

CONFLITO DO USO DO SOLO EM APP ADJACENTES NO BAIXO RIO DOCE, CONSIDERANDO O ROMPIMENTO DA BARRAGEM DE FUNDÃO

Tiago Trevenzoli Siqueira¹, Fabricia Benda de Oliveira¹, Mirna Aparecida Neves¹, Carlos Henrique Rodrigues de Oliveira², Camili Cezar Gutter¹, Rhian Santos Barbosa¹

¹Universidade Federal do Espírito Santo, Alto Universitário, s/n, CP 16, Guararema - 29500-000, Alegre-ES, Brasil, tiagotrevenzolisiqueira@gmail.com, fabricia.oliveira@ufes.br, mirna.neves@ufes.br, carlos.oliveira@ifes.br, camilicezargutter05@gmail.com, rhian.rsb@gmail.com.

²Instituto de Educação, Ciência e Tecnologia do Espírito Santo, Rodovia ES-482, Km 47, Distrito de Rive - 29500-000, Alegre - ES, Brasil, carlos.oliveira@ifes.edu.br.

Resumo

O rompimento da barragem de Fundão despejou resíduos de minério de ferro no rio Doce, afetando a qualidade de suas águas, sedimentos e matas ciliares. A bacia hidrográfica do rio Doce apresenta uma diversidade de usos, que impactam a qualidade de suas áreas adjacentes. Neste contexto, o presente trabalho teve como objetivo quantificar as áreas de conflito de uso do solo em Áreas de Preservação Permanente (APP) afetadas pelo resíduo do rompimento, na região do Baixo Rio Doce, utilizando técnicas de geoprocessamento e dados do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR). Foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8 para geração do mapa de uso e cobertura do solo e o Cadastro Ambiental Rural (CAR). As propriedades foram agrupadas de acordo com o módulo fiscal e, em seguida, delimitadas as áreas de APP. De acordo com os resultados, 65% das áreas de APP estão sendo ocupadas por atividades de pecuária e agricultura, evidencia-se que grande parte das propriedades é irregular quanto à preservação e restauração das áreas de preservação. Assim, destaca-se a importância da manutenção e conservação dos cursos hídricos, bem como das medidas de recuperação.

Palavras-chave: Baixo Rio Doce. Landsat 8. Módulo fiscal. Classificação supervisionada.

Área do Conhecimento: Ciências Exatas e da Terra

Introdução

A Bacia Hidrográfica do Rio Doce situa-se na Região Sudeste do Brasil, abrangendo parte dos estados de Minas Gerais e do Espírito Santo. Dispõe de uma extensão total de 853 km e uma grande área de drenagem, com cerca de 83.465 km², dos quais 86% pertencem ao estado de Minas Gerais e o restante ao estado do Espírito Santo. Integra 230 municípios (COELHO, 2007; GUEVARA *et al.*, 2018), sendo assim, uma bacia hidrográfica de âmbito Federal. Compreende um importante Bioma (Mata Atlântica), que está entre os biomas mais ameaçados e fragmentados do mundo, restando apenas em torno de 13% da sua cobertura florestal original (FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA, 2020).

A área de estudo, situa-se entre a divisa dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo e a foz, na região do Baixo Rio Doce, em Regência, distrito de Linhares (ES), e assim como toda bacia hidrográfica, é fortemente impactada pelos usos tradicionais a que tem se destinado.

Por sua vez, o Cadastro Ambiental Rural (CAR) é uma ferramenta de controle da situação ambiental rural nacional, principalmente para Áreas de Preservação Permanentes (APP) e Reservas Legais (RL), pois nas análises de uso e ocupação do solo realizadas durante sua elaboração, são utilizadas imagens de satélites, que permitem quantificar os diversos usos ambientais da área analisada.

No dia 5 de novembro de 2015, na Barragem de Fundão localizada em Mariana (MG), mais de 50.000.000 m³ de resíduos provenientes do beneficiamento de minério de ferro (FERNANDES *et al.*, 2016; SEGURA *et al.*, 2016; CARMO *et al.*, 2017) foram lançados no Rio Doce.

Os estudos da dinâmica de uso e ocupação do solo, tornam-se primordiais para o monitoramento, controle e planejamento racional da utilização do uso da terra, pois possibilita delimitar as causas e

propor ações que possam mitigar e/ou compensar as degradações ambientais causadas (ARAÚJO *et al.*, 2013; PEREIRA *et al.*, 2016).

Diante deste cenário, observa-se a importância da realização de estudos na Bacia hidrográfica do Rio Doce, dada a degradação do bioma da Mata Atlântica, reduzindo-se a fragmentos florestais pequenos e espaçados, resultando na alteração significativa dos ecossistemas ali presentes.

Metodologia

Primeiramente foi realizado o levantamento bibliográfico, levando-se em consideração os tópicos abordados no trabalho, consultando artigos científicos, teses, dissertações e livros. Posteriormente, foi realizada a análise do ambiente geográfico, para isso utilizou-se a ferramenta Google Earth Pro, para verificação do tipo de topografia, vegetação, curso hídrico, entre outros aspectos da área de estudo.

Visando à realização dos estudos, foram selecionadas imagens do satélite Landsat 8 (*sensor Operational Land Imager - OLI-TIRS*) que possui resolução espacial de 30 metros e radiométrica de 16 bits. As imagens foram obtidas através do Catálogo de Imagens do INPE (DGI-INPE), nas datas 04/10/2015 e 13/07/2020 (respectivamente anterior ao rompimento da barragem e a segunda posterior), selecionadas de acordo com a qualidade disponível, menor percentual de cobertura de nuvens (inferior a 10%) e ausência de qualquer interferência.

Além disso, foram selecionadas imagens da área do dia 07/12/2015, logo após os rejeitos da barragem chegarem na foz, com o objetivo de identificar as áreas afetadas pelos resíduos provenientes do desastre.

Para processamento das imagens foi utilizado o *software* gratuito QGIS e realizada a composição falsa cor RGB (red, green, blue), utilizando-se das bandas 6 (infravermelho médio: 1,560 – 1,660 μm), 5 (infravermelho próximo: 0,845 – 0,885 μm) e 4 (vermelho: 0,630 – 0,680 μm), respectivamente.

Para o processamento das imagens, foi aplicada como máscara de recorte o Rio Doce na área de estudo mais um *buffer* de 1000 metros, com o intuito de trabalhar somente com a área de interesse. A metodologia adotada para a determinação do uso e ocupação do solo se baseou na classificação supervisionada, utilizando-se o algoritmo estatístico da máxima verossimilhança (MaxVer), onde foram coletadas amostras suficientes ao longo da área de estudo para a classificação, criando-se três grupos com parâmetros distintos, sendo eles: cobertura vegetal, solo exposto/ocupação e hidrografia.

A classificação foi antecedida pelo treinamento do algoritmo, que consiste na obtenção de amostras de pixels de classes pré-definidas, de modo que o algoritmo de classificação foi treinado para identificar e agrupar os pixels dentro das classes correspondentes, da melhor forma possível (SANTOS, 2018). Em seguida, com as imagens de 07/12/2015 foi criado um shapefile e através de fotointerpretação delimitou-se a maior cota atingida pelo resíduo na margem hidrográfica do rio Doce.

Posteriormente, foram obtidos os dados através do site do Sistema Nacional de Cadastro Ambiental Rural (SICAR), na data 11/04/2023, ou seja, os dados mais atualizados e disponíveis para *download*. Após, foram agrupadas as propriedades que possuem Cadastro Ambiental Rural (CAR), de acordo com módulo fiscal, como previsto pela Lei 8.629/1993. Dessa forma, as propriedades foram subdivididas em três grupos: Até 4 módulos fiscais; de 5 a 15 módulos fiscais; e superior a 15 módulos fiscais. Por fim, foram utilizadas bases de dados (SICAR) para calcular as áreas de APP, por propriedade, com o objetivo de quantificar o desmatamento presente na área de estudo. Assim, foi analisado e atribuído um parâmetro “Áreas de APP”, de forma que “Sim” significa que a propriedade rural está regular com as Áreas de Preservação Permanentes, e “Não” significa que a propriedade está irregular.

Após a criação dos mapas, foi realizado um trabalho de campo, no período de 22 a 24 de julho de 2023, nos municípios de Baixo Guandu, Colatina, Marilândia e Linhares, com o intuito de identificar e comparar as imagens captadas com auxílio de um drone multirrotor modelo DJI Mini 2, que são mais recentes e autorais, com as imagens obtidas pelo satélite Landsat 8.

Resultados

Para a execução do trabalho de campo foi necessário a captura de imagens, para auxiliar na identificação do estado que se encontra o ambiente da área de estudos, que permitiram o acesso a locais de difícil acesso e uma visão parcialmente maior para a comparação com as imagens de satélite, que são imagens com menor poder de precisão.

Na Figura 1 é possível analisar as visadas realizadas pelo drone durante a atividade de campo. A Figura 1A corresponde ao município de Baixo Guandu, onde é possível observar vegetação arbustiva de médio porte ao longo do rio, a presença de pequenos bancos de areia e parte das margens do rio sendo ocupada pela pastagem, além disso, ainda é possível notar a falta de áreas de APP em grande parte da área. A Figura 1B corresponde ao município de Colatina, onde é possível notar que sua margem está sendo ocupada por diversos tipos de atividades como cafeicultura, plantação de banana, pastagens, além de ter áreas com solo exposto. Assim, como na imagem anterior é possível notar apenas fragmentos de áreas de APP ao longo da extensão do rio. Já a Figura 1C corresponde ao município de Linhares, e nota-se uma mudança na paisagem, como principal característica a presença das áreas de APP ao longo das margens do rio, mas ainda assim é possível observar a presença de atividades antrópicas, como a pastagem entre outras, mas em menor escala, além disso a presença de bancos de areia na margem do rio é observada, assim como em outros pontos.

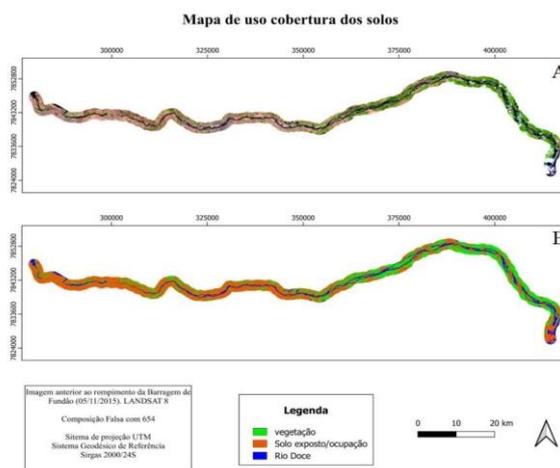
Figura 1 - Visualização parcial do Rio Doce com imagens captadas através de Drone A) em Baixo Guandu, B) em Colatina, e C) em Linhares



Fonte: os autores (2023).

Na Figura 2 são apresentados os resultados obtidos após o processamento das imagens, antes do rompimento da barragem (04/10/2015). Observa-se grande extensão de solo exposto, e poucas áreas com cobertura vegetal significativa. Na porção a sudeste da área a imagem apresentou uma maior concentração de nuvens, causando uma interferência no produto final.

Figura 2 - A) Composição falsa cor (RGB) e B) classificação gerada pelo algoritmo estatístico da máxima verossimilhança (MaxVer), da área de estudo do baixo rio Doce, em 04/10/2015, anterior ao rompimento da barragem de Fundão (MG).

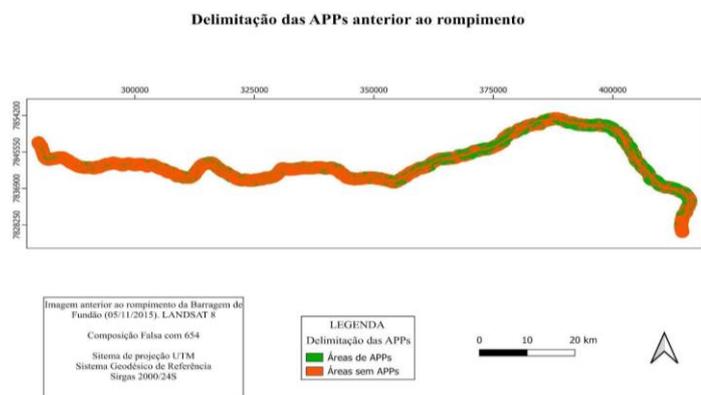


Fonte: os autores (2024).

A Figura 3 mostra a delimitação das APPs antes do rompimento da barragem, onde é possível observar que nos municípios de Baixo Guandu, Colatina e Marilândia a cobertura de áreas de APP era insignificante, demonstrando que praticamente sua totalidade está irregular, segundo o código florestal

(lei n. 12.651/2012) que estabelece área de preservação permanente total de vegetação natural a 30 metros do curso d'água, demonstrando como o curso d'água encontra-se vulnerável, ou seja, desprotegido pela falta de matas ciliares em sua margem. Já no município de Linhares, pode-se observar que grande parte ao longo do Rio Doce possuía área de preservação permanente de mata ciliar naquela ocasião.

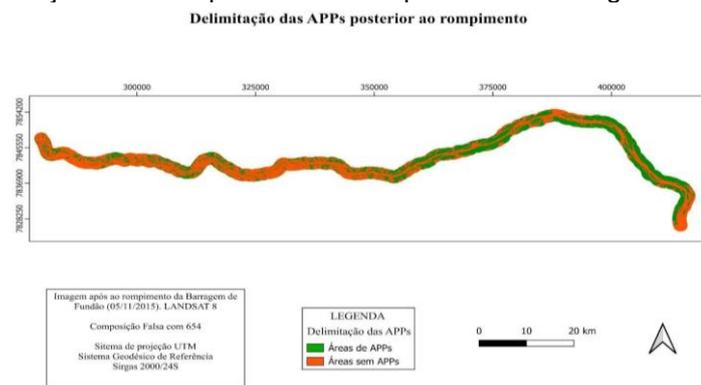
Figura 3 - Delimitação das APP antes do rompimento da barragem na área de estudo.



Fonte: os autores (2024).

A Figura 4, mostra a delimitação das APP posterior ao rompimento da barragem, onde é possível notar um aumento das APP próximo ao curso d'água, principalmente no município de Baixo Guandu, Colatina e Marilândia.

Figura 4 - Delimitação das APP posterior ao rompimento da barragem na área de estudo.



Fonte: os autores (2024).

As Tabelas 1 e 2 mostram, respectivamente, as matrizes de confusão para a classificação das imagens dos anos de 2015 e 2020, respectivamente. Ao analisar o índice de Kappa, anteriores ao rompimento (2015) 0,9986 e posteriores ao rompimento (2020) 0,9959, observa-se que as imagens foram classificadas com alto índice de concordância.

Tabela 1 - Matriz de confusão da classificação utilizando o algoritmo MaxVer em imagens Landsat 8, no ano de 2015.

Classes	Vegetação densa	Solo exposto/ocupação	Hidrografia	Total classificado
Vegetação densa	7737	15	0	7752
Solo exposto/ocupação	1	9109	0	9110
Hidrografia	0	0	10114	10114
Total Coletadas	7738	9124	10114	26976

Fonte: os autores (2024).

Tabela 2 - Matriz de confusão da classificação utilizando o algoritmo MaxVer em imagens Landsat 8, no ano de 2020.

Classes	Vegetação densa	Solo exposto/ocupação	Hidrografia	Total classificado
Vegetação densa	20749	19	1	20769
Solo exposto/ocupação	26	7406	0	7432
Hidrografia	0	0	13128	13128
Total Coletadas	20775	7425	13129	41329

Fonte: os autores (2024).

Discussão

Em conformidade com os cálculos das APPs delimitadas, as áreas antropizadas chegam a ultrapassar 65,23% dos solos das APPs da bacia do rio Doce na área estudada. As principais atividades realizadas são pecuária e agricultura, e apenas 34,77% da extensão das áreas de APPs está preservadas.

Comparando os dados coletados antes e depois do rompimento, foi possível realizar uma proporção das áreas de APP com a área total das propriedades, em que os resultados foram relativamente semelhantes, 15,9% antes e 18,4% depois, concluindo dessa forma que o rompimento da barragem causou pouca ou quase nenhuma interferência nas proporções de APP das áreas adjacentes ao Rio Doce no estado do Espírito Santo. Em termos da proporção de propriedades regulares podemos observar que a proporção diminuiu após o rompimento da barragem, passando de 42,8% antes do evento para 34,8% depois, deduzindo que o rompimento gerou um pequeno impacto nesse aspecto.

Conclusão

A partir da quantificação das áreas de APP presentes no baixo rio Doce foi possível compreender os impactos causados pelo rompimento da barragem de Fundão nas áreas de preservação.

A delimitação e o cálculo das APPs forneceram informações que ajudam na tomada de decisões para projetos que buscam a recuperação de áreas degradadas, de ecossistemas e de preservação de áreas nativas. Mais de 65% das áreas de APPs estão sendo ocupadas por atividades antrópicas como, por exemplo, pastagem e agricultura, o que inviabiliza grande parte dos serviços ecológicos e causando ineficiência na bacia hidrográfica do rio Doce, já que grande parte da hidrografia se encontra desprotegida.

Os dados obtidos em campo evidenciam o cenário atual, no qual as APPs atingidas pelos rejeitos estão em desacordo com o novo Código Florestal, que prevê que a vegetação nativa, assim como as áreas de APPs, deve ser de uso restrito e que sua degradação pode configurar graves crimes ambientais.

Referências

ARAÚJO, E.; MARTINS, H.; BARRETO, P.; LIMA, A. C. 2013. Áreas protegidas da Amazônia legal com mais alertas de desmatamento em 2012-2013. **IMAZON**, Belém.

CARMO, F. F. do; KAMINO, L. H. Y.; JUNIOR, R. T.; CAMPOS, I. C. de; CARMO, F. F. do; SILVINO, G.; CASTRO, K. J. da S. X. de; MAURO, M. L.; RODRIGUES, N. U. A.; MIRANDA, M. P. de S.; PINTO, C. E. F. Fundação tailings dam failures: the environment tragedy of the largest technological disaster of Brazilian mining in global context. **Perspectives in Ecology and Conservation**, v. 15, 2017. p. 145–151.

COELHO, A. L. N. **Alterações Hidrogeomorfológicas no Médio-Baixo Rio Doce/ES 2007**. Tese de Doutorado (Universidade Federal Fluminense), Instituto de Geociências, Departamento de Geografia, Niterói, 2007. p. 227.

FERNANDES, G. W.; GOULART, F. F.; RANIERI, B. D.; COELHO, M. S.; DALES, K.; BOESCHE, N.; BUSTAMANTE, M.; CARVALHO, F. A.; CARVALHO, D. C.; DIRZO, R.; FERNANDES, S.; GALETTI JUNIOR, P. M.; MILLAN, V. E. G.; MIELKE, C.; RAMIREZ, J. L.; NEVES, A.; ROGASS, C.; RIBEIRO, S. P.; SCARIOT, A.; SOARES-FILHO, B. Deep into the mud: ecological and socio-economic impacts of the dam breach in Mariana, Brazil. **Brazilian Journal of Nature Conservation**, v. 14, 2016. p. 35-45.

FUNDAÇÃO SOS MATA ATLÂNTICA. **Atlas dos remanescentes florestais da Mata Atlântica – período 2018-2019**. São Paulo: SOS Mata Atlântica/INPE, 2020. p. 61.

GUEVARA, Y. Z. C.; SOUZA, J. J. L. L. de; VELOSO, G. V.; VELOSO, R. W.; ROCHA, P. A.; ABRAHÃO, W. A. P.; FERNANDES FILHO, E. I. Reference Values of Soil Quality for the Rio Doce Basin. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, n. 42, p. 1-11, 2018.

PEREIRA, B. W. F.; MACIEL, M. N. M.; OLIVEIRA, F. A.; ALVES, M. A. M. 2016. Uso da terra e degradação na qualidade da água na bacia hidrográfica do rio Peixe-Boi, PA, Brasil. **Ambiente e Água**, 2016. p. 472-485.

SANTOS, G. R. dos. **Técnica de reconhecimento de padrões para a avaliação de corpos hídricos afetados por rejeitos do rompimento da Barragem de Fundão**. 2018. Dissertação (Mestrado em Engenharia Ambiental) – Departamento de Engenharia Ambiental, Universidade Federal de Ouro Preto, Ouro Preto, 2018. 155.

SEGURA, F. R.; NUNES, E. A.; PANIZ, F. P.; PAULELLI, A. C. C.; RODRIGUES, G. B.; BRAGA, G. U. L.; PEDREIRA FILHO, W. dos R.; BARBOSA JUNIOR, F.; CERCHIARO, G.; SILVA, F. F.; BATISTA, B. L. Potential risks of the residue from Samarco's mine dam burst (Bento Rodrigues, Brazil). **Environmental Pollution**, v. 218, 2016. p. 813-825.

Agradecimentos

Os autores agradecem à Fundação de Apoio à Pesquisa do Espírito Santo (FAPES), de número 808/2022 P: 2022-DBGGP, pelos recursos financeiros e ao IFES e UFES pela disponibilização da infraestrutura para desenvolvimento deste trabalho.