



IX ENCONTRO NACIONAL DA



CONEXÕES – DEMOCRACIA – SUSTENTABILIDADE

08 a 11 de outubro de 2019

ANÁLISE DA CORRELAÇÃO ENTRE A QUALIDADE DA ÁGUA E A CONFIGURAÇÃO DA PAISAGEM EM MÚLTIPLAS ESCALAS NA BACIA DO RIO PIRACICABA – MG

Resumo

O objetivo deste trabalho foi de analisar a relação entre a qualidade da água e a configuração da paisagem em três diferentes escalas de análise espacial na bacia do rio Piracicaba (MG): subbacia, ripário e local. Os parâmetros da qualidade da água selecionados foram: nitrogênio amoniacal, fósforo total, sólidos totais e turbidez. Esses dados foram obtidos de treze estações de monitoramento de janeiro de 2017. Por meio da análise de regressão linear múltipla foi verificada a influência das seguintes variáveis sobre os parâmetros: métricas de paisagem (área total da classe – CA, número de manchas – NP, densidade da mancha – PD, densidade da borda – ED e Índice da forma da paisagem – LSI), classes de uso e cobertura da terra (vegetação natural, floresta degradada, uso agropecuário e área não vegetada), topografia, precipitação e localização dos pontos das estações. Os modelos que apresentaram os maiores valores de R^2 (ajuste do modelo) foram aqueles obtidos na escala local. As variáveis que mais demonstraram relação significativa entre os parâmetros foram as classes de uso e cobertura da terra: “área não vegetada”, de forma positiva, e “vegetação natural”, de forma negativa, assim como, as métricas CA e LSI. Isso indica que as áreas com maior ocorrência de vegetação natural funcionam como um filtro para a hidrografia. A proteção das zonas ripárias merece atenção da gestão territorial das paisagens, pois ela garante o funcionamento de seus diversos serviços ambientais, como a qualidade e produção de água e a preservação da biodiversidade.

Palavras-chave: Qualidade da água, Métricas de paisagem, Regressão linear múltipla.

CORRELATION ANALYSIS BETWEEN LANDSCAPE CONFIGURATION AND WATER QUALITY UNDER MULTIPLE SCALES IN PIRACICABA RIVER BASIN – MG

Abstract

The aim of this study was to analyze the correlation between water quality and landscape configuration in three different spatial analysis scales in the Piracicaba (MG) basin: sub-basin, riparian and local. The water quality parameters used were: ammonia nitrogen, total phosphorus, total solids and turbidity. These data corresponded to January of 2017 and were obtained from thirteen monitoring stations. Through the multiple linear regression analysis the correlation

between the following variables was explored: landscape metrics (total class area - CA, number of patches - NP, patch density - PD, edge density - ED and Landscape Shape Index - LSI), land cover and use classes (natural vegetation, degraded forest, farming and non-vegetated area), topography, precipitation and the location of the monitoring stations. The models with the highest values of R^2 (model fit) were those obtained on the local scale. The variables with the strongest linkage were land cover and use classes: “non-vegetated area”, positively, and “natural vegetation”, negatively, as well as the CA and LSI metrics. This indicates that areas with the highest occurrence of natural vegetation work as a filter for the hydrography. The protection of riparian zones deserves attention from the landscape management, ensuring its many functional environmental services, such as the production and quality of water and the preservation of biodiversity.

Keywords: *Water quality, Landscape metrics, Multiple linear regression.*

GT 8: Água, território, redes e governança

1. Introdução

A qualidade da água está intrinsicamente relacionada à configuração espacial como o uso e cobertura da terra e a litologia. O contato com a cobertura superficial e a microbiota, principalmente no entorno dos cursos d'água, ajudam a determinar as oscilações de parâmetros físico-químico-biológicos da hidrografia (VON SPERLING, 2014). Neste sentido, nos últimos anos vários estudos que relacionam o uso e cobertura da terra e parâmetros da qualidade da água buscam investigar a influência da configuração da paisagem na conformação dos ecossistemas aquáticos (SLIVA e DUDLEY, 2001; MARZIN et al. 2013; OLIVEIRA et al. 2016; SANTOS et al. 2017). Além disto, a estrutura da paisagem aferida a partir de métricas de paisagem também pode ser relacionada aos parâmetros da qualidade da água (RUTLEDGE, 2003). É notado que estudos que pretendem buscar explicação para a relação de métricas de paisagem e a qualidade da água variam na seleção da largura adjacente aos cursos d'água como área de estudo tendo sido consideradas, por exemplo, diferentes tamanhos de buffers ou limites de bacias hidrográficas (SPONSELLER et al., 2001; MORLEY e KARR, 2002).

Para verificar a relação entre o uso e cobertura da terra, configuração da paisagem e a qualidade da água pode-se utilizar modelagem estatística, sendo a correlação de Pearson e a modelos de regressão linear múltipla (XIN et al., 2017; ZHANG, et al., 2018). Utilizando tal metodologia é possível identificar

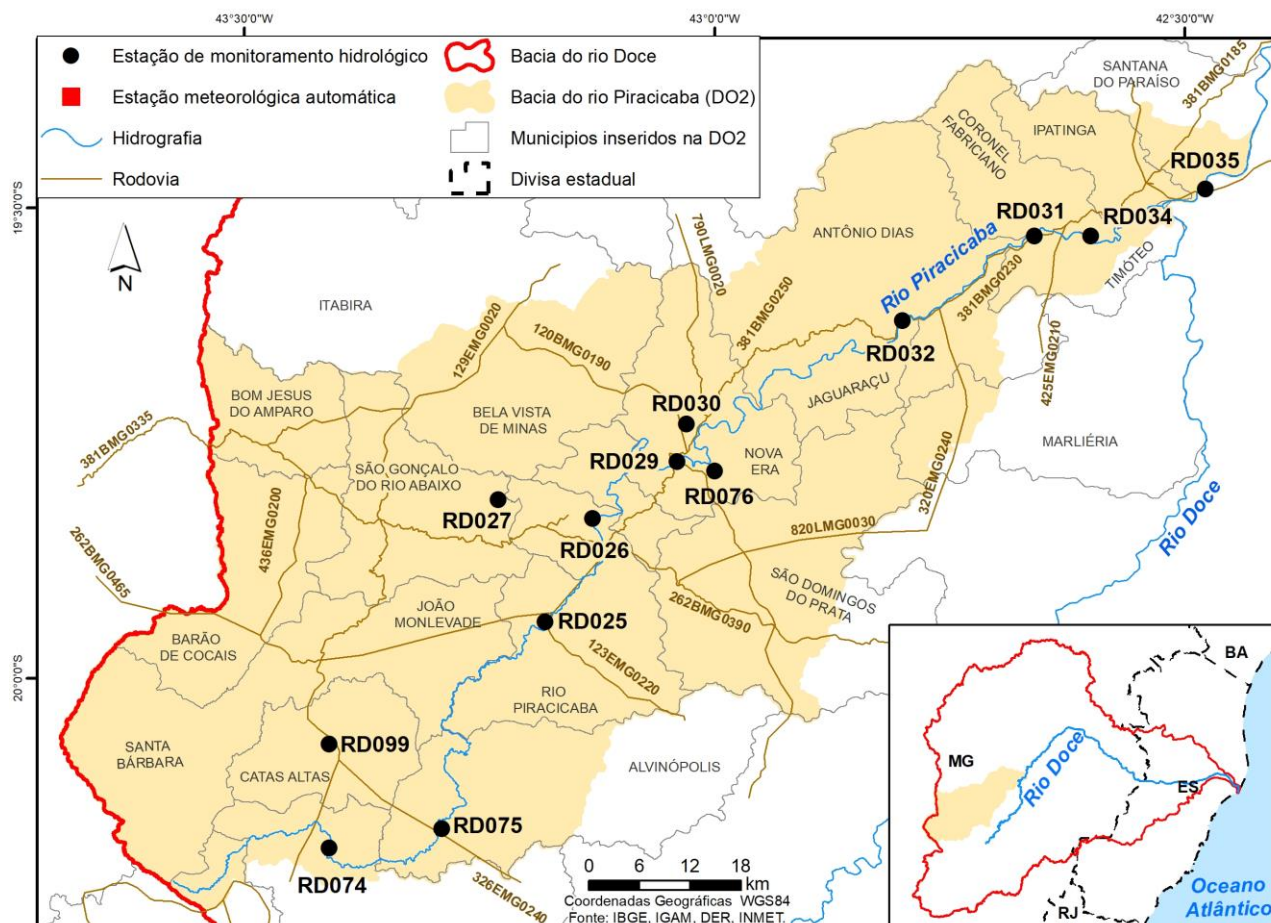
Consoante, o objetivo deste trabalho foi de identificar e analisar a relação entre parâmetros da qualidade da água de 2016 e 2017 e dados da caracterização espacial (uso e cobertura da terra, métricas de paisagem, topografia, localização e precipitação) de 2017 da bacia do rio Piracicaba (MG), em diferentes escalas espaciais de análise. As escalas espaciais selecionadas variam entre subbacia e zonas ripária e local, *buffers* de diferentes comprimentos, com intuito de verificar a influência espacial da configuração da paisagem sobre a qualidade da água.

2. Materiais e Métodos

2.1. Área de estudo

A área de estudo é a bacia do rio Piracicaba, Unidade de Planejamento e Gestão de Recursos Hídricos (UPGRH) da bacia do rio Doce – DO2 (Figura 1). A bacia possui área de 5.565 km² abrangendo 21 municípios com uma população aproximada de 800 mil pessoas (CBC-DOCE, 2018). O curso d'água principal, rio Piracicaba, nasce na Serra do Caraça no Quadrilátero Ferrífero, no município de Ouro Preto e percorre 241 km até seu deságue no rio Doce entre os municípios de Ipatinga e Timóteo. A bacia sofre com intensa modificação no uso e cobertura da terra, apresentando áreas metropolitanas, diversas siderurgias, sendo que sua maioria se localiza na Região Metropolitana do Vale do Aço (porção baixa da bacia), além de extensas áreas de reflorestamento. Outras atividades econômicas relevantes encontradas na bacia é a agropecuária, mineração e a silvicultura.

Figura 1 - Localização da área de estudo. Elaborado pelo autor.



Fonte: Elaborado pelo autor.

2.2. Coleta e Processamento de Dados

Os parâmetros da qualidade da água utilizados foram: nitrogênio amoniacal total, fósforo total, sólidos totais e turbidez. Foram utilizados os dados diários de janeiro de 2017 dispostos nas 13 estações de monitoramento hidrológico presentes na bacia do rio Piracicaba. Os dados foram obtidos via solicitação ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), órgão gestor das estações de monitoramento em Minas Gerais.

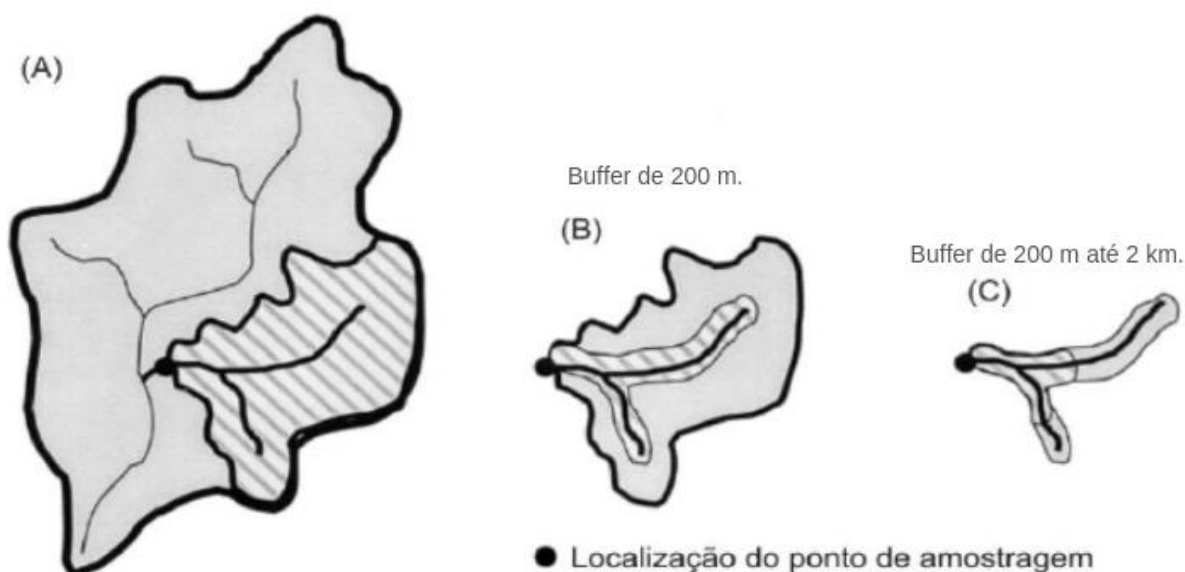
Como variáveis explicativas foram utilizadas informações da configuração da paisagem e localização das estações de monitoramento. As coordenadas UTM latitude e longitude e os valores obtidos pelos cálculos de: latitude*latitude, longitude*longitude e latitude*longitude, dos pontos das estações de monitoramento foram incluídos na análise estatística. A localização das estações é mostrada na Figura 1.

Foi incluída na análise a precipitação total (mm) considerando um mês antes das datas do monitoramento hidrológico. Foram utilizados dados da única estação de monitoramento meteorológico administrada pelo Instituto Nacional de Meteorologia (INMET) e localizado no município de Timóteo (porção baixa da bacia) – Estação Timóteo-A511.

Os dados topográficos utilizados foram extraídos de imagens SRTM – Shuttle Radar Topographic Mission (30m; USGS, 2015). Os dados de altitude média, desvio padrão da altitude, declividade média, desvio padrão da declividade e suas respectivas variações (média dividida pelo desvio padrão) foram calculados e incluídos na análise estatística.

Para caracterização da paisagem foi utilizado os mapas de uso e cobertura da terra do projeto MapBiomas de 2017, que utiliza algoritmos e análise de especialistas para classificar imagens de satélites Landsat, portanto, com *pixel* de 30 m. Devido às características do mapeamento e da bacia a paisagem foi reclassificada em quatro classes do uso e cobertura da terra: (1) vegetação natural (menor incidência de interferência antrópica), (2) floresta degradada (maior incidência de interferência antrópica), (3) uso agropecuário (pastagem e cultura) e (4) área não vegetada (estrutura urbana e solo exposto). Os mapas foram recortados a partir de escalas geográficas sugeridas por Morley e Karr (2002), sendo elas: (1) subbacia, que corresponde a toda área de drenagem a montante do ponto de captação, (2) ripária, que corresponde a um buffer de 200m a montante do ponto de captação e (3) local, que corresponde a um buffer de 200m até 1km a montante do ponto de captação (Figura 2).

Figura 2 – Representação ilustrativa das escalas geográficas utilizadas: (A) Subbacia; (B) Ripário e; (C) Local.



Fonte: Morley e Karr (2002).

Para cada escala de análise foram geradas as métricas da paisagem no nível de classe: área total das manchas de cada classe por ha (CA), número total de manchas dentro de uma mesma classe (NP), densidade da mancha (PD), densidade da borda (ED) e índice da forma da paisagem (LSI), que informa a complexidade da estrutura da paisagem (McGARIGAL, 2015). Todas as variáveis utilizadas estão contidas na Tabela 1.

Tabela 1 - Variáveis utilizadas na análise estatística.

	Variável	Fonte
Qualidade da água	Nitrogênio amoniacal total (mg/L)	IGAM
	Fósforo total (mg/L)	IGAM
	Sólidos totais (mg/L)	IGAM
	Turbidez (UNT)	IGAM
Pluviosidade	Precipitação total (mm)	INMET
Uso e cobertura da terra	Vegetação natural (%)	Mapbiomas
	Floresta degradada (%)	Mapbiomas
	Uso agropecuário (%)	Mapbiomas
	Área não vegetada (%)	Mapbiomas
Métrica de paisagem	Área total da classe (CA)	Classe
	Número de mancha (NP)	Classe
	Densidade da mancha (PD)	Classe
	Densidade da borda (ED)	Classe
	Índice da forma da paisagem (LSI)	Classe
Topografia	Altitude - média (m)	SRTM
	Altitude - desvio padrão (m)	SRTM
	Variação da altitude (m)	SRTM
	Declividade média (°)	SRTM
	Declividade desvio padrão (°)	SRTM
	Variação da declividade (°)	SRTM
Coordenadas XY	Latitude (UTM)	Estação de monitoramento.
	Longitude (UTM)	Estação de monitoramento.
	Latitude * Latitude (UTM)	Estação de monitoramento.
	Longitude * Longitude (UTM)	Estação de monitoramento.
	Latitude * Longitude (UTM)	Estação de monitoramento.

2.3. Análise Estatística

A relação entre as variáveis foi aferida utilizando regressão linear múltipla via estimador de Mínimos Quadrados Ordinários (MQO). Os parâmetros da qualidade da água foram utilizados como variáveis dependentes e o percentual do uso e cobertura da terra, as métricas de paisagem, a topografia e a localização dos pontos de monitoramento foram usados como variáveis independentes (também chamadas de variáveis explicativas). Foi utilizado o método *stepwise* do

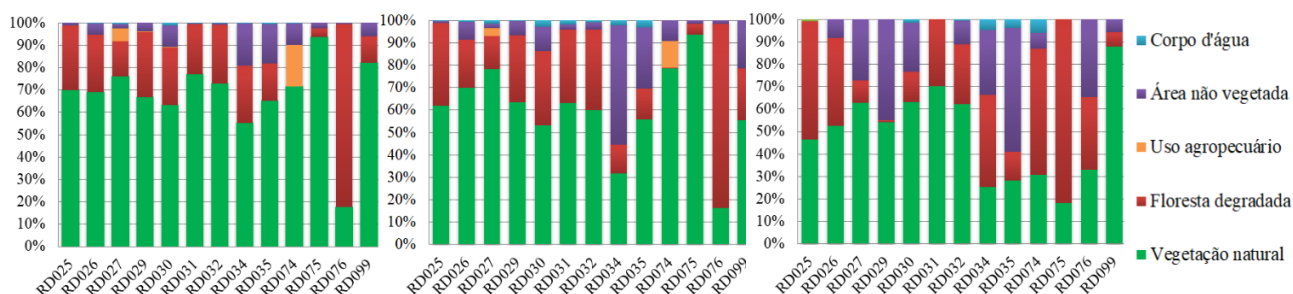
programa IBM SPSS Statics 19 para obter o melhor modelo com no máximo duas variáveis independentes para cada um dos componentes da configuração da paisagem nas três escalas espaciais de análise: subbacia, ripária e local (Tabela 1).

Devido à heterogeneidade no tamanho das áreas de cada escala de análise para cada ponto de monitoramento e as naturezas dos dados foi realizada a normalização das variáveis. Os modelos foram validados através da normalidade, heterocedasticidade, ausência de *outliers*, coeficiente β (beta) padronizado, R^2 (medida de ajustamento de um modelo linear que varia de 0-1), significância (capacidade explicativa dos modelos) e pela autocorrelação espacial dos resíduos, através do I de Moran.

3. Resultados e Discussões

Pela reclassificação do uso e cobertura da terra da bacia do rio Piracicaba foi identificado que a cobertura predominante é de vegetação natural para as três escalas de análise (subbacia, ripário e local), seguido de floresta degradada, como mostra a Figura 3. Dentre as classes com maior intervenção antrópica, o uso agropecuário não se mostrou como uma expressiva abrangência na bacia, porém, foi analisado que na classe “floresta degradada” as áreas de vegetação gramínea são utilizadas como pasto, assim como, há nessa classe a presença de sistemas agroflorestais. O uso agropecuário não foi identificado na escala local.

Figura 3 – Percentual de uso e cobertura da terra nas escalas de análise: subbacia, ripário e local.



As Tabelas 2, 3 e 4 apresentam os modelos selecionados pela regressão linear múltipla e a análise de autocorrelação espacial para as três escalas de análise. Analisando os modelos obtidos tendo como critério sua significância ($p < 0,05$), apenas os parâmetros turbidez e sólidos totais responderam as variáveis utilizadas. Nenhum dos modelos apresentou autocorrelação espacial nos erros.

Na escala de subbacia, a variável sólidos totais pode ser explicada pela classe de cobertura da terra “vegetação natural” ($R^2 = 0,55$) de forma negativa. Em áreas de vegetação natural da região são encontradas formações florestais e arbustivas que controlam a perda de solo e processos erosivos, sendo essa uma possível explicação para a relação negativa desse parâmetro com a classe “vegetação natural”. Da mesma forma, a turbidez apresentou para seu modelo ($R^2 = 0,61$) uma correlação negativa com a classe “vegetação natural” (Tabela 2).

Tabela 2 – Modelos selecionados pela regressão linear múltipla e análise de autocorrelação espacial na escala subbacia para 2017.

Variável dependente	Variável independente	Coef. β padronizado	R ²	I de Moran
Fósforo total			0,024	0,63
	Floresta degradada	0,154		
Nitrogênio total			0,108	0,5
	Área não vegetada	0,328		
Sólidos totais			0,55*	0,66
	Vegetação natural	-0,74		
Turbidez			0,61*	0,45
	Vegetação natural	-0,78		

* $p < 0,05$

Na escala ripária os dois parâmetros mencionados anteriormente apresentaram seus modelos significativos (sólidos totais: $R^2 = 0,79$ e turbidez: $R^2 = 0,51$; Tabela 3). Em ambos a variável “vegetação natural” foi correlacionada com coeficiente β negativo, significando que a relação dessa classe com os parâmetros mencionados ocorre de forma contrária. Para sólidos totais houve ainda a inclusão da métrica de paisagem CA da classe “área não vegetada” com coeficiente β positivo. Com isso, é visto que a área total das manchas da classe com mais aspectos antropizados apresenta significativa influência sobre o material que chega até os cursos d’água, sendo esse um resultado semelhante ao encontrado por Li et al. (2018) num estudo sobre a relação entre qualidade da água e métricas de paisagem.

Tabela 3 – Modelos selecionados através de parâmetros obtidos pela regressão linear múltipla e análise de autocorrelação espacial na escala ripária para 2017.

Variável dependente	Variável independente	Coef. β padronizado	R ²	I de Moran
Fósforo total			0,2	0,19
	CA Área não vegetada	0,44		
Nitrogênio total			0,18	-0,76
	CA Área não vegetada	0,42		
Sólidos totais			0,79*	0,89
	CA Área não vegetada	0,58		
	Vegetação natural	-0,55		
Turbidez			0,51*	1,23
	Vegetação natural	-0,714		

* $p < 0,05$

Na escala local o parâmetro sólidos totais foi explicado pela Latitude*Latitude e altitude média. Isto indica que nesta escala a posição altimétrica média mais elevada implica no aumento de sólidos dispostos na hidrografia superficial. Com o R^2 mais baixo (0,40), a turbidez teve o percentual de “vegetação natural” como variável selecionada apresentando coeficiente β negativo (Tabela 4).

Tabela 4 – Modelos selecionados através de parâmetros obtidos pela regressão linear múltipla e análise de autocorrelação espacial na escala local para 2017.

Variável dependente	Variável independente	Coef. β padronizado	R^2	I de Moran
Fósforo total			0,12	0,06
	Área não vegetada	0,344		
Nitrogênio total			0,19	-0,84
	Desvio padrão da altitude	0,434		
			0,66*	-0,96
Sólidos totais	Latitude * Latitude	1,66		
	Altitude média	1,09		
			0,4*	0,28
Turbidez				
	Vegetação natural	0,63		

* $p < 0,05$

4. Considerações Finais

Neste trabalho foi analisada a relação de quatro parâmetros da qualidade da água com coleta em janeiro de 2017 e 42 variáveis da configuração da paisagem subdivididas entre métricas de paisagem classes de uso e cobertura da terra de 2017, topografia, precipitação e localização dos pontos das estações de monitoramento hidrológico em diferentes escalas de análise da paisagem na bacia do rio Piracicaba (MG).

A classe de uso e cobertura da terra que mais ocorreu nos modelos foi “vegetação natural” que influenciou de forma negativa os parâmetros sólidos totais e turbidez. Isso indica que as áreas com maior ocorrência de vegetação natural funcionam como um filtro para a hidrografia. A proteção das zonas ripárias merece atenção da gestão territorial das paisagens, pois ela garante o funcionamento de seus diversos serviços ambientais, como a qualidade e produção de água e a preservação da biodiversidade.

A análise da configuração da paisagem pelo uso das métricas foi útil, pois indicou que a área total de manchas das classes (CA) não vegetadas influencia os valores dos parâmetros da qualidade da água. Ou seja, a presença de manchas de áreas urbanas ou de solo exposto contribui para a diminuição da qualidade da água.

Outro conjunto de variáveis utilizado foi o de localização das estações de monitoramento. Pela seleção da variável Latitude*Latitude foi identificada que a localização das estações de monitoramento na porção noroeste da bacia contribuiu para o aumento de sólidos totais dos cursos d'água. Essa região abrange o Vale Aço, uma região de Minas Gerais conhecida por abranger municípios com grande produção urbana, industrial, siderúrgica e de silvicultura.

Os modelos que apresentaram os maiores valores de R^2 foram aqueles obtidos na escala local. Nas áreas locais mais próximas dos pontos de monitoramento, além das métricas de paisagem e o uso e cobertura da terra, a topografia se mostrou como uma variável influente sobre os parâmetros.

Devido à resolução espacial das imagens Landsat-8 utilizadas no Mapbiomas, que é de 30 m, informações da configuração espacial relevantes para a análise da relação com a qualidade da água ficaram ocultas. Também foram identificados vários erros de omissão e comissão feitas na classificação de imagens do Mapbiomas, como vegetação rasteira sendo classificada como área urbanizada. Esse estudo serviu para verificar a caracterização momentânea de alguns aspectos da paisagem da bacia do rio Piracicaba e sua relação com parâmetros da qualidade da água. Para os próximos estudos é pretendida a inclusão da análise temporal histórica dos dados de qualidade da água e do uso e cobertura da terra.

Agradecimentos

O presente trabalho teve apoio da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001, do Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico – CNPq – (processo: 402907/2016-7), Fundação de Amparo a Pesquisa de Minas Gerais (processo: APQ-00231-17) e da Gerência de Monitoramento de Qualidade da Água do IGAM que forneceu os dados do monitoramento hidrológico.

Referências Bibliográficas

COMITÊ DA BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DOCE. **Apresentação: Comitê da Bacia Hidrográfica do Rio Doce**. Disponível em: <<http://www.cbhdoce.org.br/institucional/cbh-doce/apresentacao>>. Governador Valadares: CBH-Doce, 2018. Acesso em: 30 jul. 2019.

LI, K. et al. **Identifying the critical riparian buffer zone with the strongest linkage between landscape characteristics and surface water quality**. [S.l]: Ecological Indicators. n. 93, 2018, p. 741-752.

MARZIN, A.; VERDONSCHOT, P. F. M.; PONT, D. **The relative influence of catchment, riparian corridor, and reach-scale anthropogenic pressures on fish and macroinvertebrate assemblages in French rivers**. Suíça: Hydrobiologia, v. 704, n. 1, p. 375-388, 2013. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10750-012-1254-2>>. Acesso em: 30 jul. 2019.

McGARIGAL, K. **Fragstats Help**. Amherst: University of Massachusetts, 2015. Disponível em: <<https://www.umass.edu/landeco/research/fragstats/documents/fragstats.help.4.2.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2019.

MORLEY, S. A.; KARR, J. R. **Assessing and restoring the health of urban streams in the Puget Sound basin**. [S.l.]: Conservation Biology, v. 16, n. 6, p. 1498–1509, 2002.

OLIVEIRA, L. M.; MAILLARD, P. ANDRADE, P. E. J. **Modeling the effect of land use/land cover on nitrogen, phosphorous and dissolved oxygen loads in the Velhas River using the concept of exclusive contribution area**. Gewerbesraße: Environmental Monitoring and Assessment, v. 188, n. 333, 2016. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s10661-016-5323-2>>. Acesso em: 30 jul. 2019.

RUTLEDGE, D. **Landscape indices as measures of the effects of fragmentation: can pattern reflect process?** Department of Conservation. New Zealand: DOC Science Internal series 98, 2003. Disponível em: <<https://www.doc.govt.nz/Documents/science-and-technical/DSIS98.pdf>>. Acesso em: 30 jul. 2019.

SANTOS, J. P. dos; MARTINS, I.; CALLISTO, M.; MACEDO, D. R. **Relações entre qualidade da água e uso e cobertura do solo em múltiplas escalas espaciais na bacia do Rio Pandeiros, Minas Gerais**. Diamantina: Revista Espinhaço | UFVJM, v. 6, n. 2, p. 36-46, 2017. Disponível em: <<http://www.revistaespinhaco.com/index.php/journal/article/view/173>>. Acesso em: 27 jul. 2019.

SLIVA, L.; DUDLEY, D. W. **Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality**. [S.l.]: Water Research, n. 35, p. 3462–3472, 2001. Disponível em: <[http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354\(01\)00062-8](http://dx.doi.org/10.1016/S0043-1354(01)00062-8)>. Acesso em: 27 jul. 2019.

SPONSELLER, R. A.; BENFIELD, E. F.; VALETT, H. M. **Relationships between land use, spatial scale and stream macroinvertebrate communities**. Nova Jersey: Freshwater Biology, n. 46, p. 1409-1424, 2001.

USGS. **SRTMGL1: NASA Shuttle Radar Topography Mission Global 1 arc second V003**. Land Processes Distributed Active Archive Center. Virginia: US Geological Survey, 2015. Disponível em: <<https://lpdaac.usgs.gov/products/srtmgl1v003/>>. Acesso em: 20 set. 2018.

VON SPERLING, M. **Estudos e modelagem da qualidade da água de rios**. 2ª ed. Belo Horizonte: UFMG, 2014.

XIN, Z.; JINTIAN, C.; YUQI, L.; LEI, W. **Geo-cognitive computing method for identifying “source-sink” landscape patterns of river basin non-point source pollution**. [S.l.]: International Journal Agricultural and Biological Engineering, n. 10, p. 55–68, 2017. Disponível em: <<https://ijabe.org/index.php/ijabe/article/view/3272>>. Acesso em: 27 jul. 2019.

ZHANG, X.; LIU, Y.; ZHOU, L. **Correlation Analysis between Landscape Metrics and Water Quality under Multiple Scales**. Bethesda: International Journal of Environmental Research, v. 15,

n. 1606, 2018. Disponível em: <<https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC6121383/>>. Acesso em: 27 jul. 2019.