG). *Revista Brasileira de Geociências*. v. 31(4), p. 511-520, 2001.

ARAÚJO, A. D.; FREITAS, M. O; MOURA, L. C; BAGGIO, H; CAMBRAIA, R. P. Avaliação geoquímica ambiental do Garimpo Areinha: Estudo da concentração e distribuição de metais pesados nos sedimentos e os danos à saúde humana. *Hygeia - Revista Brasileira de Geografia Médica e da Saúde*, v. 13, p. 98-113, 2017.

ASSEMBLEIA LEGISLATIVA DE MINAS GERAIS. Decreto nº 29.907, de 2 de agosto de 1989. *Diário do Executivo*. 03/08/1989. p. 1\_col2, Minas Gerais, MG. 1989.

BAGGIO, H; HORN, A. H. Contribuições naturais e antropogênicas para a concentração e distribuição de metais pesados em sedimento de corrente no rio do formoso, município de Buritizeiro – MG. *Revista Geonomos*, v. 16., n. 2, p. 91 - 98, 2008.

BAGGIO, H; RODRIGUES, F. C; TRINDADE, W. M. Morfologia Cárstica do Maciço Quartzítico da Gruta do Salitre, Diamantina–MG. *Caminhos de Geografia*, v.13, n. 43, p. 102 - 113, 2012.

BAYMA, A. P.; SANO, E. E. Séries temporais de índices de vegetação (NDVI e EVI) do sensor MODIS para detecção de desmatamentos no bioma cerrado. *Bol. Ciência Geodésica.*, Curitiba, v. 21, n. 4, p. 797-813, 2015.

BERNARDI, H. V. F.; DZEDZEJ, M.; CARVALHO, L. M. T.; ACERBI JÚNIOR, F. W. Classificação digital do uso do solo comparando os métodos “pixel a pixel” e orientada ao objeto em imagem QuickBird. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13, 2007, Florianópolis. *Anais*. São José dos Campos: INPE, 2007. p. 5595-5602.

BRASIL. Ministério do Meio Ambiente (MMA). Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA). *Resolução CONAMA nº 001, de 23 de janeiro de 1986*. Dispõe sobre critérios básicos e diretrizes gerais para a avaliação de impacto ambiental.

CAMPBELL, J. B. Evaluation of the dark-object subtraction technique for adjustment of multi-spectral remote sensing data. *Proceedings of the SPIE*, 1819, p.176–187. 1993.

CHAVES M. L .S. C & CHAMBEL, L. Diamantes do médio rio Jequitinhonha, Minas Gerais: qualificação gemológica e análise granulométrica. *Rev. Esc. Minas*, v.57 n.4, Ouro Preto. 2004.

CHAVES M. L. S. C; KARFUNKEL, J; SVISERO D.P. Sobre a polêmica da origem do diamante na Serra do Espinhaço (Minas Gerais): um enfoque mineralógico. *Rev. Brasileira de. Geociências*. n.28. 1998. p. 295-294.

CHAVES, M. L. S. C.; UHLEIN, A. (1991) Depósitos diamantíferos da região do Alto/Médio Jequitinhonha, Minas Gerais. In: SCHOBENHAUS, C. et alii. (eds.), *Principais Depósitos Minerais do Brasil*. v.IV-A. Brasília: CPRM/DNPM. p.117-138.

CHAVEZ JR, P. S. An improved dark-object subtraction technique for atmospheric scattering correction for multispectral data. *Remote Sensing of Environment*, 24, p.459-479, 1988.

CHRISTOFOLETTI, A. *Geomorfologia fluvial*. São Paulo: Ed. Blucher, v.1, 1981. 313p.

CONSELHO NACIONAL DO MEIO AMBIENTE (CONAMA). Resolução nº 001, de 23 de janeiro de 1986. *Estabelecerem as definições, as responsabilidades, os critérios básicos e as diretrizes gerais para uso e implementação da Avaliação de Impacto Ambiental como um dos instrumentos da Política Nacional do Meio Ambiente*. Disponível em: < <http://www2.mma.gov.br/port/conama/res/res86/res0186.html>>. Acesso em: 06 Mar. 2019.

DUPONT, H. *Jazida aluvionar de diamante do rio Jequitinhonha (MG)*. In: SCHOBENHAUS, C. et alii. (eds.). *Principais Depósitos Minerais do Brasil*, v.IV-A. Brasília: CPRM/DNPM, p.139-148, 1991.

FRAGAL, E. H.; MONTANHER, O. C. Correções atmosféricas 6s e DOS na caracterização espectral de alvos naturais de Ilha Grande utilizando dados do sensor TM 5. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 15. (SBSR). 2011, Curitiba. *Anais...* São José dos Campos: INPE, p. 7456-7463, 2011.

GONÇALVES, R. N. *Diagnóstico ambiental da bacia do rio Jequitinhonha: diretrizes gerais para a ordenação territorial*. IBGE, Diretoria de Geociências IBGE, Salvador, 1997. 64p.

INSTITUTO METEOROLÓGICO DO BRASIL – INMET. *Normais climatológicas do Brasil, período 1981 – 2010*. Disponível em: <<http://www.inmet.gov.br/portal/index.php?r=clima/normaisClimatologicas>>. Acesso em: 26 Out. 2019.

IRONS, J. R.; KENNARD, R. L. The utility of Thematic Mapper sensor characteristics for surface mine monitoring. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v.52, n.3, p.389 -396, 1986.

KONDOLF, G. M. Hungry Water: Effects of Dams and Gravel Mining on River Channels. *Environmental Management*, v. 21, n. 4, p. 533–55, 1997.

LENNEY, M. P.; WOODCOCK, C.E.; COLLINS, J. B.; HAMDI, H. The status of agricultural lands in Egypt: The use of multitemporal NDVI features derived from landsat TM. *Remote Sensing of Environment*, V. 56, Issue 1,1996. p. 8 – 20.

MELLO, A. Y. I.; ALVES, D. S.; LINHARES, C. A.; LIMA, F. B. Avaliação de técnicas de classificação digital de imagens landsat em diferentes padrões de cobertura da terra em Rondônia. *Rev. Árvore*, Viçosa, v. 36, n.3, p. 537-547, June 2012.

MENDONÇA FILHO, C. V. Vegetação. In: SILVA, A. C.; PEDREIRA, L. C. V. S. F.; ABREU, P. A. A. O. (Org.). *Serra do Espinhaço Meridional: Paisagens e ambientes*. O Lutador, 2005, 271p.

NOVO, E. M. L. *Sensoriamento Remoto: Princípios e aplicações*. 4 ed. São Paulo. Editora Blucher. 2010. 387p.

PETTORELLI, N.; VIK, J.O.; MYSTRERUD, A.; GAILLARD, J.M.; TUCKER, C.J.; STENSETH, N.C. Using the satellite-derived ndvi to assess ecological responses to environmental change. *Trends Ecology and Evolution*, 2005. v. 20, n.9, p.503 – 510.

PONZONI, F. J.; SHIMABUKURO, Y. E.; KUPLICH, T. M. *Sensoriamento Remoto da Vegetação*. 2. Ed. Atualizada e ampliada – São Paulo: Oficina de textos, 2012. 160p.

QUINTO, V. M.; MAGALHÃES I. A. L.; OMENA M. S.; PENA F. E. R.; CHIBA M. L.; SANTOS A. R.; Análise temporal da dinâmica florestal em área de reflorestamento por

meio de índices de vegetação. *Revista Geográfica Venezuelana*, Vol. 54(2), p.225-239, 2013.

REIS, J. B. C.; SAAVEDRA, O. F. C. Comparação de métodos de classificação para reconhecimento de corpos d'água em imagens do sensor OLI do Landsat8. *Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR*, João Pessoa: INPE, 25 a 29 de abril de 2015.

ROUSE, J. W.; HAAS, R. H.; SCHELL J. A.; DEERING, D.W. Monitoring vegetation systems in the great plains with ERTS. In: *EARTH RESOURCES TECHNOLOGY SATELLITE-1 SYMPOSIUM*, 3., Washington, D.C., 1973. Proceedings. Washington, D. C.: NASA. Goddard Space Flight Center, 1973. v.1, p.309-317.

SAADI, A. A geomorfologia da Serra do Espinhaço em Minas Gerais e de suas margens. *Revista Geonomos*, [S.l.], July 1995.

SALGADO, A. A. R; VALADÃO, R. C. Contribuição da Desnudação Geoquímica na Evolução da Erosão Diferencial no Espinhaço Meridional-MG. *Revista Brasileira de Geomorfologia*, v. 4, nº 2, p. 31 – 40, 2003.

SAMSON, S. Two indices to characterize temporal patterns in the spectral response of vegetation, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. v.59, n.4, p. 511–517. 1993.  
SANTOS, A. S.; SILVA R. G. Garimpo de Areinha: Espaço de convivência, cultura histórica, exclusão e esperança. Por um processo de cidadania e direitos humanos, um dilema. *Anais do II Simpósio de História do Direito – Democracia, Cidadania e Direitos Humanos*, Diamantina: Universidade do Estado de Minas Gerais – Unidade Diamantina, p. 25-34, 2015.

SANTOS, J. F. *Memórias do districto diamantino da comarca do Sêrro Frio (Província de Minas Gerais)*. Rio de Janeiro: Tipografia Americana, 1868, p.413.

SCLIAR, C. Dotação mineral, meio ambiente e desenvolvimento no Alto Jequitinhonha. *Revista Geonomos*, v.3, n.1, p.65-75, 1995.

SHIMABUKURO, Y. E.; PONZONI, F. J. *Mistura Espectral: modelo linear e aplicações*. São Paulo: Oficina de Textos, 2017. 127p.

SILVA, O. F. *Análise de imagens multitemporais do sensor TM Landsat-5 da vegetação do cerrado, utilizando técnicas NDVI, no Parque nacional das Emas – Goiás*. 96 f. 2014. Mestrado em tecnologia de processos sustentáveis, Instituto Federal de educação ciência e tecnologia de Goiás. Goiânia, 2014.

TEIXEIRA, A. M.; CANDEIAS, A. L. B.; TAVARES JUNIOR, J. R. Comparação dos índices de vegetação para imagens TM/Landsat 5, com correção e sem correção atmosférica. *Revista Brasileira de Geomática*, Curitiba, v. 5, n. 4, p. 524-542, out/dez. 2017.

TOWNSEND, P. A.; HELMERS, D. P.; KINGDON, C. C.; MCNEIL, B. E.; de BEURS, K. M.; ESHLEMAN, K. N. Changes in the extent of surface mining and reclamation in the

Central Appalachians detected using a 1976 - 2006 Landsat time series. *Remote Sensing of Environment*, vol. 113, issue 1, 2009. p. 62 – 72.

TUCKER C. J. Red and photographic infrared linear combinations for monitoring vegetation. *Remote Sensing of Environment*, 8, p.127-150, 1979.

TUCKER, C. J.; GATLIN, J. A.; SCHNEIDER, S. R. Monitoring vegetation in the Nile Delta with NOAA-6 and NOAA-7 AVHRR imagery, *Photogrammetric Engineering & Remote Sensing*. v.50, n.1, p.53-61, 1984.

UHLEIN A., TROMPETTE R., EGYDIO-SILVA M. Rifeamentos superpostos e tectônica de inversão na borda sudeste do Cráton São Francisco. *Revista Geonomos*, 3 (1), p. 99-107, 1995.