

ANÁLISE DOS SEDIMENTOS EM SUSPENSÃO NA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE COM IMAGENS DE SATÉLITE

Hugo de Oliveira Fagundes¹, Alice César Fassoni-Andrade¹, Rodrigo Cauduro Dias de Paiva¹

¹Universidade Federal do Rio Grande do Sul, e-mail: h.o.fagundes@hotmail.com;
alice.fassoni@gmail.com; rodrigocpaiva@gmail.com

Palavras-chave: Sensoriamento Remoto; Reflectância; Sedimentometria

Introdução

O processo de erosão do solo inclui a remoção dos materiais do solo de um local por agentes erosivos naturais como a água, o vento, ou os agentes erosivos induzidos pelo homem como arado, fertilização, sobrepastoreio, construções, incêndios, etc. (PANDEY et al., 2016). Segundo Carvalho et al. (2000) a ação antrópica pode elevar as taxas de erosão em até 100 vezes do que seria sem interferência humana.

A ocorrência desse fenômeno pode ainda acarretar, além dos prejuízos ambientais, prejuízos sociais e econômicos. Por exemplo, a presença de barragens pode provocar o assoreamento do reservatório, muitas vezes aumentando a área de inundação a montante (Morris; Fan, 1998) e pode provocar alteração no canal fluvial a jusante (Bandeira et al., 2013).

Tradicionalmente os sedimentos são monitorados por meio de coletas *in situ* que permitem avaliar a sua concentração na amostra de água. Os métodos com essa abordagem, consomem elevado tempo até a obtenção final dos resultados, sendo essas, observações pontuais (Lodhi et al., 1998; Jensen, 2009), além de possuir um custo relativamente elevado (Carvalho, 2008; Wang et al., 2009; Espinoza et al., 2012), dificultando a obtenção de dados com boa frequência. Assim, a utilização de imagens de sensoriamento remoto de satélites desenvolvidos para o monitoramento ambiental se torna uma forma alternativa para o monitoramento de sedimentos, podendo fornecer informações contínuas com ampla cobertura espacial (Lodhi et al., 1998; Espinoza et al. 2012).

Segundo Jensen (2009), a reflectância espectral dos sedimentos em suspensão (SS) na água é uma função da quantidade e das características do material na água, tais como o tamanho e composição das partículas e sua capacidade de interação com a radiação (absorção e reflexão). As regiões do espectro eletromagnético correspondente às faixas do vermelho (0,62-0,70 μm) e do infravermelho próximo (0,70 a 1,30 μm) são altamente sensíveis à concentração de sedimentos em suspensão (CSS) (Lodhi, 1998, Jensen, 2009, Munday e Alfoldi, 1979; Zhang et al., 2013). Assim, essas faixas podem ser utilizadas para monitorar os SS por imagens de satélite. Na faixa do vermelho é onde ocorre o pico da reflectância nas misturas

de água e sedimentos e também pode ocorrer a saturação dessa para altas concentrações de sedimentos, ou seja, com um aumento da concentração de SS não há um aumento proporcional na reflectância.

Desde o lançamento do primeiro satélite Landsat em 1972, diversos trabalhos vem investigando as relações existentes entre a quantidade de SS em ambientes aquáticos e a reflectância espectral (e.g., Munday Jr. e Alfoldi, 1979; Lodhi et al., 1998). Vários dos trabalhos desenvolvidos estão preocupados em observar, monitorar ou quantificar os SS para grandes rios ou lagos, como apresentado a seguir.

Long e Pavelsky (2012) compilaram diversos trabalhos e compararam 31 equações empíricas que relacionavam dados de campo de CSS com a reflectância de superfície. Apesar de encontrar um valor de R^2 de 0,94 para o delta Peace-Athabasca, os autores concluíram que nem sempre é recomendada a utilização dessas equações para outras regiões sem ser aquelas as quais foram desenvolvidas.

Espinoza et al. (2012) utilizaram imagens do sensor MODIS para mostrar que os sensores existentes podem ser utilizados para o monitoramento operacional da descarga de sedimentos em grandes bacias. O coeficiente de correlação encontrado pelos autores entre a razão das reflectâncias de superfície nas faixas do infravermelho próximo (0,841-0,876 μm) e vermelho (0,62-0,67 μm) e a CSS foram superiores a 0,78.

Espinoza et al. (2013) utilizaram a reflectância das bandas do vermelho e infravermelho próximo de 900 imagens do satélite MODIS de seis locais diferentes no Rio Madeira, afluente do rio Amazonas, para monitorar a dinâmica espacial e temporal da CSS. Os autores encontraram um coeficiente de correlação de 0,78 e concluíram que a utilização da reflectância das imagens pode ser uma forma robusta se estimar a CSS. O trabalho de Fleifle (2013), de forma semelhante ao de Espinoza et al. (2013), apresentou uma análise espaço-temporal da variabilidade da quantidade de sedimentos presentes no rio Mekong, localizado no sudeste da Ásia.

Souza et al. (2015) utilizaram uma média entre as bandas 2 (0,52 - 0,60 μm) e 3 (0,63-0,69 μm), correspondendo às faixas do verde e vermelho, respectivamente, do satélite Landsat TM 5 para a geração de um modelo que estima a CSS para uma região do semiárido brasileiro. Montanher et

al. (2014) usaram diversas bandas espectrais na faixa do visível e do infravermelho próximo do Landsat TM 5 para a construção de modelos regionais para diferentes rios amazônicos. Os resultados encontrados pelos autores apontaram boa concordância com os dados medidos in situ, com coeficientes de correlação variando entre 0,77 e 0,89.

Outros trabalhos utilizaram a reflectância da banda do vermelho das imagens do Landsat 8/ OLI para monitorar lagos. Barros et al. (2015) analisaram parâmetros de qualidade de água no Lago Igapó – PR e compararam os resultados com dados in situ e constataram que as imagens são ferramentas adequadas para monitoramento de reservatórios urbanos. Fassoni-Andrade et al. (2015) analisaram a dinâmica da variabilidade espacial e temporal dos sedimentos em suspensão na Lagoa dos Patos – RS e constataram que a banda 4 (vermelho) corresponde a faixa espectral mais adequada para monitoramento do parâmetro CSS.

A análise de estudos passados revela que a grande maioria está focada na técnica para estimativa de CSS, e poucos são aqueles que focam no uso desses dados para o estudo da dinâmica espaço temporal de sedimentos em ambientes relevantes, principalmente em rios de pequena largura. O presente trabalho consistiu em investigar a dinâmica espacial e temporal da quantidade de sedimentos em rios com o uso de imagens do satélite Landsat 8/ OLI tendo como estudo de caso a bacia hidrográfica do rio Doce (MG/ES (Figura 1). O comportamento da bacia foi avaliado pela reflectância de superfície da banda 4, correspondendo a faixa do vermelho (0,64-0,67 μm), como proxy da concentração de sedimentos em suspensão.

Área de Estudo

A área de estudo escolhida para o desenvolvimento do presente trabalho foi a bacia hidrográfica do rio Doce (Figura 1). Dentre as principais motivações da escolha dessa região estão: a grande quantidade de sedimentos produzida na bacia; histórico de reservatórios com problemas de assoreamento; e a ocorrência do rompimento de uma barragem de rejeitos de mineração no município de Mariana-MG no dia 05 de novembro de 2015.

A bacia do rio Doce situa-se na região Sudeste, entre os paralelos 17°45' e 21°15' S e os meridianos 39°30' e 43°45' W, integrando a região hidrográfica do Atlântico Sudeste. A bacia possui uma área de drenagem de cerca de 86.715 km², abrange 230 municípios e possui 86% de sua área pertencente ao Estado de Minas Gerais e 14% ao Estado do Espírito Santo (PIRH, 2010). As nascentes do rio Doce situam-se no Estado de Minas Gerais, nas serras da Mantiqueira e do Espinhaço, sendo que suas águas percorrem cerca de 850 km até atingir o oceano Atlântico, junto ao povoado de Regência, no Estado do Espírito Santo (Guimarães, 2015).

A bacia pode ser dividida em três Unidades Regionais (Coelho, 2007), a saber: Alto, Médio e Baixo rio Doce. A primeira se localiza à montante da confluência entre os rios Piracicaba e Doce, a segunda a jusante dessa confluência até o limite dos Estados de Minas Gerais e Espírito Santo (ES) e a última unidade a jusante dessa divisa.

A bacia que era originalmente coberta por Mata Atlântica sofreu intensamente com a antropização, restando hoje apenas alguns remanescentes florestais nas áreas de grande declive e nas unidades de conservação (Barreto-Neto et al., 2009; PIRH, 2010; ANA, 2016). O forte desmatamento e má

utilização dos solos provocou na região um intenso processo de erosão, fazendo com que os sedimentos gerados sejam transportados até os cursos d'água (PIRH, 2010).

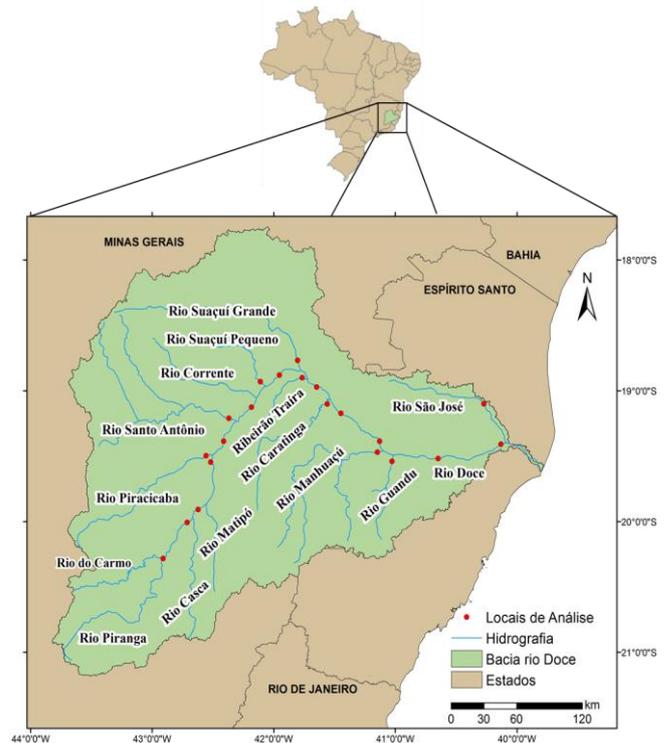


Figura 1: Bacia Hidrográfica do rio Doce, principais afluentes e locais de análise da reflectância de superfície.

O regime de precipitações na bacia é fortemente sazonal, com o período chuvoso ocorrendo de outubro/novembro a março/abril e o período seco entre os meses de março/abril e setembro/outubro. Tal sazonalidade faz com que a bacia apresente ora vazões muito baixas e poucos sedimentos em suspensão (SS), ora vazões elevadas com alta quantidade de SS, como pode ser visto na Figura 2.

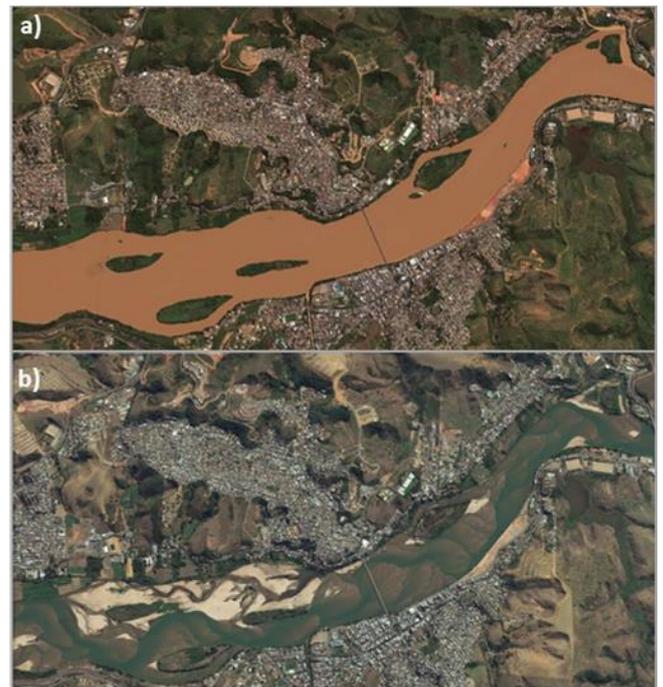


Figura 2: Imagens do Rio Doce no município de Colatina – ES em: a) 08 de abril de 2010, no período chuvoso; e b) 09 de julho de 2015, no período seco. Fonte: Google Earth.

Aquisição de dados

Para obtenção da reflectância na faixa do vermelho foram utilizadas imagens do satélite Landsat 8/ OLI com resolução espacial de 30m e que já possuíam correções atmosféricas satisfatórias (Vermote et al., 2016). O produto fornecido pelo United States Geological Survey (<https://earthexplorer.usgs.gov/>) inclui a reflectância de superfície e uma máscara de nuvens e sombra. Foram adquiridas imagens que correspondem a quatro localizações do tipo órbita/ponto: 216/073, 216/074, 217/073 e 217/074. Foram pré-determinados 21 locais para análise da reflectância, que são apresentados na Figura 1 e Quadro 1. Esses locais foram selecionados de forma a contemplar todos os principais afluentes (Figura 1) e diversos trechos entre esses no rio principal. Também se levou em conta a largura do rio, pois rios muito pequenos (inferiores a 30m) iriam possuir poucos píxeis com nenhuma influência das margens.

Quadro 1: Identificação e características dos locais de análise.

ID do Trecho	Rio	Dist. da foz (km)
Rio Piranga	Doce	475
Casca Mont.	Doce	431
Casca Jus.	Doce	412
Ipatinga Mont.	Doce	370
Piracicaba	Piracicaba	365
Ipatinga Jus.	Doce	348
St. Antônio	Santo Antônio	328
Baguari Mont.	Doce	313
Baguari	Suaçuí Pequeno	300
Governador Valadares	Doce	272
Suaçuí	Suaçuí Grande	250
Ribeirão Traíra	Ribeirão Traíra	235
Tumiritinga	Doce	232
Caratinga	Caratinga	212
Con. Pena	Doce	197
Reserv. Aimorés	Doce	155
Manhuaçu	Manhuaçu	153
Guandu	Guandu	143
Colatina	Doce	100
São José	São José	45
Linhares	Doce	35

Dessa forma, os locais de análise, quando se referiam aos rios afluentes, foram geralmente delimitados próximo ao rio Doce, pois eram as áreas onde os rios possuíam maior largura e por que esses representavam toda a contribuição de cada sub-bacia. A única exceção dessa abordagem foi o rio São José, que deságua em uma grande lagoa (Juparanã-Linhares) antes de encontrar o rio Doce. A presença desse grande corpo d'água poderia interferir na presença de sedimentos em suspensão, principalmente no período seco por causa dos processos deposicionais. Dessa forma, para esse afluente, optou-se por analisar a reflectância de superfície à montante da lagoa. Assim, selecionaram-se as imagens que possuíam pelo menos um ponto sem interferência de nuvens, O período de avaliação das imagens

foi desde 2013 até 2016, período esse que contempla toda janela temporal de imagens Landsat 8/ OLI disponíveis.

A extração da reflectância foi realizada parcialmente de forma manual e automática. Para os pontos localizados no baixo Doce (Figura 3-c), devido à grande presença de bancos arenosos (Figura 2), optou-se por fazer uma extração manual, selecionando-se os píxeis localizados nos locais mais adequados. A extração automática consistiu no uso de um algoritmo que seleciona os píxeis dentro de um polígono com largura inferior ao do rio, comprimento de no máximo 20 km e que não possuíam interferência de nuvens ou sombra de nuvens. A partir da amostra de píxeis válidos, calculou-se a mediana dos valores encontrados. Isso foi feito para evitar que a presença de *outliers*, como o não reconhecimento de um píxel de nuvem que possui alta reflectância, contaminasse o resultado final.

Resultados e Discussão

Análise da variabilidade temporal

A reflectância apresentou alta variabilidade espaço temporal na bacia do rio Doce, tanto no rio principal como em seus afluentes. Os gráficos da Figura 3 e Figura 4 demonstram a existência da forte sazonalidade na bacia. De forma geral os picos dos hidrogramas ocorrem em períodos próximos dos picos das reflectâncias e os baixos valores concordam com os períodos de baixas vazões. Tal caráter sazonal da bacia foi apresentado por Pinto et al. (2015) a partir de análises estatísticas com dados de vazão na estação Colatina (ES) e por Silva et al. (2016) ao comparar a reflectância do infravermelho das imagens do satélite MODIS com os dados de cotas diárias da estação Tumiritinga (MG).

Percebe-se na Figura 3 a influência provocada pelo desastre ocorrido no município de Mariana na resposta da reflectância dos locais analisados no rio principal (nov/2015). Esse fato só não é observado no rio Piranga, pois este se encontra a montante da confluência que conecta o rio Casca (que transporta os sedimentos da região de Mariana) ao rio Doce (Figura 3-a). Analisando a Figura 3, não se nota a existência de valores tão superiores após o desastre de Mariana em relação àqueles encontrados em outros períodos da série, o que deve estar relacionado ao efeito de saturação existente na faixa do vermelho, conforme foi apresentado por Lodhi (1998) através de seu experimento em laboratório. Por exemplo, no mês de dezembro de 2015, a concentração de sólidos totais no rio principal, segundo a ANA (2016) foi acima do dobro da média histórica, enquanto o aumento da reflectância não ocorreu de forma proporcional nesse período.

O gráfico do médio Doce (Figura 3-b) mostra que entre novembro e abril de 2014 houve pelo menos três picos de reflectância e vários picos no hidrograma, o que nos permite supor que a grande quantidade de sedimentos no rio não está diretamente relacionada com as maiores vazões. Comparando o gráfico do baixo Doce (Figura 3-c) com os demais, nota-se que as reflectâncias tendem a aumentar de montante para jusante no período chuvoso, o que pode estar relacionado com a maior contribuição de descarga sólida dos afluentes ao longo da bacia. Este fenômeno não foi observado no período seco.

No que se refere aos afluentes, a Figura 4 mostra que esses apresentam comportamentos diferentes ao longo do tempo. É possível observar o local de análise Suaçuí com valores quase sempre oscilando entre 0,1 e 0,2, enquanto o

Manhuaçu oscila entre valores inferiores a 0,05 no período seco e próximos a 0,3 no período chuvoso.

Os afluentes da margem esquerda apresentam variação temporal semelhante, mas com intensidades diferentes. Nota-se pelo gráfico que os rios Suaçuí e Santo Antônio são os que possuem maiores valores de reflectância e que o rio São José quase sempre apresenta valores baixos, mas com picos elevados no período chuvoso. Os afluentes da margem direita apresentam dois comportamentos distintos: os rios Manhuaçu e Guandu oscilam com picos e vales discrepantes entre si, enquanto os rios Ribeirão Traíra e Caratinga possuem oscilações menores.

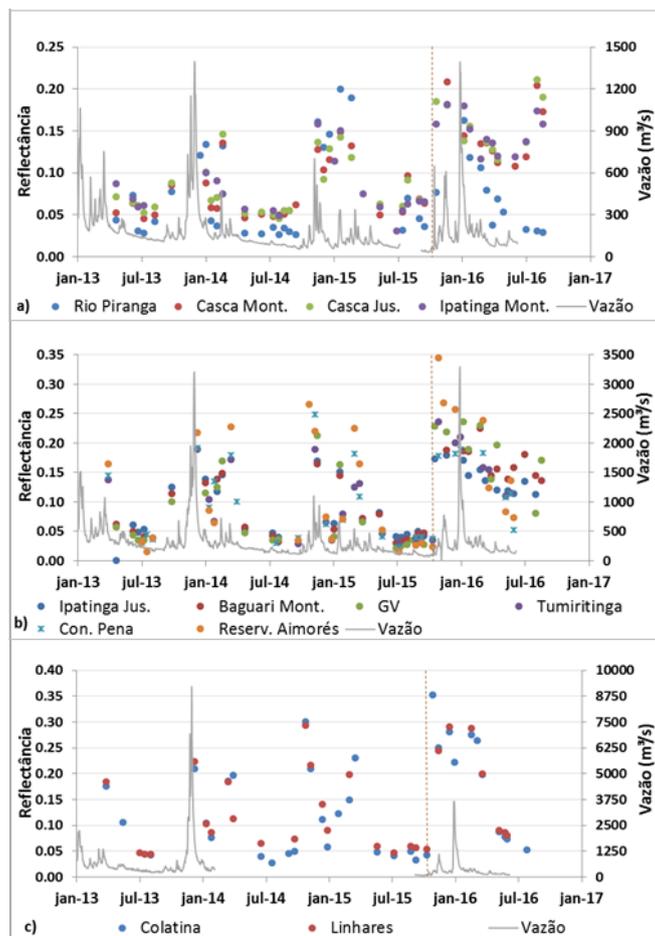


Figura 3: Comparação entre a reflectância de superfície na faixa do vermelho (banda 4 - Landsat 8/ OLI) e vazão para as regiões: a) alto; b) médio; e c) baixo rio Doce. As vazões são referentes, de montante para jusante, às estações 56719998 (Belo Oriente), 56850000 (Governado Valadares) e 56994500 (Colatina). A linha tracejada na vertical marca o dia 05/nov de 2015, em que ocorreu o desastre de Mariana.

Um fato interessante é observar que os valores de reflectância de superfície no período seco para alguns locais de análise são bem superiores aos demais. No rio principal os valores no período seco quase sempre (antes do desastre) variam entre 0,04 e 0,06, bem como alguns locais dos afluentes como o Piracicaba, Baguari, Manhuaçu, Guandu e São José, em que esse último apresenta valores ainda menores.

Entretanto, os locais Santo Antônio, Suaçuí, Ribeirão Traíra e Caratinga possuem valores superiores, geralmente entre 0,07 e 0,1. Algumas características desses locais são: calhas de estiagem dos rios aos quais eles representam com larguras inferiores a 100m; baixas vazões e níveis no período seco; e

alguns possuem forte presença de bancos arenosos. Possivelmente esses fatores afetaram a análise, aumentando os valores da reflectância de superfície devido a contribuição do espalhamento da radiação pelo solo da margem, pelos bancos arenosos ou pelo fundo do rio (Polcyn e Lyzenga, 1975; Kirk, 2010).

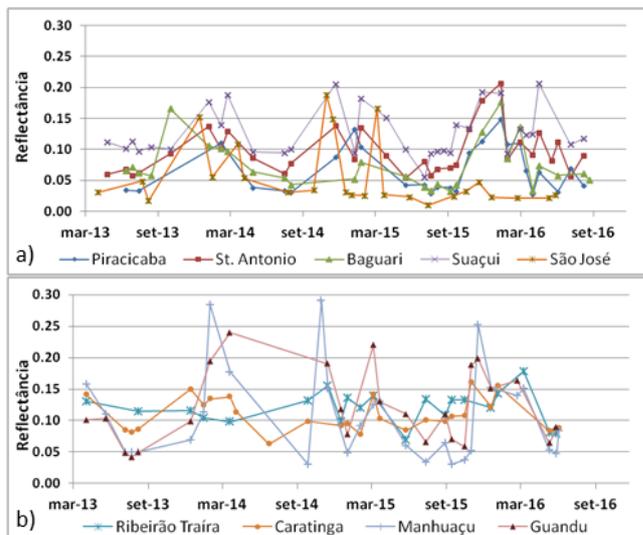


Figura 4: Comparação entre a reflectância de superfície na faixa do vermelho (banda 4 - Landsat 8/ OLI) para: a) afluentes da margem esquerda; e b) da margem direita do rio Doce.

Análise da variabilidade espacial

As respostas da reflectância encontradas nos diversos locais da bacia foram diferentes, mostrando grande heterogeneidade na produção de sedimentos. A Figura 5 mostra os perfis da reflectância para o rio principal e para os afluentes em termos dos valores médios. Para essa análise, desconsideraram-se os dados obtidos após o rompimento da barragem em Mariana-MG (nov/15).

Observa-se que no período seco o rio principal tende a apresentar um valor de reflectância próximo a 0,05 ao longo da bacia, aumentando inicialmente após a confluência do rio do Carmo com o Doce (460 km), diminuindo próximo ao Reservatório de Aimorés (150 km) e aumentando novamente após esse local. No período chuvoso, ocorre uma diminuição da reflectância do primeiro para o segundo local de análise e a partir daí a tendência é que os valores cresçam até o ponto mais a jusante.

Os trabalhos de Espinoza et al. (2013), que utilizaram imagens do satélite MODIS e Fleifle (2013), que usou imagens do satélite Landsat TM e ETM+, observaram padrões diferentes para as bacias dos rios Madeira e Mekong, respectivamente, onde a partir de um perfil longitudinal do rio principal, os valores de CSS, estimados a partir de valores de reflectância, diminuíam de montante para jusante, não necessariamente de forma linear. Já o trabalho de Silva et al. (2016), mostrou que os valores de Sólidos Totais, estimados a partir da reflectância do infravermelho do sensor MODIS, em sete estações virtuais localizadas no rio principal, não apresentaram comportamento único, ou seja, só acréscimo ou decréscimo, de montante para jusante.

Já para os afluentes, os comportamentos desses no período seco e chuvoso são bem similares em sua forma (perfil das reflectâncias média), mas com intensidades diferentes. As principais distinções dos perfis ocorrem nas distâncias de

212km (rio Caratinga) e 153km (rio Manhuaçu). O rio Manhuaçu que apresentou baixa reflectância média (0,056) no período seco, quase triplicou seu valor no período chuvoso (0,148), mostrando que esse afluente contribui de forma significativa para o rio principal durante a estação chuvosa.

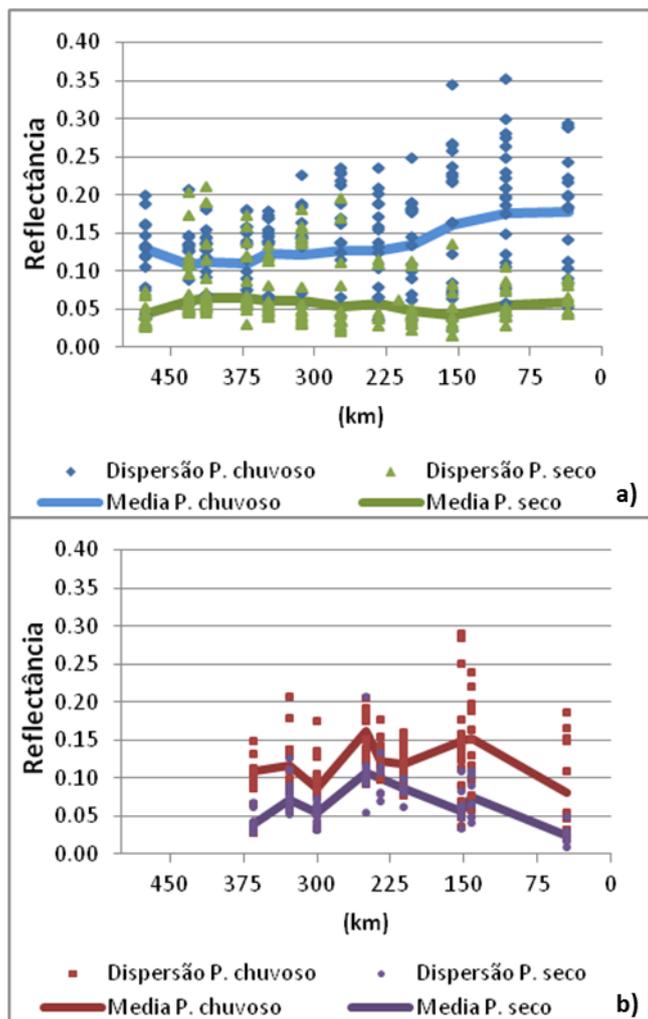


Figura 5: Comparação das reflectâncias ao longo da bacia entre os períodos seco e chuvoso, com média e valores das reflectâncias de superfície para: a) o rio principal; e b) os afluentes.

A análise comparativa entre o rio Doce e os afluentes nos mostra que no período seco a maioria dos afluentes apresentam valores médios de reflectância superiores ao rio principal e que no período chuvoso os que se sobressaem em relação ao rio Doce são os rios Suaçuí Grande (250km), Manhuaçu (153km) e Guandu (143km). Destaca-se que tanto no período seco quanto chuvoso a reflectância após o rio Manhuaçu cresce. Esses resultados podem ser verificados na Figura 6 e se assemelham ao mapa de produção de sedimentos apresentado pelo PIRH (2010) e ANA (2016).

A baixa resolução temporal que o satélite Landsat 8/ OLI possui (se comparado a outros satélites como o MODIS, por exemplo) associada com a grande presença de nuvens existente na região, dificulta uma análise mais detalhada em termos temporais. Entretanto, a boa resolução espacial do satélite (30 m) permitiu identificar não só a dinâmica temporal de locais do rio principal, como o que foi realizado por Espinoza et al. (2013), Fleifle (2013) e Silva et al. (2016), mas de praticamente toda a bacia,

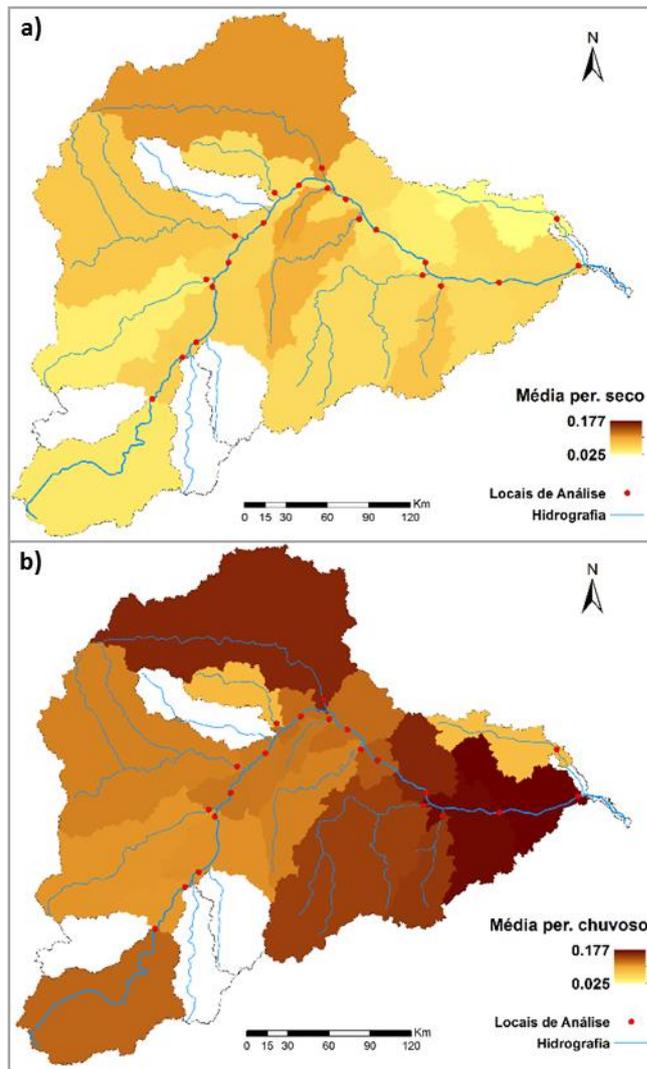


Figura 6: Distribuição espacial da reflectância de superfície média na faixa do vermelho (banda 4 - Landsat 8/ OLI) na bacia do rio Doce para: a) o período seco; e b) o período chuvoso. Regiões em branco correspondem as bacias dos afluentes fora da análise.

Comentários Finais

A relação existente entre a reflectância espectral de superfície na faixa do vermelho e os sedimentos em suspensão, descrita por diversos autores, pode ser percebida no presente estudo com o uso da banda 4 das imagens do satélite Landsat 8/ OLI. A resolução espacial de 30m desse sensor permitiu que a bacia hidrográfica do rio Doce tivesse, não somente o rio principal avaliado, mas também seus afluentes.

A presença de sedimentos, avaliada por meio da reflectância nos rios da bacia aumentou no período chuvoso e diminuiu no período seco, apresentando sazonalidade semelhante ao regime de vazões. Contudo, o aumento da reflectância não é proporcional ao aumento da vazão, sendo que pequenos picos nos hidrogramas podem gerar altos picos de reflectância. Os resultados encontrados mostraram que a reflectância da banda 4 do Landsat 8/ OLI foi sensível as modificações que o rompimento da barragem no município de Mariana – MG gerou no rio principal e a presença do reservatório de Aimorés no período seco.

A metodologia de extração automática da reflectância adotada se mostrou adequada para o período chuvoso. Contudo, devido às características de alguns rios, no período seco os resultados encontrados podem ter sofrido influência

do fundo e das margens, e assim carecem de uma análise mais cuidadosa. Apesar disso, foi possível identificar aumento da reflectância no período chuvoso e decréscimo para o período seco nesses rios.

O perfil longitudinal do rio Doce mostrou que a reflectância tanto no período seco, quanto no período chuvoso é maior nos pontos mais a jusante do que nos pontos de montante da bacia. Devido à presença de reservatórios e falta de informações sobre os processos erosivos e deposicionais, não se pode afirmar o porquê de tal ocorrência. Os afluentes apresentam características bem distintas, sendo encontrados altos valores médios de reflectância, como no rio Manhuaçu e em alguns outros valores médios baixos, como o rio Suaçuí Pequeno.

Por fim, em uma etapa posterior, os resultados serão comparados com valores de Sedimentos em Suspensão e/ou de parâmetros de qualidade da água, principalmente para os rios com menores larguras, a fim de conhecer melhor a influência do fundo e das margens nos valores de reflectância.

Agradecimentos

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pela bolsa concedida ao primeiro autor durante a pesquisa.

Referências bibliográficas

Agência Nacional de Águas – ANA (2016). Encarte especial sobre a bacia do rio Doce:

Rompimento da barragem em Mariana/MG. Disponível em: http://arquivos.ana.gov.br/RioDoce/EncarteRioDoce_22_03_2016v2.pdf. Acesso em: 14 dez 2016.

Bandeira, J. V.; Farias, E. G. G. D.; Lorenzetti, J. A.; Salim, L. H.; 2013. Resposta morfológica da foz do Rio São Francisco, devido à retenção de sedimentos nos reservatórios. *Vetor*, Rio Grande, v. 23, n. 1, p 5-17.

Barreto-Neto, A. A.; Zamprogno, D. P.; Reis, J. A. T.; 2009. Modelagem espacial da erosão utilizando sensoriamento remoto na bacia hidrográfica do Rio Doce, porção do Espírito Santo. *Anais do XIV Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto*, Natal, Brasil, 25-30 abril 2009, INPE, p. 7663-7667.

Barros, V. D.; Costanzi, R. N.; Batista, L. F. A.; 2015. Correlação de fatores hidrossedimentológicos e reflectância no lago Igapó 1 em Londrina/PR. In.: I Congresso Internacional de Hidrossedimentologia.

Carvalho, N. O. *Hidrossedimentologia prática*. 2ª. Ver. Atual. E, 2008.

Espinoza Villar, R.; Martinez, J. M.; Guyot, J. L.; Fraizy, P.; Armijos, E.; Crave, A; Lavado, W.; 2012. The integration of field measurements and satellite observations to determine river solid loads in poorly monitored basins. *Journal of hydrology*, v. 444, p. 221-228.

Espinoza Villar, R.; Martinez, J. M., Le Texier, M.; Guyot, J. L.; Fraizy, P.; Meneses, P. R.; De Oliveira, E.; 2013. A study of sediment transport in the Madeira River, Brazil, using MODIS remote-sensing images. *Journal of South American Earth Sciences*, v. 44, p. 45-54.

Fassoni-Andrade, A. C.; Guasselli, L. A.; Toniolo, G. R.; Moreira, A. A. Dinâmica espacial e temporal de sedimentos em suspensão na região estuarina da Lagoa dos Patos-RS, a partir de dados do sensor OLI, Landsat-8. *Anais do XVII*

Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto - SBSR, João Pessoa-PB, Brasil, 25 a 29 de abril de 2015, INPE.

Fleifle, A. E.; 2013. Suspended Sediment Load Monitoring Along the Mekong River from Satellite Images. *Journal of Earth Science & Climatic Change*, v. 2013.

Guimarães, M. B.; 2015. A Análise Hidrossedimentológica no Planejamento de Bacias Hidrográficas: Caso da Bacia do Rio Doce-ES-MG, Brasil. In.: I Congresso Internacional de Hidrossedimentologia.

Jensen, J. R.; 2009. Sensoriamento Remoto do Ambiente: uma perspectiva em Recursos Terrestres. Tradução de J. C. N. Epiphânio. São José dos Campos, SP: Parênteses, 2009. p. 598. (Prentice Hall Series in Geographic Information Science) Tradução de: Remote Sensing of the environment: na earth resource perspective.

KIRK, J. T. O.; 1994. Light and photosynthesis in aquatic ecosystems. Cambridge University Press.

Lima, J. E. F. W.; Lopes, W. T. A.; Carvalho, N. O.; Vieira, M. R.; 2008. Fluxo de sedimentos em suspensão no exutório de grandes bacias hidrográficas em território brasileiro. *Anais do VIII Encontro Nacional De Engenharia De Sedimentos*, Campo Grande, 2008. CD-ROM.

Lodhi, M. A.; Rundquist, D. C.; Han, L.; Kuzila, M. S.; 1998. Estimation of suspended sediment concentration in water using integrated surface reflectance. *Geocarto International*, v. 13, n. 2, p. 11-15.

Montanher, O. C.; Novo, E. M.; Barbosa, C. C.; Rennó, C. D.; Silva, T. S.; 2014. Empirical models for estimating the suspended sediment concentration in Amazonian white water rivers using Landsat 5/TM. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, v. 29, p. 67-77.

Morris, Gregory L.; Fan, Jiahua.; 1998. Reservoir sedimentation handbook: design and management of dams, reservoirs, and watersheds for sustainable use. McGraw Hill Professional.

Munday Jr., J. C.; Alföldi, T. T.; 1979. Landsat test of diffuse reflectance models for aquatic suspended solids measurement. *Remote sensing of environment*, v. 8, n. 2, p. 169-183.

Pandey, A.; Himanshu, S. K.; Mishra, S. K.; Singh, V. P.; 2016. Catena Physically based soil erosion and sediment yield models revisited. *Catena*, v. 147, p. 595–620. Elsevier B.V. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.catena.2016.08.002>>. .

PIRH.; 2010. Plano Integrado de Recursos Hídricos da Bacia Hidrográfica do Rio Doce: Relatório Final-Volume I. Consórcio Ecoplan-Lume.

Polcyn, F. C. & Lyzenga, D. R.; 1975. Remote bathymetric and shoal detection with ERTS. *Ann Arbor*, p. 55. (NASA - CR - ERIM - 193300-51-F).

Silva, I. R. O.; Martinez, J. M.; Piscocoy, R. C. C. C.; Cochoneau, G.; Oliveira, E.; 2016. Monitoramento do transporte de sedimentos no rio Doce utilizando dados do sensor espacial MODIS. In.: XII Encontro Nacional de Engenharia de Sedimentos – ENES.

Souza, N. B.; Lopes, J. W. B.; Feitosa, E. R.; Costa, C. A. G.; Araújo, J. C.; 2015. Aplicação de sensoriamento remoto para estimativa de carga de sedimentos no rio Jaguaribe, CE. In.: I Congresso Internacional de Hidrossedimentologia.

Vermote, E.; Justice, C.; Claverie, M.; Franch, B.; 2016. Preliminary analysis of the performance of the Landsat 8/OLI land surface reflectance product. *Remote Sensing of Environment*, v. 185, p.46-56.

Wang, J. J.; Lu, X. X.; Liew, S. C.; Zhou, Y.; 2009 Retrieval of suspended sediment concentrations in large turbid rivers

using Landsat ETM+: an example from the Yangtze River, China. *Earth Surface Processes and Landforms*, v. 34, n. 8, p. 1082-1092.

Zhang, M.; Dong, Q.; Cui, T.; Xue, C.; Zhang, S.; 2014. Suspended sediment monitoring and assessment for Yellow River estuary from Landsat TM and ETM+ imagery. *Remote Sensing of Environment*, v. 146, p. 136-147.