



INFLUÊNCIA DA DINÂMICA DA COBERTURA VEGETAL NO APORTE DE SEDIMENTOS

Uilson Ricardo Venâncio Aires¹; Jasmine Alves Campos² & Demetrius David da Silva³

ABSTRACT – Sediment yield has been directly linked to the water erosion, which is the main responsible for the soil degradation in the world, and it involves several environmental problems, such as water pollution and flooding, due to the silting of the watercourses. In this context, the aim of this work is to analyze the influence of vegetation cover dynamics on sediment yield in Manhuaçu river basin, MG, with remote sense information support. For the analysis of vegetation cover dynamics, we used the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI), comprising a period from 1986 to 2014, calculated from Landsat images. For the quantification of sediment yield over time, we use observed data from a ground station operated by National Water Agency (ANA), located in the region downstream of the basin, comprising a period from 1979 to 2016. As the rainfall is largely responsible for the intensity of the runoff, which is connected directly to the water erosion, we used the rain volume information from a ground station located close to study area, also operated by ANA, for a period of 1979 to 2016. We used The Water Normalized Difference Index (NDWI) to evaluate the spectral response of water for the rainy season, because higher NDWI values means that there is a lot concentration of suspended materials in the water. We also obtained the NDWI from Landsat images, covering the period from 1984 to 2016. There was a few variation of vegetation cover over time in the basin, with emphasis on reduction of 8.6% in pasture areas and increase of 8.4% in areas with high vigor vegetation. However, there was a reduction in both sediment yield and average NDWI values for relatively similar rain volumes over time. The results show the importance of vegetation cover for attenuation of sediment yield, aiming the preservation of the water resources.

Palavras-Chave – Sensoriamento remoto, Índices por Diferença Normalizada, Erosão hídrica.

1 – INTRODUÇÃO

A erosão hídrica é uma das principais formas de degradação do solo no mundo, tornando-se um grave problema para a preservação deste recurso natural (Gregorich *et al.* 1998). Isto representa uma grande ameaça para a segurança alimentar, uma vez que os processos erosivos tendem a degradar as camadas mais superficiais do solo, e portanto, mais rica em nutrientes, afetando a produtividade agrícola (Pruski 2009).

1) Universidade Federal de Viçosa, Av. Peter Henry Rolfs, s/n, uvaires@gmail.com, +55 35 99161-2562

2) Universidade Federal de Viçosa, Av. Peter Henry Rolfs, s/n, jasminealvescampos@gmail.com, +55 38 99854-0621

3) Universidade Federal de Viçosa, Av. Peter Henry Rolfs, s/n, demetrius.ufv@gmail.com, +55 31 3899-1904



Além disso, as partículas do solo que são depreendidas por este processo, com a ocorrência do escoamento superficial, são transportadas para os cursos de água, causando problemas de assoreamento. Esse prejudica a vida aquática, a qualidade da água e também é responsável por inundações devido a diminuição da profundidade da calha dos rios (Pinto *et al.* 2014).

No conceito de desprendimento e transporte das partículas do solo para os cursos de água baseia-se a hidrossedimentologia em bacias hidrográficas. A compreensão deste processo é de alta complexidade, pois envolve vários fatores de ordem física, meteorológica e antrópica (Silva *et al.* 2007). Neste sentido, a intensificação das atividades antrópicas nas bacias hidrográficas sem planejamento, principalmente em relação as alterações no uso e cobertura do solo, tem sido grande responsável por acelerar ainda mais estes processos (Wyźga *et al.* 2018).

Dada a abrangência espacial das bacias hidrográficas e o alto custo para o monitoramento *in situ* tanto da dinâmica do uso e cobertura do solo com o aporte de sedimento, o uso de sensoriamento remoto orbital para a estimativa destes dados em escala espacial temporal é imperativo (Pinto *et al.* 2014). Neste contexto, o objetivo deste trabalho foi analisar a influência da dinâmica da cobertura vegetal sobre no aporte de sedimentos na bacia hidrográfica do rio Manhuaçu, MG, com apoio de informações derivadas de sensoriamento remoto.

2 – MATERIAIS E MÉTODOS

O estudo foi realizado na bacia hidrográfica do rio Manhuaçu, com área de drenagem de 9.189 km², que constitui a Unidade de Gestão de Recursos Hídricos 6 (UGRH 6 - Manhuaçu) na divisão hidrográfica estabelecida pelo Estado de Minas Gerais, pertencendo à bacia hidrográfica do rio Doce (Figura 1).

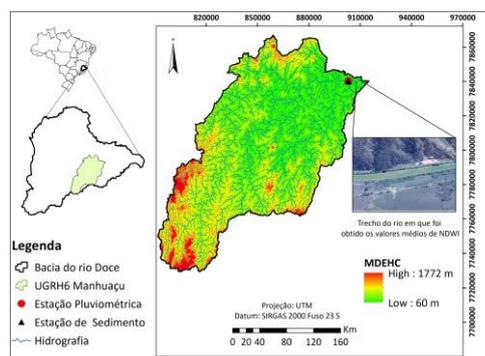


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do rio Manhuaçu; estação pluviométrica e estação de monitoramento do aporte de sedimento utilizadas neste estudo; hidrografia gerada a partir do Modelo Digital de Elevação Hidrograficamente Condicionado (MDEHC). (Fonte: autoria própria)

A precipitação anual média da bacia é de 1.152 mm, sendo que no mês de dezembro é observado, em média, o maior volume pluviométrico, com 240 mm. Por outro lado, o menor volume pluviométrico é observado no mês de junho, com um valor acumulado médio de 15 mm



(ANA 2017). O ano hidrológico da bacia concentra-se entre os meses de novembro a outubro, com semestre chuvoso de novembro a abril, e semestre seco de maio a outubro.

O trabalho foi desenvolvido na região da foz da bacia por compreender o fluxo de água proveniente de toda a bacia. Foram utilizadas as informações do volume pluviométrico da estação pluviométrica (código: 01941010) e da estação de monitoramento do aporte de sedimentos (código: 56990000), para o período de observação de 1979 a 2016. As séries de dados foram obtidas no Sistema de Informações Hidrológicas (HidroWeb), da Agência Nacional de Águas (ANA 2017).

2.1 – Índices por Diferença Normalizada

A análise da dinâmica da cobertura vegetal foi feita utilizando-se o Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (NDVI) (Equação 1), calculados com base em imagens Landsat Surface Reflectance (SR) desde 1984 pois, a partir deste ano, essa categoria das imagens Landsat apresenta resolução espacial de 30 m, além de correções radiométrica e atmosférica (USGS, 2017). Sendo que, foram utilizadas imagens Landsat 5 Thematic Mapper (TM) para o período de 1984 a 2010 e Landsat 8 Operational Land Imager (OLI) para os anos de 2013 e 2016.

$$\text{NDVI} = \frac{\text{IVP} - \text{Ver}}{\text{IVP} + \text{Ver}} \quad (1)$$

em que: o NDVI corresponde ao Índice de Vegetação por Diferença Normalizada (adimensional); o IVP é a energia refletida na região do infravermelho próximo (em μm); e o Ver a energia refletida na região do vermelho do espectro eletromagnético (em μm). O NDVI apresenta variação de -1 a 1, em que áreas ocupadas por vegetação mais densa tendem a apresentar valores de NDVI próximos à unidade.

Os valores de NDVI foram classificados nas classes de pastagem (Ap) e vegetação com alto vigor (Av), a qual incluem áreas com florestas nativas e plantadas, formação arbustiva e culturas perenes. Como os valores de NDVI apresentam alta sensibilidade em relação aos índices pluviométricos (Bhavani *et al.* 2017), para melhorar a diferenciação entre vegetação com alto vigor e pastagem foi adotado como período para fins de cálculo do NDVI, os três meses mais secos do ano.

A verificação da acurácia da classificação foi feita pelo índice Kappa (K) (Equação 2), em que coletou-se, visualmente, 500 amostras pontuais nas imagens Landsat, para as classes de pastagem e vegetação com alto vigor, devido à grande representatividade das mesmas, e 100 amostras para outros usos. Essas amostras são consideradas como o uso real na bacia, as quais são confrontadas com as imagens classificadas do uso e cobertura do solo para cada ano.



$$k = \frac{n \sum_{i=1}^y x_{ii} - \sum_{i=1}^y (x_{i+} x_{+i})}{n^2 - \sum_{i=1}^y (x_{i+} x_{+i})} \quad (2)$$

Em que K é uma estimativa do coeficiente Kappa, adimensional, x_{ii} é o valor da linha i e coluna i; x_{i+} é a soma da linha i e x_{+i} é a soma da coluna i da matriz de confusão; n representa o número total de amostras que representam o uso e ocupação do solo observado, e y o número total de classes.

A interpretação dos valores obtidos para K foi realizada com base na classificação apresentada na Tabela 1, proposta por Landis e Koch (1977).

Tabela 1 – Interpretação dos valores de K

K	Classificação	K	Classificação
< 0,00	Péssima	0,40 – 0,60	Boa
0,00 – 0,20	Ruim	0,60 – 0,80	Muito Boa
0,20 – 0,40	Razoável	0,80 – 1,00	Excelente

Fonte: Landis e Koch (1977)

Para fins de verificar a dinâmica da concentração de sedimento ao longo do tempo no rio Manhuaçu foi utilizado o Índice por Diferença Normalizada da Água (NDWI) (Equação 3), em que utilizou-se imagens SR do Landsat 5 TM entre 1984 a 2001 e do Landsat 7 Enhanced Thematic Mapper Plus (ETM+) entre 2002 a 2016. Este último, apesar do defeito com o Scan Line Corrector (SLC), foi o que melhor apresentou imagens sem a presença de nuvens na região de estudo em relação ao Landsat 5 e 8.

$$NDWI = \frac{IVP - IVM}{IVP + IVM} \quad (3)$$

em que: o NDWI corresponde ao Índice por Diferença Normalizada da Água (adimensional); o IVP é a energia refletida na região do infravermelho próximo (em μm); e o IVM a energia refletida na região do infravermelho médio do espectro eletromagnético (em μm).

O NDWI também apresenta variação de -1 a 1, no entanto, valores positivos são atribuídos a corpos de água. A banda IVP realça a vegetação com alto valor de brilho e corpo de água com baixo valor. Já a banda IVM também realça o corpo de água com baixo valor de brilho, no entanto, nesta banda, os altos valores são produzidos por solo exposto. Desta forma, quanto maior a concentração de sólidos suspensos na água, é esperado maiores valores de NDWI (Brenner e Guasselli 2015).

2.2 – Processamento dos dados na Plataforma Google Earth Engine (GEE)

O cálculo do NDVI e NDWI e o processamento das imagens Landsat foram realizados na plataforma Google Earth Engine GEE. Lançada em 2013 a plataforma GEE trabalha com linguagem de programação JavaScript e apresenta grande potencial para análises de dados derivados de



sensoriamento remoto orbital por apresentar processamento de dados em nuvem, o que reduz consideravelmente a necessidade de armazenamento e processamento das informações (Gorelick et al. 2017). O script utilizado para obtenção das informações foi adaptado de Google Earth Engine API (GEE 2017). A Figura 2 ilustra o fluxograma para extração das informações na Plataforma GEE.

No script utilizado destacam-se duas funções de grande auxílio para a obtenção das imagens, em especial devido à ocorrência de nuvens. Através da banda CFmask, disponível nas imagens de Landsat SR, a qual é derivada de um método desenvolvido por Zhu e Woodcock (2012), é possível detectar e remover as nuvens presentes nas imagens.

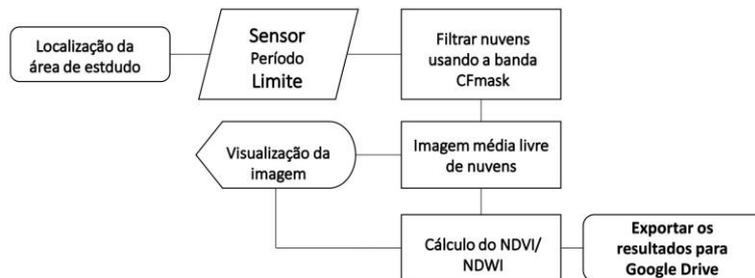


Figura 2 - Fluxograma de execução do script para extração dos valores de NDVI NDWI na plataforma GEE. (Fonte: autoria própria)

Porém, este processo resulta em locais onde não há informações na imagem (NoData) e, desta forma, a segunda função adotada objetiva preencher estas lacunas. Para isto, gerou-se uma única imagem média pixel a pixel utilizando todas as imagens contidas no período de interesse. Este procedimento permite o preenchimento das lacunas, pois, como se trabalha com imagens de diferentes períodos, há a possibilidade de obter imagens que, em um determinado período, não havia nuvens no local onde foi detectado o problema.

3 – RESULTADOS E DISCUSSÃO

A acurácia da classificação pode ser considerada excelente, com grande parte dos valores de K acima de 0,8, com exceção apenas dos anos de 2006, 2007 e 2009, que apresentaram valores na categoria considerada muito bom (valores de K entre 0,60 a 0,80), em concordância com a classificação proposta por Landis e Koch (1977). Apesar da acurácia relativamente alta obtida para a classificação do uso e cobertura do solo, obteve-se grande dificuldade de estabelecer os intervalos de valores de NDVI para representação das classes de interesse. Isto ocorreu devido à alta variabilidade de valores de NDVI.

A Figura 3 apresenta a dinâmica da cobertura vegetal na bacia do rio Manhuaçu entre 1986 a 2016.

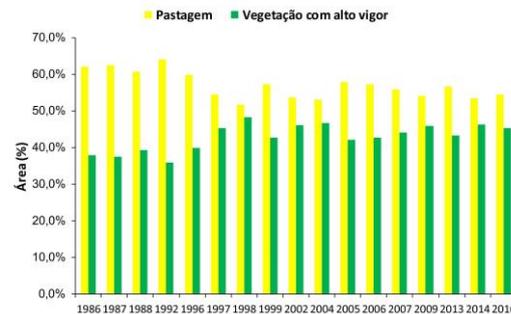


Figura 3 - Evolução da área de pastagem e de vegetação com alto vigor no período de 1986 a 2016 na bacia do rio Manhuaçu. (Fonte: autoria própria).

A área de vegetação com alto vigor, apresentou aumento entre 1986 a 2014, com acréscimo de 8,4% (861,2 km²), ao passo que se observa redução da área de pastagem, com variação de 8,6% (892,6 km²), para o mesmo período, na área total da bacia. A alteração pouco expressiva nas classes de uso e cobertura do solo analisadas é compatível com o comportamento da fronteira agrícola dos estados de Minas Gerais e Espírito Santo, onde está inserida a bacia do rio Manhuaçu, caracterizado pela exploração agropecuária de longa data, ou seja, com uso antrópico bastante consolidado. Essa característica acaba por limitar grandes alterações no uso e cobertura do solo, diferente do que ocorre nos estados da região Norte e Centro Oeste, cuja a exploração do setor primário é mais recente (IGAM 2010).

A Figura 4 apresenta o aporte de sedimento medidos na estação 56990000.

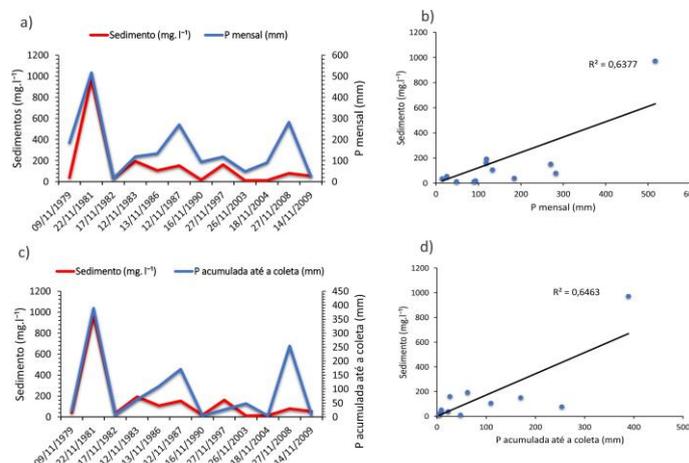


Figura 4 – (a) Aporte de sedimento em relação a precipitação mensal; (b) Correlação entre a aporte de sedimento e a precipitação mensal; (c) Aporte de sedimento em relação a precipitação diária acumulada até a data da coleta; (d) Correlação do aporte de sedimento e a precipitação acumulada até a coleta. (Fonte: autoria própria).

As medições destes dos dados de aporte de sedimento pela ANA são muito irregulares, sendo realizados em diferentes meses do ano, o que dificulta a análise temporal dos dados. Por esta razão, foi selecionado apenas o mês de novembro no período de 1979 a 2009, o qual apresentou a maior amostragem de dados e por representar o início da estação chuvosa na bacia.



Nota-se na Figura 4 que principalmente a partir do ano de 2000, houve uma redução no aporte de sedimento em comparação com a ocorrência de um volume pluviométrico relativamente semelhante no período anterior. O que pode estar relacionado com o aumento da cobertura vegetal com alto vigor na bacia, uma vez que foi verificado junto as imagens de Landsat utilizadas para o cálculo do NDVI, que esse aumento foi motivado pelo acréscimo das culturas de café e eucalipto, o que pode resultar em uma redução do escoamento superficial devido principalmente ao aumento da rugosidade da superfície, à interceptação da precipitação pelo dossel das plantas e maior capacidade de infiltração da água no solo (Pruski 2009).

A Figura 5 apresenta a relação entre os valores médios de NDWI e o volume pluviométrico para o semestre chuvoso no período de 1984 a 2016 no trecho do rio Manhuaçu localizado na região a jusante da bacia (Figura 1).

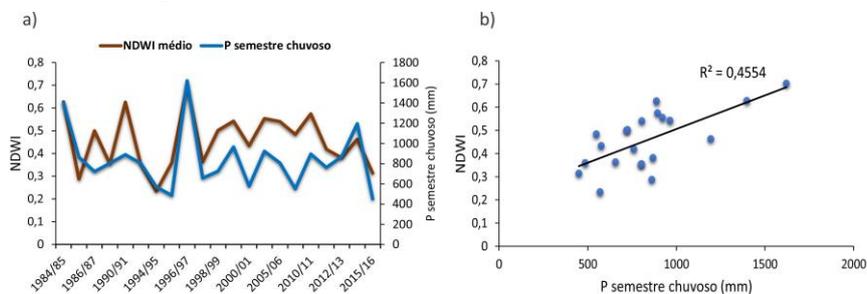


Figura 5 – Valores médios de NDWI referente ao período chuvoso em relação a precipitação acumulada do semestre chuvoso (a); Correlação entre os valores médios de NDWI em relação a precipitação acumulada do semestre chuvoso. (Fonte: autoria própria).

Nota-se na Figura 5 que o comportamento do NDWI apresentou semelhanças com o aporte de sedimentos, sendo que a partir do ano de 2000 o volume precipitado relativamente próximo ao período anterior, como é o caso ano hidrológico de 1990/91 e 2002/03, resultou em valores médios de NDWI menores, o que indica a menor concentração de materiais suspensos no rio. O que também pode estar relacionado com o aumento da cobertura vegetal identificados na área de estudo.

Destaca-se que a presença de anos faltantes nas Figuras 3 e 5 foi devido à impossibilidade de se obter uma imagem média livre de nuvens, pois apesar de o script utilizado possibilitar a remoção das nuvens, ainda é necessário que existam partes nas outras imagens que estejam livres de nuvens para o preenchimento das falhas.

4 – CONCLUSÕES

Com base nos resultados apresentados conclui-se que:

- Apesar da modificação pouco expressiva da cobertura vegetal na bacia, esta teve influência sobre a redução no aporte de sedimentos verificados na região a jusante da bacia;



- Dada as dificuldades de monitoramento do aporte de sedimentos em bacias hidrográficas o uso informações de sensoriamento orbital pode ser de grande auxílio para o monitoramento do aporte de sedimentos, visando a preservação da qualidade dos recursos hídricos.

BIBLIOGRAFIA

- ANA. (2017). Agência Nacional de Águas: Sistema de Informações hidrológicas. Retrieved December 5, 2017, from <http://www.snirh.gov.br/hidroweb/>
- Bhavani, P., Chakravarthi, V., Roy, P. S., Joshi, P. K., & Chandrasekar, K. (2017). Long-term agricultural performance and climate variability for drought assessment: a regional study from Telangana and Andhra Pradesh states, India. *Geomatics, Natural Hazards and Risk*, 8(2), 822–840. <https://doi.org/10.1080/19475705.2016.1271831>
- Brenner, V. C., & Guasselli, L. A. (2015). Índice de diferença normalizada da água (NDWI) para identificação de meandros ativos no leito do canal do rio Gravataí/RS – Brasil. In SBSR (Ed.), *XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto* (pp. 3693–3699). João Pessoa: SBSR.
- GEE. (2017). Introduction | Google Earth Engine API | Google Developers. Retrieved December 13, 2017, from <https://developers.google.com/earth-engine/>
- Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- Gregorich, E. ., Greer, K. ., Anderson, D. ., & Liang, B. . (1998). Carbon distribution and losses: erosion and deposition effects. *Soil and Tillage Research*, 47(3–4), 291–302. [https://doi.org/10.1016/S0167-1987\(98\)00117-2](https://doi.org/10.1016/S0167-1987(98)00117-2)
- IGAM. (2010). *Plano integrado de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Doce e planos de ações para as unidades de planejamento e gestão de recursos hídricos no âmbito da Bacia do rio Doce*. (C. E.- Lume, Ed.) (Belo Horiz). Belo Horizonte.
- Landis, J. R., & Koch, G. G. (1977). The measurement of observe agreement for categorical data. *Biometrics*, 31, 159–174.
- Pinto, C. E. T., Menezes, P. H. B. J., Martinez, J.-M., Roig, H. L., & Villar, R. A. E. (2014). Uso de imagens MODIS no monitoramento do fluxo de sedimentos no reservatório de Três Marias. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola E Ambiental*, 18(5), 507–516.
- Pruski, F. F. (2009). *Conservação de solo e água* (2nd ed.). Viçosa: Editora UFV, Viçosa, 279 p.
- Silva, A. M., Schulz, H. E., & Camargo, P. B. (2007). *Erosão e Hidrossedimentologia em Bacias Hidrográficas* (2nd ed.). São Carlos: Editora RiMa, São Carlos, 158 p.
- USGS. (2017). Landsat Surface Reflectance Level-2 Science Products | Landsat Missions. Retrieved December 5, 2017, from <https://landsat.usgs.gov/landsat-surface-reflectance-data-products>
- Wyźga, B., Kundzewicz, Z. W., Konieczny, R., Piniewski, M., Zawiejska, J., & Radecki-Pawlik, A. (2018). Comprehensive approach to the reduction of river flood risk: Case study of the Upper Vistula Basin. *Science of The Total Environment*, 631–632, 1251–1267. <https://doi.org/10.1016/J.SCITOTENV.2018.03.015>
- Zhu, Z., & Woodcock, C. E. (2012). Object-based cloud and cloud shadow detection in Landsat imagery. *Remote Sensing of Environment*, 118, 83–94. <https://doi.org/10.1016/J.RSE.2011.10.028>