

Diagnóstico multitemporal do uso e cobertura da terra e qualidade das águas na bacia do rio Jequitinhonha em Minas Gerais como subsídio à gestão dos recursos hídricos superficiais

Hélio de Magalhães Júnior*

Frederico Azevedo Lopes**

Diego Rodrigues Macedo***

* Cientista Socioambiental (UFMG), Mestre em Análise e Modelagem de Sistemas Ambientais (UFMG).

** Geógrafo (UFMG), Mestre em Engenharia Florestal (UFLA), Doutor em Geografia (UFMG). Professor (IGC-UFMG).

*** Geógrafo (UFMG), Mestre em Geografia (UFMG), Doutor em Ecologia (UFMG). Professor (IGC-UFMG).

Resumo A bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha tem sido afetada por alterações na cobertura e no uso da terra e, conseqüentemente, na qualidade dos recursos hídricos locais desde o ciclo de exploração minerária de ouro e diamante, especialmente durante o século XVIII. Apesar da baixa disponibilidade hídrica e pressões sobre os recursos hídricos locais, os instrumentos de gestão dos recursos hídricos, tais como a cobrança e outorga qualitativa ainda não foram efetivados na bacia. Neste contexto, este trabalho busca relacionar a evolução do uso e ocupação da terra na bacia com os parâmetros de qualidade da água que compõem o Índice de Qualidade da Água (IQA), identificando as principais fontes de pressão sobre os recursos hídricos. A classificação do uso e cobertura da terra foi realizada por meio de dados disponibilizados pelo Projeto MapBiomias no ano 2000 e 2014, enquanto os dados de qualidade das águas foram obtidos junto ao programa de monitoramento realizado pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM). A análise dos dados foi conduzida por meio de análise estatística descritiva e construção de modelos de regressão múltipla. Os resultados evidenciaram que as atividades de agricultura e pecuária foram as que mais influenciaram a qualidade das águas na bacia no período estudado (2000 e 2014), especialmente sobre os valores de Nitrato, Sólidos totais e pH. Além disto, os resultados no período seco foram mais significativos em relação ao período chuvoso, provavelmente devido a maior estabilidade ambiental na seca. Deste modo, a deterioração da qualidade ambiental na bacia, principalmente, devido ao aumento de áreas com atividades antrópicas em detrimento das áreas naturais tem comprometido a qualidade de suas águas.

Palavras-chave: Uso da terra; Qualidade das águas; Gestão de recursos hídricos; rio Jequitinhonha.

1. Introdução

A qualidade dos recursos hídricos superficiais está diretamente relacionada às características geológicas, climáticas, pedológicas, biológicas e usos antropogênicos (Brierley 2010). O modelo predominante de uso e ocupação da terra, influenciado pelo desenvolvimento das atividades econômicas e pelo adensamento populacional e expansão urbana desordenados, têm alterado a dinâmica hídrica em bacias hidrográficas em todo o globo. Aspectos relacionados à alteração da capacidade de infiltração da água e a recarga dos sistemas aquíferos (IPCC, 2014) e poluição de cursos d'água (Julian *et al.* 2017), tem comprometido a disponibilidade quantitativa e qualitativa das águas, favorecendo a ocorrência de conflitos de usos nas respectivas bacias hidrográficas.

A poluição antropogênica das águas tem como origem diversas fontes, pontuais e difusas (Von Sperling 2014),

associadas ao tipo de uso e ocupação da terra em bacias hidrográficas (Lee *et al.* 2009). No Brasil, as águas superficiais tendem a ser mais poluídas nos centros urbanos devido a intensa urbanização desordenada e ao sistema de saneamento sanitário deficiente (Tucci 2008; Piazi *et al.* 2018). Nesses casos, os esgotos domésticos representam um grande impacto à qualidade da água, principalmente em áreas com maior adensamento populacional e com corpos d'água com baixa capacidade de assimilação das cargas poluidoras (ANA, 2015). Já nas áreas rurais, o desmatamento em áreas de preservação permanente, as atividades agropecuárias, os usos de fertilizantes e agrotóxicos sintéticos, mineração, dentre outras atividades econômicas têm contribuído para a degradação dos corpos hídricos superficiais (Resende 2002; Gyawali *et al.* 2013; BU *et al.* 2014).

Apesar dos inerentes avanços na política e nos instrumentos de gerenciamento de recursos hídricos, o planejamento e a gestão integrada com o uso da terra ainda consistem em um desafio para sua efetividade (Carneiro *et al.* 2010). Deste modo,

A bacia do Jequitinhonha possui características climáticas que variam do clima semiárido a úmido, com totais pluviométricos anuais entre 600 e 1.600 mm, irregularmente distribuídos ao longo do ano. As chuvas são concentradas entre os meses de outubro a março (IBGE 1997).

A vegetação na bacia do rio Jequitinhonha é caracterizada basicamente pelos Domínios Fitoecológicos Floresta Estacional, Savana e Caatinga. Nas cabeceiras do rio Jequitinhonha verifica-se a ocorrência dos campos rupestres e campos de altitude na Serra do Espinhaço com o predomínio dos estratos herbáceo e arbustivo. No geral, a cobertura vegetal na bacia foi descaracterizada ou completamente substituída por monoculturas de eucalipto, pastagens e culturas agrícolas sem técnicas adequadas de manejo (Ferreira 2007).

A ocupação econômica é marcada pela presença de atividades ligadas à mineração, pecuária extensiva e agricultura familiar, silvicultura, cafeicultura, turismo, artesanato e agroindústria (Ferreira 2007).

Uma característica dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha são os usos múltiplos da água. A maior concentração dos usos está localizada no Alto e Médio Jequitinhonha com destaque para o abastecimento público, irrigação e indústria (IGAM, 2010). O uso e ocupação da terra inadequado em algumas porções da bacia, o desmatamento da vegetação natural associado com a susceptibilidade apresentada em diversas áreas a processos erosivos, tem gerado o assoreamento dos rios e carreamento de produtos agroquímicos aos corpos hídricos (Ferreira 2007).

Procedimentos metodológicos

Para a avaliação da influência do uso da terra na qualidade da água, inicialmente a bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha foi fragmentada em 25 sub-bacias, que representam a área de drenagem a montante de cada uma das estações amostrais de monitoramento de qualidade das águas operada pelo IGAM.

As classes de uso da terra da bacia do rio Jequitinhonha foram obtidas com base na realizada pelo Projeto MapBiomias (Coleção 2.3) (MAPBIOMAS 2018). Este Projeto de Mapeamento Anual da Cobertura e Uso do Solo do Brasil (MapBiomias) criou mapeamentos anuais de uso e cobertura da terra a partir de processos de classificação automática aplicada a imagens de satélite Landsat entre os anos de 1985 e 2017 com a plataforma *online* de acesso às imagens de sensoriamento remoto classificadas (MAPBIOMAS 2018). Assim, foram utilizadas as classificações do uso e cobertura da terra dos anos de 2000 e 2014 no formato matricial (resolução espacial de 30x30 metros) para toda a área de drenagem da bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha em Minas Gerais.

Neste estudo, foram identificados na bacia do Jequitinhonha cinco classes de coberturas naturais (Formações florestais, Formações savânicas, Vegetação campestre (Campos), Outras formações não florestais, Corpos d'água) e cinco classes de usos da terra influenciados pelo homem (Florestas plantadas, Pastagem, Agricultura ou Pastagem, Áreas não vegetadas, Infraestrutura urbana). Assim, foi determinada a variação da área de uso e ocupação da terra entre os anos 2000 e 2014 para cada classe. As variáveis de uso e ocupação da terra foram calculadas em porcentagem e transformadas em arco seno da raiz quadrada para fins de normalização da distribuição. Também foi gerada para o modelo estatístico uma variável denominada “% natural” que corresponde à soma das áreas

naturais em porcentagem: Formações florestais, Formações savânicas, Vegetação campestre (Campos), Outras formações não florestais. A classe Corpos d'água não foi utilizada no modelo.

Os dados de qualidade da água utilizados foram adquiridos no sistema de monitoramento de qualidade das águas do IGAM, disponíveis para a bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha no Portal InfoHidro (IGAM, 2019). Atualmente, a rede de monitoramento da bacia hidrográfica analisada é composta por 29 pontos de coletas, sendo recolhida e analisadas pelo IGAM trimestralmente quatro amostras por ano e cerca de 50 parâmetros (IGAM, 2016). Nesta pesquisa foram utilizados apenas 25 pontos de monitoramento do IGAM (ver FIG 1), sendo que os parâmetros de qualidade da água analisados para o ano 2000 foram obtidos em 13 pontos de monitoramento e para o ano de 2014 foram utilizados os 25 pontos.

A seleção das amostragens correlatas aos anos para análise de qualidade da água foi feita com base nos anos das classificações do uso e ocupação da terra (2000 e 2014) que foram considerados os “anos base” da pesquisa. Também foi considerada a variabilidade temporal dos parâmetros de qualidade da água, pela adoção de uma série histórica de três anos consecutivos escolhendo um ano anterior e outro posterior aos “anos base” para verificar a influência do uso da terra na qualidade da água (1999, 2000 e 2001: ano base 2000; 2013, 2014 e 2015: ano base 2014). Ressalta-se que o número de pontos de monitoramento do IGAM aumentou durante o período analisado, os quais foram inseridos pelo Instituto ao longo dos anos na área da bacia.

Devido a flutuação sazonal e temporal dos dados, optou-se por utilizar os valores medianos das variáveis de qualidade da água dos períodos de seca (entre os meses de abril a setembro) e chuvoso (entre os meses de outubro a março) da bacia para os três anos em relação a cada “ano base”, ou seja: 1999, 2000 e 2001 (base 2000) e 2013, 2014 e 2015 (base 2014). Assim, foi gerado um conjunto de variáveis de qualidade da água para o ano de 2000 e outro para o ano de 2014.

Os parâmetros de qualidade da água utilizados na pesquisa são aqueles que compõem o IQA do IGAM (IGAM, 2005). Deste modo, utilizou-se as seguintes variáveis da água: Oxigênio dissolvido (mg/L), Temperatura da Água (°C), Coliformes Termotolerantes / *Escherichia coli* (NMP/100mL), pH, Demanda Bioquímica de Oxigênio (mg/L), Nitrato (mg/L), Fósforo total (mg/L), Turbidez (NTU), Sólidos totais (mg/L), conforme metodologia de cálculo do IQA-IGAM (IGAM, 2005). O resultado do cálculo do IQA também foi utilizado como uma variável no modelo estatístico. No “ano base” 2000 foram utilizados os dados Coliformes Termotolerantes, substituídos pela *Escherichia coli* no “ano base” 2014, haja vista que o IGAM substituiu no monitoramento de qualidade da água os dados de Coliformes Termotolerantes por *Escherichia coli* a partir do ano 2013. A análise dos dados foi conduzida por meio de análise estatística descritiva e na construção de modelos de regressão múltipla, utilizando as variáveis de uso e ocupação da terra como variáveis independentes e os parâmetros de qualidade da água (de forma individual e o resultado do IQA, nas estações seca e chuvosa) como variáveis dependentes.

Em relação as variáveis de qualidade da água, apenas os parâmetros Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO) e Temperatura da Água não foram usadas no modelo estatístico devido à baixa variabilidade observada na série temporal.

A estratégia analítica foi a construção de modelos de regressão múltipla para os anos de 2000 e 2014, através do método *forward stepwise* sendo realizado com no máximo dois passos para todas as variáveis do modelo, devido ao número reduzido de amostras (13 em 2000 e 25 em 2014). Desta maneira, cada modelo deveria ter no máximo dois preditores, evitando problemas de super-ajuste (Gotelli e Ellison 2011). Desta forma, foram identificados os usos da terra que contribuíram positivo ou negativamente para os parâmetros de qualidade da água na bacia para os anos de 2000 e 2014 na época da seca e da chuva, através dos coeficientes β padronizados dos modelos.

Uso e cobertura da terra

Ao analisar as mudanças no uso e cobertura da terra entre os anos de 2000 e 2014 (Tabela 1), foi observado uma diminuição das áreas de cobertura natural entre os anos de 2000 e 2014. A classe Formações florestais apresentou uma redução de sua área ao longo do período de estudo (1979,72 km²), assim como a classe de Formações savânicas (730,37 km²) e Vegetação campestre - Campos (96,48 km²). Tal fato pode ser decorrente, principalmente, do aumento da área das classes de Agricultura ou Pastagem (190,94 km²) e Florestas plantadas (3132,70 km²). Houve o aumento da área das classes Corpos d'água (77,37 km²), Infraestrutura urbana (86,40 km²) e Outras formações não florestais (22,13 km²) na bacia do rio Jequitinhonha.

Classes uso e cobertura da terra	Área km ²			% cobertura área da bacia	
	2000	2014	Diferença	2000	2014
Agricultura ou Pastagem	24243,10	24434,04	190,94	36,87	37,16
Áreas não vegetadas	416,81	339,43	-77,37	0,63	0,52
Corpos d'água	130,88	217,51	86,63	0,20	0,33
Florestas plantadas	152,34	3285,04	3132,70	0,23	5,00
Formações florestais	18806,79	16827,07	-1979,72	28,60	25,59
Formações savânicas	4691,38	3961,01	-730,37	7,14	6,02
Infraestrutura Urbana	22,18	108,58	86,40	0,03	0,17
Outras formações não florestais	43,00	65,13	22,13	0,07	0,10
Pastagem	13551,36	12916,58	-634,78	20,61	19,64
Vegetação campestre (Campos)	3693,08	3596,60	-96,48	5,62	5,47
Total	65750,00	65750,00	-	100	100

Tabela 1: Mudança na cobertura e uso da terra nos anos de 2000 e 2014 para a bacia do rio Jequitinhonha em Minas Gerais.
Fonte: MAPBIOMAS, 2018.

3. Resultados

Qualidade das águas

Na análise comparativa do Índice de Qualidade da Água entre as estações de monitoramento que possuem dados nos anos de 1999 a 2001 e 2013 a 2015, os resultados do IQA (Figuras 2 e 3) obtidos durante a seca, evidenciaram em ambos os períodos analisados (1999 a 2001 e 2013 a 2015) que 85% das estações apresentaram IQA “bom” ($70 < IQA \leq 90$) e 15% “regular” ($50 < IQA \leq 70$). Entretanto, durante a estação

chuvosa, a frequência da classificação de IQA “regular” alcançou 92% no período de 1999 a 2001 e 38% durante 2013 a 2015, enquanto a classificação do IQA “bom” reduziu para 8% em 1999 a 2001 e para 62% em 2013 a 2015.

No período de seca, houve o predomínio da classificação de IQA “bom”, enquanto na chuva foi o IQA “regular”. Em análise comparativa entre seca e chuva no período de 1999 a 2001, 77% das amostras passaram da categoria de IQA “bom” na seca para “regular” na chuva, enquanto no período de 2013 a 2015, 23% das amostras alternaram da categoria de IQA “bom” na seca para “regular” na chuva.

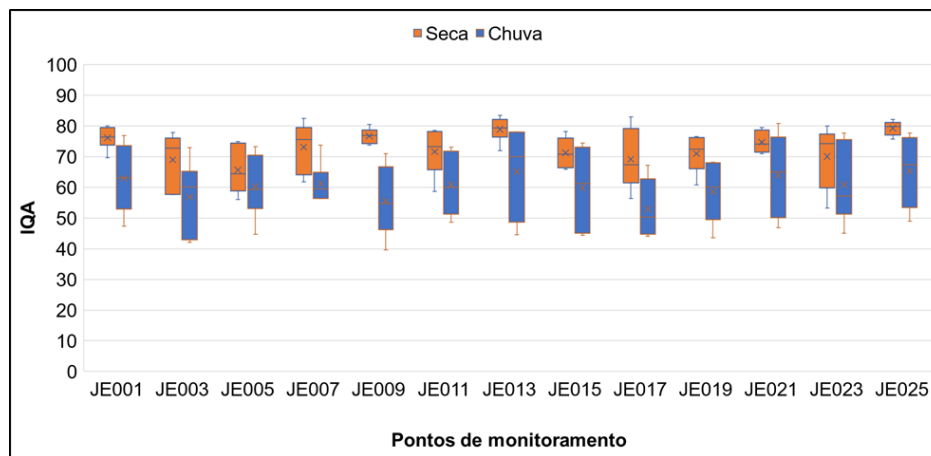


Figura 2: Valores do IQA de estações de monitoramento de qualidade da água no período de 1999 a 2001 na bacia do rio Jequitinhonha em Minas Gerais. (Barra: mediana; caixa: intervalo inter-quartil; fios de bigode: máximo e mínimo).
Fonte: IGAM, 2019.

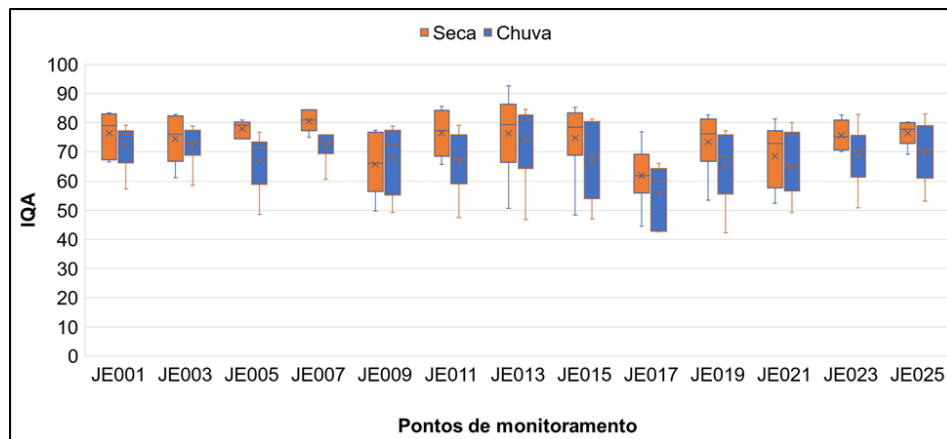


Figura 3: Valores do IQA de estações de monitoramento de qualidade da água no período de 2013 a 2015 na bacia do rio Jequitinhonha em Minas Gerais. (Barra: mediana; caixa: intervalo inter-quartil; fios de bigode: máximo e mínimo).
Fonte: IGAM, 2109.

Relação entre o uso e cobertura da terra e a qualidade de água

No período de seca do ano 2000 (Tabela 2), cinco variáveis de qualidade da água obtiveram associações significativas com variáveis de uso e ocupação da terra: Coliformes termotolerantes apresentaram associação negativa com Formações florestais e positiva com Florestas plantadas ($R^2=0,40$); Nitrato foi associado negativamente à área de Formações florestais e positivamente à Formações savânicas ($R^2=0,72$); Oxigênio dissolvido foi positivamente associado à Formações savânicas e Pastagem ($R^2=0,39$); pH associou-se positivamente com Formações savânicas e Pastagem ($R^2=0,82$); Sólidos totais foi associada negativamente à Formações florestais e à Outras formações não florestais ($R^2=0,55$); Turbidez apresentou associação positiva com Vegetação campestre (Campos) e negativa com Agricultura ou Pastagem ($R^2=0,87$).

Para o período chuvoso no ano 2000, foi observada uma redução no número de variáveis significativamente associadas ao uso e ocupação da terra (Tabela 2). Neste caso, o Nitrato associou-se negativamente com Formações florestais e positivamente à Pastagem ($R^2=0,68$); pH foi associado negativamente à áreas de Agricultura ou Pastagem e Áreas não vegetadas ($R^2=0,80$); enquanto a variável Sólidos totais foi

associada positivamente à Vegetação campestre (Campos) e negativamente à Áreas não vegetadas ($R^2=0,50$).

Os resultados referentes ao período seco do ano de 2014 (Tabela 3), demonstraram associação positiva entre *Escherichia coli* e Florestas plantadas e Agricultura ou Pastagem ($R^2=0,31$). O Fósforo total foi associado positivamente às áreas de Agricultura ou Pastagem e negativamente às Áreas não vegetadas ($R^2=0,41$). O Nitrato teve associação positiva com Infraestrutura urbana e negativa com “% natural” ($R^2=0,63$). O Oxigênio dissolvido associou-se negativamente com Outras formações não florestais e positivamente com Áreas não vegetadas ($R^2=0,37$). O pH foi negativamente associado com áreas de campo e agricultura ou pastagem ($R^2=0,43$). A variável de Sólidos totais foi associada negativamente à Florestas plantadas e positivamente à Pastagem ($R^2=0,73$). Enquanto os valores de IQA associaram-se negativamente às áreas de Agricultura ou Pastagem e positivamente às Áreas não vegetadas ($R^2=0,48$).

No período de chuva do ano 2014 (Tabela 3), o Nitrato foi negativamente associado à Vegetação natural e positivamente à Formações savânicas ($R^2=0,75$). O Oxigênio dissolvido foi associado negativamente à Outras formações não florestais e positivamente às Áreas não vegetadas ($R^2=0,49$). O pH teve associação negativa com área de Vegetação campestre (Campos)

e positiva com área de Pastagem ($R^2=0,79$). Os Sólidos totais associaram-se somente com Pastagem positivamente ($R^2=0,74$).

O IQA associou-se negativamente à Agricultura ou Pastagem e positivamente às Áreas não vegetadas ($R^2=0,38$).

Variável	Estação	Flor.	Sav.	F.Plan.	Camp.	Out.	Past.	Agro.	Sem.V.	Urb.	Nat.	R ²
Coliformes Termotolerantes	Seca	-0,43		+0,888								0,40*
	Chuva			+0,280							-0,57	0,35
Fósforo total	Seca			-0,36						+0,376		0,37
	Chuva									+0,467		0,21
Nitrato	Seca	-0,87	+0,349									0,72*
	Chuva	-0,49					+0,601					0,68*
Oxigênio dissolvido	Seca		+0,366				+0,603					0,39*
	Chuva									-0,31		0,09
pH	Seca		+0,249				+0,936					0,82*
	Chuva							-0,51	-0,57			0,80*
Sólidos totais	Seca	-0,79				-0,47						0,55*
	Chuva				+0,394					-0,94		0,50*
Turbidez	Seca			+0,982				-0,38				0,87*
	Chuva			-0,32	-0,57							0,33
IQA	Seca			-0,52				+0,420				0,30
	Chuva	+0,433							+0,408			0,36

Tabela 2. Regressão múltipla entre variáveis físicas e químicas da água e variáveis de coberturas naturais e usos da terra para o ano 2000. Coeficientes β_1 estandardizados representam associações positivas e negativas. Flor.: % Formações florestais; Sav.: %Formações savânicas; F.Plan.: % Florestas plantadas; Camp.: % Vegetação campestre (Campos); Out.: % Outras formações não florestais; Past.: % Pastagem; Agro.: % Agricultura ou Pastagem; Sem.V.: % Áreas não vegetada; Urb.: % Infraestrutura urbana, Nat.: % vegetação natural (Flor+Sav+Camp+Out). Valores R² com * são significativos ($p \leq 0,05$).

Variável	Estação	Flor.	Sav.	F.Plan.	Camp.	Out.	Past.	Agro.	Sem.V.	Urb.	Nat.	R ²
<i>Escherichia coli</i>	Seca			+0,434				+0,612				0,31*
	Chuva							+0,358	-0,27			0,23
Fósforo total	Seca							+0,474	-0,36			0,41*
	Chuva							+0,268	-0,31			0,19
Nitrato	Seca									+0,414	-0,68	0,63*
	Chuva		+0,827								-1,2	0,75*
Oxigênio dissolvido	Seca					-0,55			+0,297			0,37*
	Chuva					-0,64			+0,326			0,49*
pH	Seca				-0,72			-0,20				0,43*
	Chuva				-0,60		+0,410					0,79*
Sólidos totais	Seca			-0,14			+0,796					0,73*
	Chuva						+0,861					0,74*
Turbidez	Seca	+0,323							-0,25			0,10
	Chuva											0,00
IQA	Seca							-0,52	+0,385			0,48*
	Chuva							-0,40	+0,418			0,38*

Tabela 3. Regressão múltipla entre variáveis físicas e químicas da água e variáveis de coberturas naturais e usos da terra para o ano 2014. Coeficientes β_1 estandardizados representam associações positivas e negativas. Flor.: % Formações florestais; Sav.: %Formações savânicas; F.Plan.: % Florestas plantadas; Camp.: % Vegetação campestre (Campos); Out.: % Outras formações não florestais; Past.: % Pastagem; Agro.: % Agricultura ou Pastagem; Sem.V.: % Áreas não vegetada; Urb.: % Infraestrutura urbana, Nat.: % vegetação natural (Flor+Sav+Camp+Out). Valores R² com * são significativos ($p \leq 0,05$).

4. Discussão

Uso e cobertura da terra e qualidade de água

Na comparação entre os anos de 2000 e 2014, foi possível verificar o aumento da área das classes de uso e cobertura da terra relacionadas às atividades antrópicas em detrimento da diminuição das áreas de cobertura natural. Este processo vem ocorrendo na bacia desde o século XVIII, em função da existência de áreas ricas em recursos minerais e áreas aptas as atividades agropecuárias que implicou em desmatamento de vegetação natural (Ferreira 2007). Além disto, o aumento destas classes influenciou de maneira negativa nos parâmetros de qualidade de água.

No geral, a aumento dos níveis de nutrientes (Fosforo total e Nitrato) estiveram associados positivamente ao aumento de áreas agrícolas ou pastagens, e negativamente a presença de vegetação nativa, principalmente florestas. Este é um padrão que foi observado em outros estudos (p.ex. Buck *et al.* 2004), e evidencia que a floresta contribui na diminuição das cargas de nutrientes na água através da e redução do escoamento superficial para os corpos d'água e retenção destes no solo (Resende 2002). Já a associação positiva de nutrientes com a área de pasto e agrícolas podem estar relacionados ao uso de fertilizantes e a dessedentação animal e ao carreamento de excrementos de animais ao corpo hídrico (p.ex. Buck *et al.* 2004; Lopes *et al.* 2008).

O impacto das atividades antrópicas, sobretudo reflorestamento, pastagem e área agrícolas, também foram observados nos outros parâmetros do estudo, sobretudo nos sólidos totais dissolvidos e Coliformes Termotolerantes / *Escherichia coli*. O resultado evidencia que as atividades antrópicas como a plantação de eucalipto, Agricultura ou Pastagem com baixo nível tecnológico, podem contribuir para o aumento de carga de sólidos e coliformes na água. Isso ocorre possivelmente devido a presença de moradias que lançam efluentes na água, além da criação e dessedentação de animais, tais como suínos, aves e bovinos, que contribuem na carga de dejetos nos corpos hídricos superficiais (p.ex. Maillard e Santos 2008; Vanzela *et al.* 2010; Assis e Lopes 2017). Além disto, também foi observado a redução do oxigênio dissolvido.

Por outro lado, a vegetação natural possui papel importante, sobretudo no controle da carga difusa (Maillard e Santos 2008; Gyawali *et al.* 2013; Afed Ullah *et al.* 2018). Nota-se que áreas com vegetação natural se correlacionaram positivamente com Oxigênio dissolvido e negativamente com sólidos totais.

Em síntese, a variável IQA na bacia do rio Jequitinhonha em Minas Gerais esteve associada negativamente às áreas de agricultura ou pastagem. Tal relação é possivelmente associada à contribuição de matéria orgânica e inorgânica aos rios, que são refletidos entre as variáveis que compõem o IQA, tais como as concentrações de Turbidez, Oxigênio Dissolvido, Coliformes termotolerantes / *Escherichia Coli* e Sólidos totais. Esta relação negativa de parâmetros que compõem o IQA com agricultura ou pastagem foi corroborada por vários pesquisadores (Sliva e Wilians 2001; Buck *et al.* 2004; Maillard e Santos 2008; Vanzela *et al.* 2010; Menezes *et al.* 2016). No entanto, devido ao processo de formulação do IQA, os resultados devem ser analisados em conjunto com as variáveis componentes, haja vista a interferência de condições naturais das respectivas bacias hidrográficas, bem

como de resultados discrepantes em uma única variável, sobre o resultado geral do índice (Lopes e Magalhães J. 2010).

Influências sazonais nas relações entre uso e cobertura da terra e qualidade da água

Dentre os principais reflexos da expansão das atividades antrópicas na bacia do rio Jequitinhonha, a degradação da qualidade das águas, especialmente associada à poluição difusa. Durante a estação chuvosa, o carreamento de fertilizantes (Bu *et al.* 2014; Afed Ullah *et al.* 2018), material fecal (Assis e Lopes 2017), e condições sanitárias inadequadas em áreas urbanas (Piazi *et al.* 2018) contribuem para a deterioração da qualidade das águas locais em áreas agrícolas. No entanto, os modelos se apresentaram com maior explicação no período seco, provavelmente devido a maior estabilidade dos processos devido a baixa variabilidade pluviométrica no período seco. Isto pode ser observado quando algumas situações atípicas são observadas: por exemplo a associação positiva das áreas de Vegetação campestre (Campos) e negativa das Áreas não vegetadas com Sólidos Totais; ou Turbidez sendo positiva para Vegetação campestre (Campos) e negativa com Agricultura ou Pastagem (ambos os resultados em 2000).

Influencia temporal sobre as relações entre uso e cobertura da terra e qualidade de água

Do ponto de vista intertemporal, os modelos em 2014 apresentaram melhor poder explicativo. Isto pode estar associado a dois fatores: o maior número de estações amostrais em 2014, que pode estar proporcionando os melhores ajustes nos modelos, ou o maior gradiente de degradação no uso do solo, que também aumenta a variabilidade dos dados.

Os modelos construídos entre 2000 e 2014 no geral não tiveram os mesmos componentes, o que dificulta comparações. No entanto, os resultados gerais do estudo foram consistentes nas duas datas: atividades agropecuárias impactando a qualidade da água, enquanto as formações florestais auxiliam no controle da poluição difusa. Em bacias bastante urbanizada (p.ex. Rio das Velhas), o impacto da urbanização é bem superior, principalmente em relação a carga pontual (Callisto *et al.* 2019).

Ganhos com a abordagem para a gestão dos recursos hídricos da bacia

A abordagem utilizada na análise estatística foi capaz de demonstrar algumas associações significativas entre uso e ocupação da terra e qualidade da água na bacia do rio Jequitinhonha em Minas Gerais. A utilização de toda a área de drenagem da bacia gerou resultados abrangentes, e os modelos ajudaram a identificar as variáveis de qualidade da água que possuem maior relação com as classes de uso e ocupação da terra.

Deste modo, cabe ressaltar a importância da efetiva gestão integrada do uso da terra e recursos hídricos, de forma a se alcançar os objetivos propostos pelas diretrizes do enquadramento na bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha, quando estas forem oficializadas pelo Conselho Estadual de Recursos Hídricos. De acordo com os Planos Diretores de Recursos Hídricos da bacia do rio Jequitinhonha, há a previsão de que, por exemplo, nos trechos a montante da bacia, em áreas de nascentes, seja adotado a classe 1 ou Especial (Gama 2010; 2013). Assim, quando forem implementados os Programas de Efetivação que contêm a

definição de objetivos e metas, propostas de ação de gestão, prazos de execução e planos de investimento, as atividades antrópicas na bacia devem ser adequadas aos novos objetivos de qualidade, conforme as diretrizes do enquadramento. Neste contexto, destaca-se o papel fundamental de outros instrumentos de gestão de recursos hídricos, como a outorga quantitativa/qualitativa e a cobrança. Deve-se priorizar ações programáticas, como a preservação e/ou recomposição da vegetação ripária e nascentes (Áreas de Preservação Permanentes), uso racional da água (Outorga e Cobrança), gestão das águas subterrâneas e regularização de vazão (IGAM, 2016).

5. Considerações finais

A evolução do uso e ocupação do solo na bacia hidrográfica do rio Jequitinhonha tem acarretado a degradação dos recursos hídricos locais. A análise da influência do uso e ocupação da terra na qualidade da água permitiu compreender essa relação, principalmente com os usos que obtiveram mais associações como o Nitrato, Sólidos totais e pH. Atividades de agricultura e pecuária são as que mais influenciaram a qualidade das águas nos últimos anos na bacia. É importante que este estudo seja utilizando dentro do contexto de bacias com baixa urbanização, na qual a carga orgânica pontual possui contribuição bem menor em relação a carga difusa advinda das atividades agrícolas.

A violação dos resultados em relação ao enquadramento dos corpos hídricos superficiais na bacia em alguns pontos de monitoramento, principalmente no período de chuva, evidenciou que a qualidade da água prevista para a região do Jequitinhonha não está em conformidade aos objetivos da Classe 2. Deste modo, usos como abastecimento público após tratamento convencional, proteção das comunidades aquáticas, recreação de contato primário, irrigação e pesca podem ser comprometidos em função das atividades antrópicas desenvolvidas na bacia.

Devido à extensão da área da bacia do rio Jequitinhonha e à complexidade de fatores que interferem em uma análise de poluição hídrica em escala de bacia hidrográfica, a pesquisa conseguiu apontar alguns fatores, associados à poluição difusa, que podem estar influenciando na qualidade da água na região do Jequitinhonha. A busca por fatores associados a pressões antrópicas e respostas ambientais pode deixar de considerar variáveis importantes que tenha pouca variabilidade na amostra e reduzida capacidade de explicação na análise estatística.

Deste modo, são necessárias pesquisas em escalas de sub-bacias, por exemplo, visando identificar os fatores preponderantes que contribuem na poluição hídrica local. O aumento na quantidade de pontos de monitoramento do IGAM ao longo do período analisado na bacia, a frequência de amostragem das variáveis de qualidade das águas foram fatores limitantes da pesquisa e que podem ter influenciado no resultado. A quantidade maior de pontos de monitoramento no segundo período de amostragem (2013 a 2015) gerou um maior número de amostras de parâmetros de água, o que permitiu observar um maior número de relações significativas em 2014. Além disso, a frequência das amostragens do IGAM, restritas a quatro campanhas anuais, consiste em um outro fator limitante, visto a influência de fatores sazonais e possíveis problemas nas amostragens. Mais além, em estudos futuros, com um número similar de sites intertemporais, deve-se avaliar se modelos construídos com os mesmos parâmetros possuem resultados consistentes em múltiplas escalas temporais.

Não obstante, este estudo é pioneiro ao abordar a relação do uso e ocupação da terra com a qualidade da água para toda a região da bacia do rio Jequitinhonha em Minas Gerais, demonstrando o declínio da qualidade das águas devido à intensificação e expansão geográfica das atividades agropecuárias relacionadas principalmente a agricultura e pastagem. Nestas situações, há a dificuldade e a complexidade de conciliar a gestão do uso do solo com a gestão das águas devido ao modelo vigente de gerenciamento do uso do solo em nível municipal, com a gestão das águas por bacia hidrográfica. Portanto, torna-se imprescindível desenvolvimento de novas pesquisas na região, subsidiando ações dos comitês de bacia hidrográficas e a gestão integrada de recursos hídricos com o uso da terra.

6. Agradecimentos

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – CAPES (Código de Financiamento 001) pela concessão de bolsa de mestrado ao primeiro autor, ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) e a Pró-reitoria de Pesquisa da UFMG (PRPq/UFMG). Às professoras, Dra. Camila Palhares Teixeira (PPGMSA-UFMG) e Dra. Gleyce Campos Dutra (UFVJM), pelas correções e valiosas observações na versão preliminar do trabalho.

REFERÊNCIAS

- AFED ULLAH K, JIANG J, WANG, P. 2018. Land use impacts on surface water quality by statistical approaches. *Global Journal of Environmental Science and Management* **4** (2) 231-250.
- AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS – ANA. 2015. *Conjuntura dos recursos hídricos: informe 2015*. Agência Nacional de Águas. Brasília, 88 p.
- ASSIS E, LOPES FWA. 2017. Avaliação da qualidade das águas na bacia do Ribeirão das Araras, Córrego Danta (MG). *Caminhos de Geografia*, **18**(63), 133-152.
- BRIERLEY GJ. 2010. Landscape memory: the imprint of the past on contemporary landscape forms and processes. *Area*, **42**(1), 76-85.
- BU H, MENG W, ZHANG Y, WAN J. 2014. Relationships between land use patterns and water quality in the Taizi River basin, China. *Ecological Indicators* **41**(1), 187-197.
- BUCK O, NIYOGI DK, TOWNSEND CR. 2004. Scale-dependence of land use effects on water quality of streams in agricultural catchments. *Environmental Pollution*, **130**(2) 287-299.
- CALLISTO M, MORENO P, MACEDO DR. 2019. Biomonitoramento e pressões da urbanização: Uma abordagem integrada entre Ecologia e Geografia na bacia do rio das Velhas. *Revista Espinhaço* **8**(1), 2-12.
- CARNEIRO PRF, CARDOSO AL, ZAMPRONIO GB, MARTINGIL MC. 2010. A Gestão Integrada de Recursos Hídricos e do Uso do Solo em bacias urbano-metropolitanas: o

controle de inundações na bacia dos rios Iguaçú/Sarapuí, na Baixada Fluminense. *Ambiente & Sociedade* **8**(1), 29-49.

COSKUN GH, ALPARSLAN E. 2009. Environmental modelling of Omerli catchment area in Istanbul, Turkey using remote sensing and GIS techniques. *Environmental Monitoring & Assessment* **153** Issue 1-4, 323-332.

FERREIRA VO. 2007. Paisagem, recursos hídricos e desenvolvimento econômico na bacia do Rio Jequitinhonha, em Minas Gerais. Tese (Doutorado em Geografia) – Instituto de Geociências, Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG), Belo Horizonte, 291.

GAMA ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. 2010. *Plano diretor de recursos hídricos da bacia hidrográfica do rio Aracuaí – Relatório Síntese*. Gama Engenharia. Novembro, 2010. [online] URL:<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/downloads/publicacoes-tecnicas/bacia-hidrografica-do-rio-jequitinhonha/8200-upgrhj2rio-aracuai>.

GAMA ENGENHARIA DE RECURSOS HÍDRICOS. 2013. *Relatório Diagnóstico dos Afluentes do médio e baixo Jequitinhonha (JQ3) RT2*. Gama Engenharia. Setembro, 2013. [online] URL:<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/downloads/publicacoes-tecnicas/bacia-hidrografica-do-rio-jequitinhonha/upgrhj3medio-e-baixo-rio-jequitinhonha/8867-diagnostico>.

GYAWALI S, TECHATO K, MONPRAPUSSORN S, YUANGYAI, C. 2013. Integrating Land use and Water quality for Environmental based land use planning for U-tapao River Basin, Thailand. *Procedia – Social and Behavioral Sciences* **91**(1), 556 – 563.

GOTELLI NJ, ELLISON AM. 2011. *Princípios de estatística em ecologia*. 1ª Edição, Artmed Editora, Porto Alegre.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA - IBGE. 1997. *Diagnóstico ambiental da bacia do rio Jequitinhonha. Diretrizes gerais para a ordenação territorial. Ministério do Planejamento e Orçamento*. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. 1ª Divisão de Geociências do Nordeste, Salvador.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. 2016. *Boletim Anual da Qualidade das Águas na bacia hidrográfica do Alto rio Jequitinhonha*. Gerência de Monitoramento de Qualidade das Águas. Belo Horizonte, 5.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. 2010. *Monitoramento da qualidade das águas superficiais na bacia do rio Jequitinhonha em 2009*. Instituto Mineiro de Gestão das Águas. Belo Horizonte, 154.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. 2019. *Portal InfoHidro. Bacia do rio Jequitinhonha. IGAM, 2019*. [online] URL:<http://portalinfohidro.igam.mg.gov.br/unidades-de-planejamento/bacia-do-rio-jequitinhonha>.

INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS - IGAM. 2005. *Sistema de cálculo da qualidade da água (SCQA): estabelecimento das equações do Índice de Qualidade das Águas (IQA)*. *Relatório 1*. 2005. [online] URL:http://aguas.igam.mg.gov.br/aguas/downloads/SCQA_final.pdf.

INTERGOVERNMENTAL PANEL ON CLIMATE CHANGE - IPCC. 2014. Freshwater Resources. In: *Climate Change 2014 – Impacts, Adaptation, and Vulnerability: Part A: Global and Sectoral Aspects: Working Group II Contribution to the IPCC Fifth Assessment Report*. Cambridge University Press, 229-270.

JULIAN JP, BEURS KMD, OWSLEY B, DAVIES-COLLEY RJ, AUSSEIL AGE. 2017. River water quality changes in New Zealand over 26 years: response to land use intensity. *Hydrology and Earth System Sciences* **21**(2), 1149-1171.

LEE SW, HWANG SJ, LEE SB, HWANG HS, SUNG HC. 2009. Landscape ecological approach to the relationships of land use patterns in watersheds to water quality characteristics. *Landscape and Urban Planning* **92**(2), 80-89.

LOPES FWA., MAGALHÃES JR AP, PEREIRA JA. 2008. Avaliação da qualidade das águas e condições de balneabilidade na bacia do Ribeirão de Carrancas-MG. *Revista Brasileira de Recursos Hídricos* **13** (4) 111-119.

LOPES FWA, MAGALHÃES JR AP. 2010. Influência das condições naturais de pH sobre o Índice de Qualidade das Águas (IQA) na bacia do Ribeirão de Carrancas. *Revista Geografias* **6**(2), 134-147.

MAILLARD P, SANTOS NAP. 2008. Spatial-statistical approach for modelling the effect of non-point source pollution on different water quality parameters in the Velhas river watershed - Brazil. *Journal of Environmental Management* **86**(1) 158-170.

MAPBIOMAS. 2018. *Coleção 2.3 da Série Anual de Mapas de Cobertura e Uso de Solo do Brasil*. Projeto MapBiomass. 2018. [online] URL: <http://mapbiomas.org>.

MENEZES JPC, BITTENCOURT RP, FARIAS MDS, BELLO I. P, FIA R, OLIVEIRA LFCD. 2016. Relação entre padrões de uso e ocupação do solo e qualidade da água em uma bacia hidrográfica urbana. *Revista de Engenharia Sanitária e Ambiental* **21** (3), 519-534.

MINAS GERAIS. 2008. *Deliberação Normativa Conjunta COPAM/CERH-MG nº 01, de 05 de maio de 2008*. Dispõe sobre a classificação dos corpos de água e diretrizes ambientais para o seu enquadramento, bem como estabelece as condições e padrões de lançamento de efluentes, e dá outras providências. Publicada no Diário Executivo de Minas Gerais, de 13/05/2008.

PIAZI J, LOPES FWA, AZEVEDO UR. 2018. Correlação entre qualidade das águas e outorgas superficiais no trecho alto da bacia do médio rio das Velhas, Minas Gerais, Brasil/Water quality and granting of permits for water use in the middle course of Velhas river basin, Minas Gerais, Brazil. *Caderno de Geografia* **28** (55), 828-844.

RIBEIRO EM, GALIZONI FM, SILVESTRE LH, CALIXTO JS ASSIS TP, AYRES EB. 2007. Agricultura familiar e programas de desenvolvimento rural no Alto Jequitinhonha. *Revista Economia Sociologia Rural* **45**(4), 1075-1102.

RESENDE AV. 2002. *Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato*. Planaltina: Embrapa Cerrados - Documentos (INFOTECA-E), 29.

SANTOS JP, MARTIN I, CALLISTO M, MACEDO DR. 2017. Relações entre qualidade da água e uso e cobertura do solo em múltiplas escalas espaciais na bacia do Rio Pandeiros, Minas Gerais. *Revista Espinhaço*, 36-46.

SHRESTHA S, KAZAMA F. 2007. Assessment of surface water quality using multivariate statistical techniques: A case study of the Fuji river basin, Japan. *Environmental Modelling & Software: Environmental Risk and Emergency Management*, **22**, Issue 4, 464-475.

SLIVA L, WILLIAMS DD. 2001. Buffer zone versus whole catchment approaches to studying land use impact on river water quality. *Water research* **35**(14), 3462-3472.

TUCCI CEM. 2008. Águas urbanas. *Estudos Avançados* **22**(63), 1-16.

VANZELA L, HERNANDEZ FBT, FRANC RAM. 2010. Influência do uso e ocupação do solo nos recursos hídricos do Córrego Três Barras, Marinópolis. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental-Agriambi* **14** (1).

VON SPERLING M. 2014. *Introdução à qualidade das águas e ao tratamento de esgotos. Princípios do tratamento biológico de águas residuárias*. 4ª edição. Belo Horizonte: Editora UFMG, 472.

Multitemporal diagnosis of land use and cover and water quality in the Jequitinhonha river basin in Minas Gerais as a support to surface water resources management

Hélio de Magalhães Júnior *

Frederico Azevedo Lopes **

Diego Rodrigues Macedo ***

* Socioenvironmental Scientist (UFMG), Master in Environmental Systems Analysis and Modeling (UFMG).

** Geographer (UFMG), Master in Forestry Engineering (UFLA), Doctorate in Geography (UFMG). Professor (IGC-UFMG)

*** Geographer (UFMG), Master in Geography (UFMG), Doctorate in Ecology (UFMG). Professor (IGC-UFMG)

Abstract. The Jequitinhonha river watershed has been affected by land cover and use changes, resulting in local water resources quality impairment, since the beginning of the exploitation cycle of gold and diamond, especially during 18th century. Despite low water availability and pressures on local waters, water resources management tools such as water usage charge and qualitative granting of permits have not yet been fully implemented in the watershed. In this context, this paper aims to relate the evolution of land use and occupation in the basin with the water quality parameters that make up the Water Quality Index (WQI), identifying the main sources of pressure on water resources. Land cover and use were classified using data provided by MapBiomas Project in 2000 and 2014, while water quality data were obtained from the monitoring program conducted by the Minas Gerais Institute for Water Management (IGAM). Data analysis was conducted through descriptive statistical analysis and construction of multiple regression models. The results showed that agriculture and livestock activities were the ones that most influenced the water quality in the watershed during the study period (2000 and 2014), especially on Nitrate, Total Solids and pH values. In addition, the results in the dry season were more significant compared to the rainy season, probably due to greater environmental stability in the drought. Thus, the deterioration of environmental quality in the watershed, mainly due to the increase of areas with anthropogenic activities to the detriment of natural areas, has impaired its water quality.

Keywords: Land Use, water quality, water resources management, Jequitinhonha river.

Informações sobre os autores

Hélio de Magalhães Júnior

E-mail: heliomagalhaesjr@gmail.com

Link para o currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/5837891456351720>

Frederico Azevedo Lopes

E-mail: fredericolopes@ufmg.br

Link para o currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/6024111255041334>

Diego Rodrigues Macedo

E-mail: diegorm@ufmg.br

Link para o currículo lattes: <http://lattes.cnpq.br/0805217613268162>

Artigo Recebido em: 28/08/2019

Artigo Aprovado em: 15/12/2019