

Artigo Técnico

Mapeamento da distribuição espacial da qualidade da água em função do uso e da ocupação do solo e da precipitação na Bacia do Rio Pará, MG

Mapping the spatial distribution of water quality as a function of land use and occupation and rainfall in the Pará River Basin, MG

Rayssa Garcia de Sousa^{1*} , Aurivan Soares de Freitas¹ ,
Alisson Souza de Oliveira¹ , Humberson Rocha Silva² 

RESUMO

O conhecimento da distribuição espacial da qualidade da água em uma bacia hidrográfica se torna fundamental na aplicação de medidas de planejamento e manejo. A geoestatística, por prever sem tendência as variáveis em locais não amostrados, tem sido uma técnica apropriada no estudo de variáveis ambientais. Assim, objetivou-se com este trabalho mapear a distribuição espacial da qualidade da água, a precipitação e o uso e a ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Pará, em Minas Gerais (MG), por meio da geoestatística. Os dados de qualidade e precipitação, amostrados em 25 pontos, entre 1997 e 2018, de 15 estações climatológicas, foram submetidos ao teste de coeficiente de Pearson. Para aquelas estações que apresentaram correlações forte e muito forte entre si, foram gerados mapas de *kriging* ordinária. Também foram elaborados mapas de uso e ocupação do solo. Houve diferença na distribuição da precipitação entre os períodos seco e chuvoso, porém, em ambas as análises, o maior volume de chuva ocorreu na cabeceira da bacia. Como já esperado, os teores elevados das variáveis nitrogênio, fósforo, coliformes termotolerantes, demanda bioquímica de oxigênio, oxigênio dissolvido, sólidos dissolvidos totais e turbidez correlacionaram-se com as áreas dos centros urbanos da bacia. Portanto, por meio da *kriging* ordinária, foi possível demonstrar o comportamento espacial das variáveis relacionadas à qualidade da água e ao uso e à ocupação do solo.

Palavras-chave: recursos hídricos; geoestatística; *kriging*.

ABSTRACT

The knowledge of the spatial distribution of water quality in a hydrographic basin becomes essential in the application of planning and management measures. Geostatistics, by predicting variables in non-sampled places without tendency, has been an appropriate technique in the study of environmental variables. Thus, the aim of this work was to map the spatial distribution of water quality, precipitation, and land use and occupation in the hydrographic Basin of the Pará River, in Minas Gerais (MG), through geostatistics. The quality and precipitation data, sampled at 25 points, between 1997 and 2018, from 15 climatological stations, were subjected to Pearson's coefficient test. Kriging maps were generated for those that showed a strong and very strong correlation with each other. Maps of land use and occupation were also obtained. There was a difference in the distribution of precipitation between the dry and rainy periods, however, in both analyses, the greatest amount of rain occurred at the head of the Basin. As expected, the high levels of the variables nitrogen, phosphorus, thermotolerant coliforms, biochemical oxygen demand, dissolved oxygen, total dissolved solids and turbidity correlated with the areas of the Basin's urban centers. Therefore, through ordinary kriging, it was possible to demonstrate the spatial behavior of variables related to water quality and land use and occupation.

Keywords: water resources; correlation; kriging.

INTRODUÇÃO

A redução da disponibilidade de água de boa qualidade é um fator preocupante no contexto mundial. No Brasil, a poluição dos cursos hídricos está, normalmente, associada ao lançamento de efluentes não tratados, à não preservação das matas ciliares, aos processos erosivos que levam à

perda de solo, ao assoreamento das águas, entre outros fatores (PIERONI *et al.*, 2015).

Conhecer as fontes de poluição e sua relação com a degradação dos recursos hídricos é fundamental na busca de medidas mitigadoras desses impactos. Por causa da vasta extensão da poluição dos recursos hídricos, torna-se

¹Universidade Vale do Rio Verde - Três Corações (MG), Brasil.

²Universidade Federal Rural de Pernambuco - Recife (PE), Brasil.

*Autora correspondente: rayssa.sousa@yahoo.com.br

Conflitos de interesse: os autores declaram não haver conflitos de interesse.

Financiamento: nenhum.

Recebido: 21/10/2020 - Aceito: 12/02/2022 - Reg. ABES: 20200369

necessária a realização de trabalhos em unidades territoriais representativas do estudo em curso, aplicando, por exemplo, a bacia hidrográfica como unidade de planejamento e manejo (BRITTO *et al.*, 2018).

A Bacia Hidrográfica do Rio Pará (MG) possui, como principal atividade, a mineração de não metálicos, com destaque para extração de areia e granito no alto e médio curso do rio, enquanto na parte mais baixa se tem a exploração de ardósia. Em relação à indústria, destacam-se a metalurgia, a têxtil, a alimentícia, a produção de calçados, de fogos de artifícios e os curtumes. Além da indústria, vale salientar, também, a agricultura e a pecuária. Tais atividades acarretam impactos ambientais nos recursos hídricos (OLIVEIRA *et al.*, 2017). Por meio de análise multivariada e de teste paramétrico, com base em dados físico-químicos analisados no período de 2008 a 2016, nessa bacia, constatou-se que os afluentes Córrego Pinto e Ribeirão Fartura, localizados, respectivamente, nos municípios de São Gonçalo do Pará (MG) e de Nova Serrana (MG), foram os mais degradados da bacia. Por outro lado, o Rio Pará, no município de Passa Tempo (MG), e seu afluente Rio do Peixe, em Pitangui (MG), foram os que se apresentaram mais conservados, com menor registro de impacto ambiental (OLIVEIRA *et al.*, 2017).

Variáveis relacionadas às ciências da terra geralmente apresentam dependência espacial. O uso de técnicas de geoprocessamento viabiliza a elaboração de mapas que, quando comparados, permitem a observação de dependência espacial entre resultados de variáveis de monitoramento, de precipitação e da condição de uso e da ocupação do solo da região em estudo (MANUEL *et al.*, 2017).

Entre as técnicas de geoprocessamento, a geoestatística proporciona a síntese de resultados em mapas de fácil interpretação e uso, visto que é utilizada para representação das variáveis regionalizadas, ou seja, dos atributos influenciados por condicionante espacial (ALMEIDA *et al.*, 2018). Para Mello e Oliveira (2016), a geoestatística facilita o entendimento do comportamento dos parâmetros associado à regionalização dos dados.

Diante do exposto, objetivou-se com este trabalho mapear, utilizando técnicas de geoestatística, a distribuição espacial da qualidade da água, a precipitação e o uso e a ocupação do solo na Bacia Hidrográfica do Rio Pará, uma sub-bacia do Rio São Francisco (MG).

MATERIAL E MÉTODOS

Área de estudo

O trabalho foi realizado com dados coletados na Bacia Hidrográfica do Rio Pará, localizada a sudoeste do estado de Minas Gerais. Essa bacia é composta de 35 municípios, dos quais 51% apresentam todo o seu território inserido na região da bacia. A unidade totaliza uma área de, aproximadamente, 12.300 km², e o leito principal tem cerca de 365 km de extensão.

De acordo com a classificação de Köppen, na região em estudo são predominantes os climas subtropical úmido (Cwa e Cwb) e temperado chuvoso (Aw), sendo o primeiro predominante nas porções sul e central, e o segundo, na porção norte. Na bacia, a temperatura mínima varia de 14,5 a 17°C e a máxima de 27,5 a 30°C. Já a precipitação média anual está entre 1.050 e 1.450 mm, sendo essa variabilidade por causa da concentração das chuvas na porção sul (maior altitude), enquanto na norte se tem menor precipitação (TESE, 2006).

A vegetação nativa é caracterizada pela presença de campo, campo cerrado, campo rupestre, cerrado e floresta estacional semidecidual, sendo os

dois últimos os mais representativos. Os sistemas de aquíferos são o gnáissico-granítico, ocupando este a maior porção do território, com 81%, enquanto os sistemas pelítico, quartzítico e pelítico-carbonático representam, respectivamente, 11, 5 e 3% da área da bacia do Rio Pará (TESE, 2006).

A Bacia Hidrográfica do Rio Pará conta com 28 pontos de monitoramento de qualidade, estabelecidos e mantidos pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (Igam), e 15 estações meteorológicas, com dados para o período de estudo disponíveis no Portal HidroWeb, da Agência Nacional de Águas e Saneamento Básico (ANA, 2018), conforme apresentado na Figura 1.

Aquisição e análise de dados

Para o desenvolvimento deste trabalho, foram realizadas, inicialmente, a análise estatística descritiva e a exclusão de *outliers*, com aplicação do percentil 5 e 95% nos dados brutos, obtidos na rede de monitoramento do Igam, e de precipitação, obtidos no HidroWeb da ANA (2018). Sequencialmente, procedeu-se à análise da interdependência das variáveis de qualidade da água, por meio da correlação de Pearson. O geoprocessamento foi usado com o emprego da geoestatística para estudar a correlação espacial das variáveis de monitoramento hídrico.

Os dados brutos de qualidade foram organizados por parâmetro e ponto de amostragem. Os valores censurados, ou seja, menores que o limite de detecção dos métodos analíticos, foram substituídos pelo próprio limite de detecção, de forma análoga à metodologia empregada por Oliveira *et al.* (2017). Em seguida, os dados remanescentes foram separados em período chuvoso (outubro a março) e em período seco (abril a setembro), e foi calculada a média por variável para cada um desses períodos. Cabe ressaltar que as variáveis de monitoramento hídrico tinham diferentes frequências de monitoramento, variando entre trimestral e semestral, o que não influenciou nas análises realizadas.

O coeficiente de Pearson foi aplicado nas variáveis de qualidade da água, com o objetivo de avaliar a existência de correlação entre elas. As que apresentaram interdependência forte (entre 0,61 e 0,9), muito forte (entre 0,91 e 99) ou plena (igual a 1), conforme a metodologia de Feil, Strasburg e Spilki (2017), foram submetidas ao ajuste de modelos de semivariograma e à interpolação por *krigagem* ordinária, com análise de tendência de primeira ordem.

As informações de precipitação foram obtidas, todos os dias, nas estações e agrupadas por meses. Sequencialmente, foram avaliados os resultados e excluídos os anos hidrológicos que continham meses com falhas. Não foi executado, no decorrer da pesquisa, nenhum procedimento de interpolação. Cada estação teve suas informações remanescentes agrupadas em períodos seco e chuvoso, de forma análoga à qualidade da água. Em seguida, foram geradas as médias anuais por período. Os procedimentos citados foram realizados com o uso dos *softwares* Excel e XLSTAT.

A geoestatística é utilizada para o entendimento das variáveis regionalizadas, ou seja, aquelas influenciadas por condicionante espacial, por meio do uso da matemática, da observação da gênese e das leis naturais que regem fenômenos tidos como regionais (LADIM, 2006). Neste trabalho, realizou-se a análise geoestatística por meio do emprego de semivariograma e da *krigagem* ordinária para composição de mapas, relacionando dados de precipitação e qualidade da água na bacia. Foram construídos semivariogramas com base nas pressuposições de estacionaridade da hipótese intrínseca e do cálculo da semivariância, estimada pela Equação 1.

$$\bar{\gamma}(h) = \frac{\sum_{h=i}^{N(h)} [z(x) - z(x+h)]^2}{2N(h)} \quad (1)$$

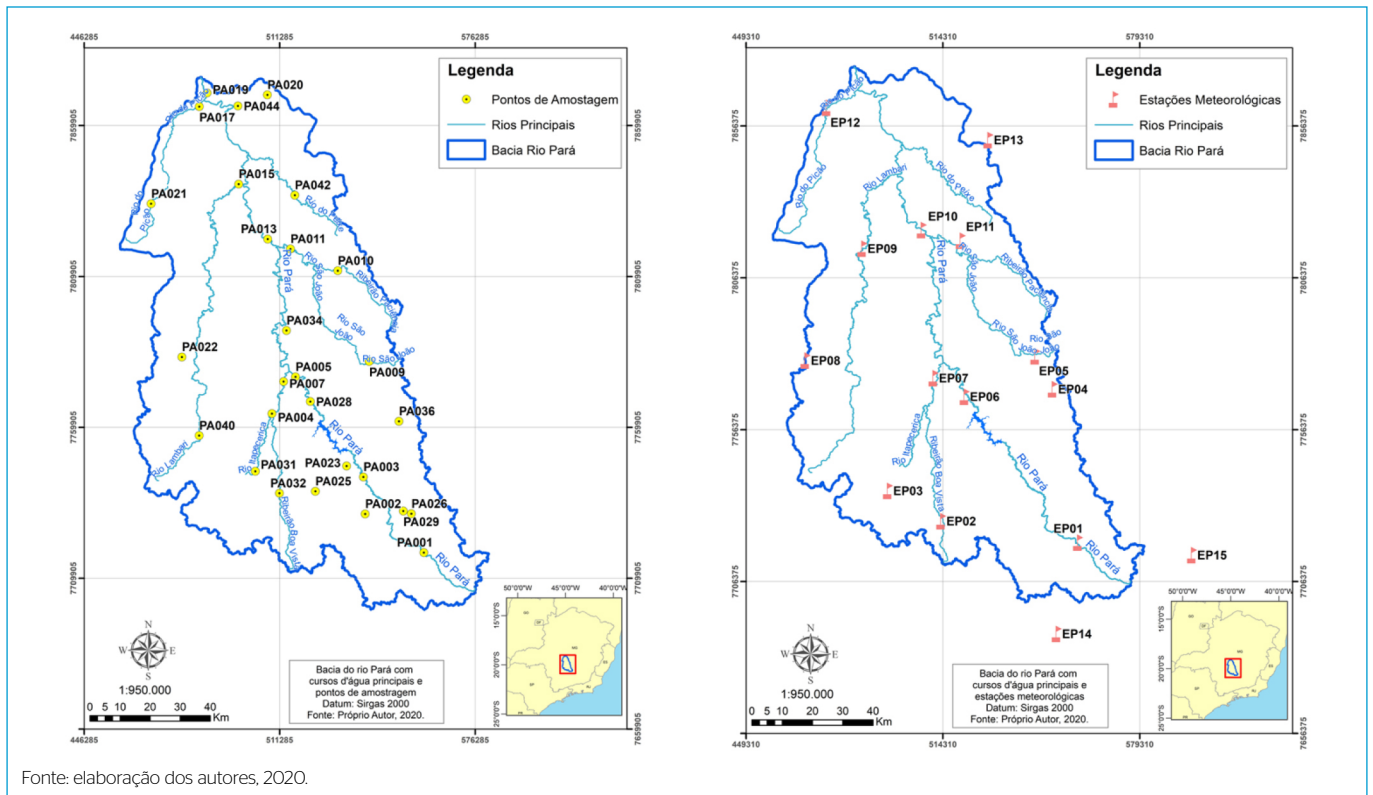


Figura 1 - Pontos de amostragem e estações meteorológicas da bacia do Rio Pará, no sudoeste de Minas Gerais.

Em que:

$\hat{\gamma}_{(h)}$ = estimativa da semivariância entre os pares de pontos separados pela distância h ;

h = distância entre pares de pontos;

$z_{(x)}$ = valor da variável de interesse no ponto x ;

$z_{(x+h)}$ = relação de Z no ponto $x + h$;

$N_{(h)}$ = número de pares de pontos separados pela distância h .

A escolha do melhor modelo por variável foi realizada conforme metodologia aplicada por Silva (2018), que utilizou como critérios o erro médio (ME) mais próximo de 0 (Equação 2) e a raiz quadrada do erro médio padronizado (RMSSE) mais próxima de 1 (Equação 3).

$$ME = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)] \quad (2)$$

$$RMSSE = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left[\frac{\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)}{\sigma^2(x_i)} \right]^2} \quad (3)$$

Em que:

N = número de observações;

$\hat{Z}_{(x_i)}$ = valor estimado;

$Z_{(x_i)}$ = valor observado no local x_i ;

σ^2 = variância da *krigagem*.

Mediante o ajuste do semivariograma, foi possível estimar valores para locais não amostrados, por meio do interpolador geoestatístico da *krigagem* ordinária, apresentado na Equação 4.

$$\sum_{i=1}^n \lambda_j \gamma(x_i - x_j) - \alpha = \gamma(x_i - x_0) \quad (4)$$

$$\sum_{j=1}^n \lambda_j = 1$$

Em que:

$\gamma(x_i, x_j)$ = semivariância entre os pontos x_i e x_j ;

$\gamma(x_i, x_0)$ = semivariância entre os pontos x_i e x_0 ;

α = multiplicador de Lagrange.

O grau de dependência espacial (GDE), indicador da correlação espacial da variável em análise, foi calculado para os semivariogramas, conforme Equação 5. Os semivariogramas com efeito pepita (C_0) de até 25%, entre 25 e 75% e acima de 75% do patamar foram considerados com dependências espaciais forte, moderada e fraca, respectivamente (CAMBARDELLA *et al.*, 1994).

$$GDE = \left(\frac{C_0}{C_0 + C_1} \right) \times 100 \quad (5)$$

Em que:

C_0 = efeito pepita;

$C_0 + C_1$ = patamar.

A elaboração dos semivariogramas, a *krigagem* ordinária e os cálculos de GDE foram realizados com o uso dos *softwares* ArcGis (versão 10.5) e Excel. As informações de uso e ocupação do solo foram obtidas por meio de arquivos raster do estado de Minas Gerais, exportados do *site* MapBiomias, para os anos de 1997, 2002, 2007, 2012 e 2017. Sequencialmente, realizaram-se o processamento e o recorte da área da bacia, transformando os arquivos em *shape*. Os arquivos *shape* foram agrupados nos usos vegetação nativa (VN), floresta

plantada (FP), agropecuária (AG), área não vegetada (AV), infraestrutura urbana (IU), mineração (MI) e corpos de água (CA), por meio do *software* ArcGis (versão 10.5). Elaboraram-se mapas de uso e ocupação do solo, com usos citados, e determinaram-se as áreas respectivas de cada uso.

Os resultados do uso predominante do solo na área de contribuição foram comparados com os resultados da *krigagem* ordinária para as variáveis estudadas na bacia.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A Bacia Hidrográfica do Rio Pará apresentou precipitação média, no período seco, de 161,27 mm e, no chuvoso, de 1.155,96 mm, considerando os anos de 1997 a 2018. Os resultados das variáveis válidas, submetidas à correlação de Pearson, nos períodos seco e chuvoso, separadamente, estão descritos na Tabela 1 e na Tabela 2.

No período seco, foi observada correlação positiva muito forte (acima de 91%), conforme verificado também pela metodologia de Feil, Strasburg e Spilki (2017), entre demanda bioquímica de oxigênio (DBO) e sólidos dissolvidos totais (SDT). Conforme esperado, houve correlação negativa muito forte entre oxigênio dissolvido (OD), nitrogênio (N) e fósforo (P), visto que valores

baixos de OD estão associados a teores elevados de N e F. Para o período chuvoso, também foi confirmada correlação positiva prevista como muito forte entre DBO e coliformes e entre N e P.

Por intermédio da aplicação do coeficiente de correlação de Pearson, verificou-se que a bacia do Rio Pará apresentou maior número de correlações muito forte e forte no período seco, correspondentes a 11,1 e 47,2%, respectivamente, enquanto no período chuvoso as correlações forte e muito forte, juntas, corresponderam a 5,6 e 36,1%, respectivamente (Figura 2).

Essa situação evidencia a influência da precipitação na relação com outros atributos de qualidade da água, que pode ser ligada à diluição de certas variáveis e à concentração de outras, conforme detalhado nos mapas apresentados posteriormente.

Uso e ocupação do solo

Pela observação de imagens de satélite do Google Earth Engine, obtidas no site do MapBiomias (2019), foi possível verificar que a bacia do Rio Pará possui sete tipos de uso do solo, divididos entre agropecuária, área não vegetada, floresta plantada, infraestrutura urbana, mineração, recursos hídricos e vegetação nativa. Nos mapas, observa-se a evolução dos usos para a área da bacia (Figura 3).

Tabela 1 – Coeficiente de Pearson durante o período seco na Bacia do Rio Pará, no sudoeste de Minas Gerais (1997-2018).

Variáveis	pH	Temperatura	DBO	OD	Turbidez	SDT	N	P	CT
pH		0,218	-0,052	0,033	-0,082	0,147	0,085	0,098	-0,031
Temperatura	0,218		0,029	0,135	-0,158	0,083	-0,142	-0,108	-0,037
DBO	-0,052	0,029		0,860	0,826	0,934	0,847	0,820	0,868
OD	0,033	0,135	-0,860		-0,724	-0,847	-0,948	-0,912	-0,778
Turbidez	-0,082	-0,158	0,826	-0,724		0,776	0,737	0,662	0,669
SDT	0,147	0,083	0,934	-0,847	0,776		0,824	0,775	0,740
N	0,085	-0,142	0,847	-0,948	0,737	0,824		0,963	0,795
P	0,098	-0,108	0,820	-0,912	0,662	0,775	0,963		0,872
CT	-0,031	-0,037	0,868	-0,778	0,669	0,740	0,795	0,872	

Negrito: correlação negativa; verde-claro: forte; verde-escuro: muito forte; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; OD: oxigênio dissolvido; SDT: sólidos dissolvidos totais; N: nitrogênio; P: fósforo; CT: coliformes totais.

Fonte: elaboração dos autores, 2020.

Tabela 2 – Coeficiente de Pearson durante o período chuvoso na Bacia do Rio Pará, no sudoeste de Minas Gerais (1997-2018).

Variáveis	pH	Temperatura	DBO	OD	Turbidez	SDT	N	P	CT
pH		0,347	0,010	0,043	0,305	0,202	0,130	0,190	0,045
Temperatura	0,347		-0,019	0,087	-0,363	0,085	-0,112	-0,047	-0,021
DBO	0,010	-0,019		-0,864	0,241	0,885	0,897	0,839	0,939
OD	0,043	0,087	-0,864		-0,234	-0,854	-0,879	-0,778	-0,758
Turbidez	0,305	-0,363	0,241	-0,234		0,227	0,507	0,513	0,256
SDT	0,202	0,085	0,885	-0,854	0,227		0,816	0,717	0,772
N	0,130	-0,112	0,897	-0,879	0,507	0,816		0,922	0,827
P	0,190	-0,047	0,839	-0,778	0,513	0,717	0,922		0,867
CT	0,045	-0,021	0,939	-0,758	0,256	0,772	0,827	0,867	

Negrito: correlação negativa; verde-claro: forte; verde-escuro: muito forte; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; OD: oxigênio dissolvido; SDT: sólidos dissolvidos totais; N: nitrogênio; P: fósforo; CT: coliformes totais.

Fonte: elaboração dos autores, 2020.

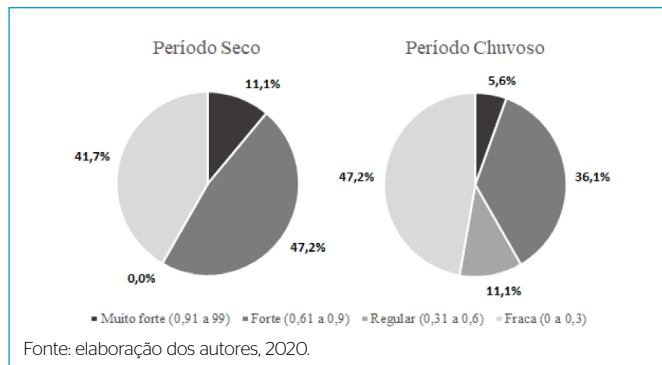


Figura 2 - Comparativo da correlação de Pearson, na bacia do Rio Pará (MG), agrupado por valor-p.

Em todos os anos avaliados, a agropecuária apresentou uso predominante na bacia, variando entre 70,55 e 73,75% da porção do território, sendo atingido o menor valor em 2012 e o maior em 2002. Sequencialmente, o segundo maior uso registrado foi a vegetação nativa, que variou entre 23,02 e 25,27%, sendo o menor registro em 2007 e o maior em 1997, o que demonstra redução de 2,15% no total, se comparado a 1997 e 2017. Os cinco usos restantes somaram, no ano de 2017, apenas 5,71% do território da bacia (Figura 3 e Tabela 3).

O uso de floresta plantada apresentou crescimento ao longo dos anos estudados, chegando a representar aumento de cerca de quatro vezes (469,41%), entre 1997 e 2017, porém, em relação à área total da bacia, esse uso representou, no último ano, o percentual de 3,99%, equivalente a 487,49 km². Os demais usos não indicaram variações individuais superiores a 1,08%. No que tange à

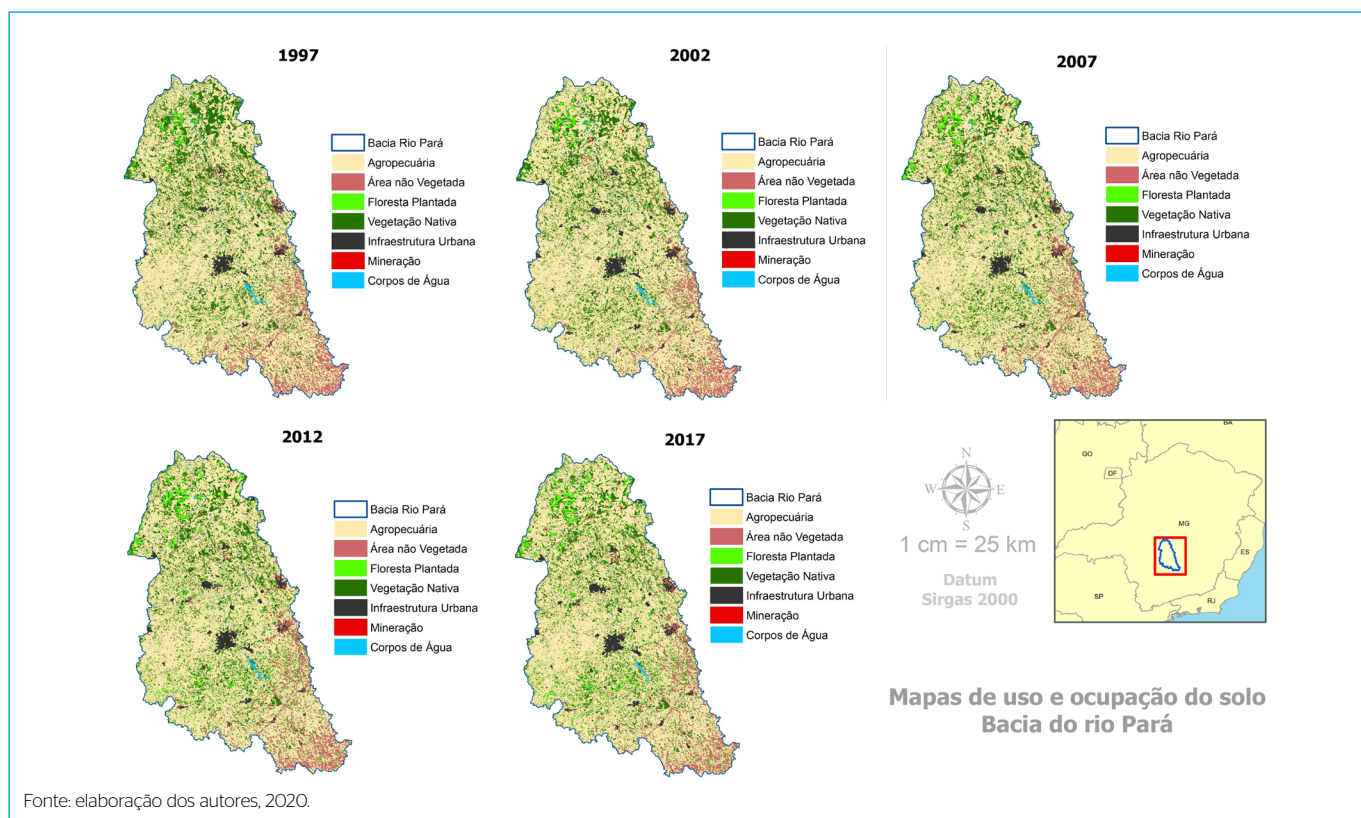


Figura 3 - Uso e ocupação do solo na bacia do Rio Pará, no sudoeste de Minas Gerais, em 1997, 2002, 2007, 2012 e 2017.

Tabela 3 - Distribuição do uso e da ocupação do solo na bacia do Rio Pará, no sudoeste de Minas Gerais, em 1997, 2002, 2007, 2012 e 2017.

Ano	1997		2002		2007		2012		2017	
	Área (Km ²)	Área (%)	Área (Km ²)	Área (%)	Área (Km ²)	Área (%)	Área (Km ²)	Área (%)	Área (Km ²)	Área (%)
Agropecuária	8.821,38	72,17	9.015,01	73,75	8.950	73,23	8.623,90	70,55	8.699,66	71,17
Área não vegetada	64,39	0,53	55,47	0,45	62	0,51	59,48	0,49	45,10	0,37
Floresta plantada	104	0,85	113,12	0,93	235	1,92	424,53	3,47	487,49	3,99
Infraestrutura urbana	90,28	0,74	101,96	0,83	108	0,88	123,49	1,01	130,38	1,07
Mineração	0,56	0	0,98	0,01	1	0,01	1,54	0,01	2,33	0,02
Recursos hídricos	53,86	0,44	49,92	0,41	52	0,43	50,78	0,42	32,80	0,27
Vegetação nativa	3.088,22	25,27	2.886,29	23,61	2.813	23,02	2.939,34	24,05	2.825,30	23,11
Não observado	0,35	0	0,35	0	0	0	0	0	0	0

Fonte: elaboração dos autores, 2020.

área total da bacia e considerando os valores do último ano avaliado, os demais usos somaram 1,72%, equivalentes a 210,61 km². A referida área está dividida entre infraestrutura urbana (130,38 km²), área não vegetada (45,1 km²), recursos hídricos (32,80 km²) e mineração (2,33 km²) (Tabela 3 e Figura 4).

Elevadas concentrações de coliformes termotolerantes (CT) foram observadas em monitoramentos realizados em regiões relativas ao uso de infraestrutura urbana. Franco *et al.* (2015) notaram a mesma ocorrência em estudos realizados na Bacia Almada (BA), nos quais verificaram que a presença de CT estava associada à ausência do tratamento eficiente dos efluentes dos centros urbanos. Por sua vez, Lima, Mamede e Lima Neto (2018), em estudos realizados em uma bacia hidrográfica no semiárido, constataram que elevadas concentrações de P se correlacionaram com o uso da agropecuária. De forma análoga, viu-se, no presente estudo, elevação da variável N, pois o uso predominante da bacia (a agropecuária) se assemelha ao observado pelos autores citados.

O OD apresentou melhores resultados para as regiões com floresta plantada, com vegetação nativa e na cabeceira da bacia. Britto *et al.* (2018) confirmaram esses resultados ao identificarem que baixos valores dessa variável estavam associados a ambientes alterados. Já Baggio, Freitas e Araújo (2016) associaram esse fato ao lançamento de efluentes.

Foi possível observar o aumento de P, conforme Britto *et al.* (2018) e Lima, Mamede e Lima Neto (2018), porém, tendo em vista que na bacia do Rio Pará ocorre distribuição praticamente uniforme da atividade de agricultura e que

os valores de P foram elevados em toda a bacia, infere-se a correlação espacial entre esse uso e a variável P.

Cabral e Reis (2015) constataram que ambientes com vegetação predominante tiveram volume de sedimentos reduzido, o que também pode ser percebido na distribuição espacial dos SDT, que apresentaram maiores resultados em regiões mais antropizadas.

Para a bacia do Rio Pará, Oliveira *et al.* (2017) apontaram que os municípios São Gonçalo do Pará e Nova Serrana foram os que apresentaram uma condição mais degradada de seus cursos d'água. Nos mapas de krigagem desenvolvidos no presente estudo, na mesma porção da bacia, na região central, observaram-se valores mais acentuados das variáveis estudadas. Em contrapartida, os rios mais bem conservados foram verificados nos municípios de Passa Tempo e Pitangui, ambos confirmados, neste estudo, em relação aos valores mais baixos das variáveis, e o último, de maneira especial, pelo significativo uso do solo com floresta nativa e plantada.

Distribuição espacial das variáveis

No período seco, foram modeladas oito variáveis, incluindo a precipitação. O modelo que apresentou melhor ajuste para a maior parte das variáveis foi o exponencial, com representação de 87,5% dos casos modelados. O GDE foi considerado forte para todas as variáveis (Tabela 4 e Figura 5).

Todas as variáveis apresentaram efeito pepita igual a 0, exceto CT. Portanto, a maioria delas possui adequada amostragem espacial para representação da sua alteração na bacia hidrográfica. A DBO apresentou o melhor ajuste do semivariograma para o período seco, com valor do ME mais próximo de 0 (-0,0398) e RMSSE mais próximo de 1 (1,0047). Para a precipitação, o modelo que melhor se ajustou foi o gaussiano, enquanto para todas as variáveis de qualidade da água o melhor modelo foi o exponencial (Tabela 4).

No período chuvoso, foram modeladas as mesmas variáveis do período seco. O modelo que apresentou melhor ajuste para a maior parte das variáveis foi o exponencial, com representação de 75% dos casos modelados. O GDE foi considerado forte em todas as variáveis, exceto P total, considerado moderado (Tabela 5 e Figura 6).

Todas as variáveis apresentaram efeito pepita igual a 0, exceto precipitação, alumínio dissolvido, CT e P total. Portanto, a maioria delas possui adequada amostragem espacial para representação da sua alteração na bacia. A turbidez apresentou melhor ajuste do semivariograma para o período chuvoso, com valor de ME mais próximo de 0 (0,0235) e RMSSE mais próximo de 1 (1,0868).

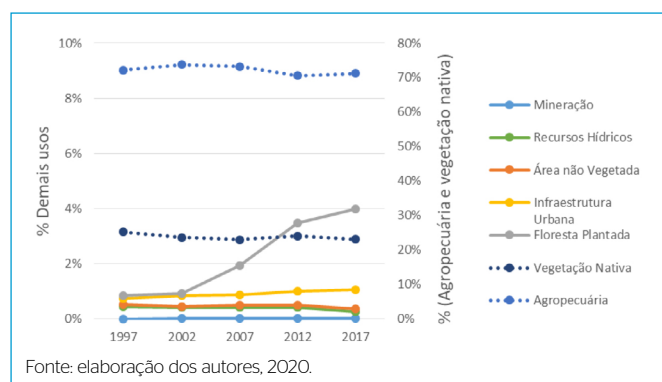


Figura 4 - Evolução do uso e da ocupação do solo na bacia do Rio Pará, no sudoeste de Minas Gerais, em 1997, 2002, 2007, 2012 e 2017.

Tabela 4 - Modelos selecionados, estimativas dos parâmetros dos semivariogramas isotrópicos ajustados (C₀, C₁ e A), GDE e indicadores de qualidade do ajuste (ME e RMSSE) referentes às variáveis do período seco entre janeiro de 1997 e dezembro de 2018.

Variável	Modelo	C ₀	C ₁	A (m)	GDE (%)	Classe	ME	RMSSE
Precipitação	Gaussiano	67,79	821,177	141,040	92	Forte	-0,0511	0,961
CT	Exponencial	38 x10 ⁶	21,3108	60,776,04	98	Forte	-0,0353	1,1309
DBO	Exponencial	0,0000	241,9504	63,856,18	100	Forte	-0,0398	1,0047
Fósforo Total	Exponencial	0,0000	0,0498	44,836,21	100	Forte	0,0659	1,0992
Nitrogênio	Exponencial	0,0000	11,1932	38,670,34	100	Forte	-0,0425	1,0612
OD	Exponencial	0,0000	2,8069	26,278,6	100	Forte	0,0494	1,0677
SDT	Exponencial	0,0000	10007,6427	63,582,54	100	Forte	-0,0297	0,9849
Turbidez	Exponencial	0,0000	174,3812	25,055,66	100	Forte	-0,0841	1,0761

CT: coliformes totais; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; OD: oxigênio dissolvido; SDT: sólidos dissolvidos totais; GDE: grau de dependência espacial; ME: erro médio; RMSSE: raiz quadrada do erro médio padronizado.
Fonte: elaboração dos autores, 2020.

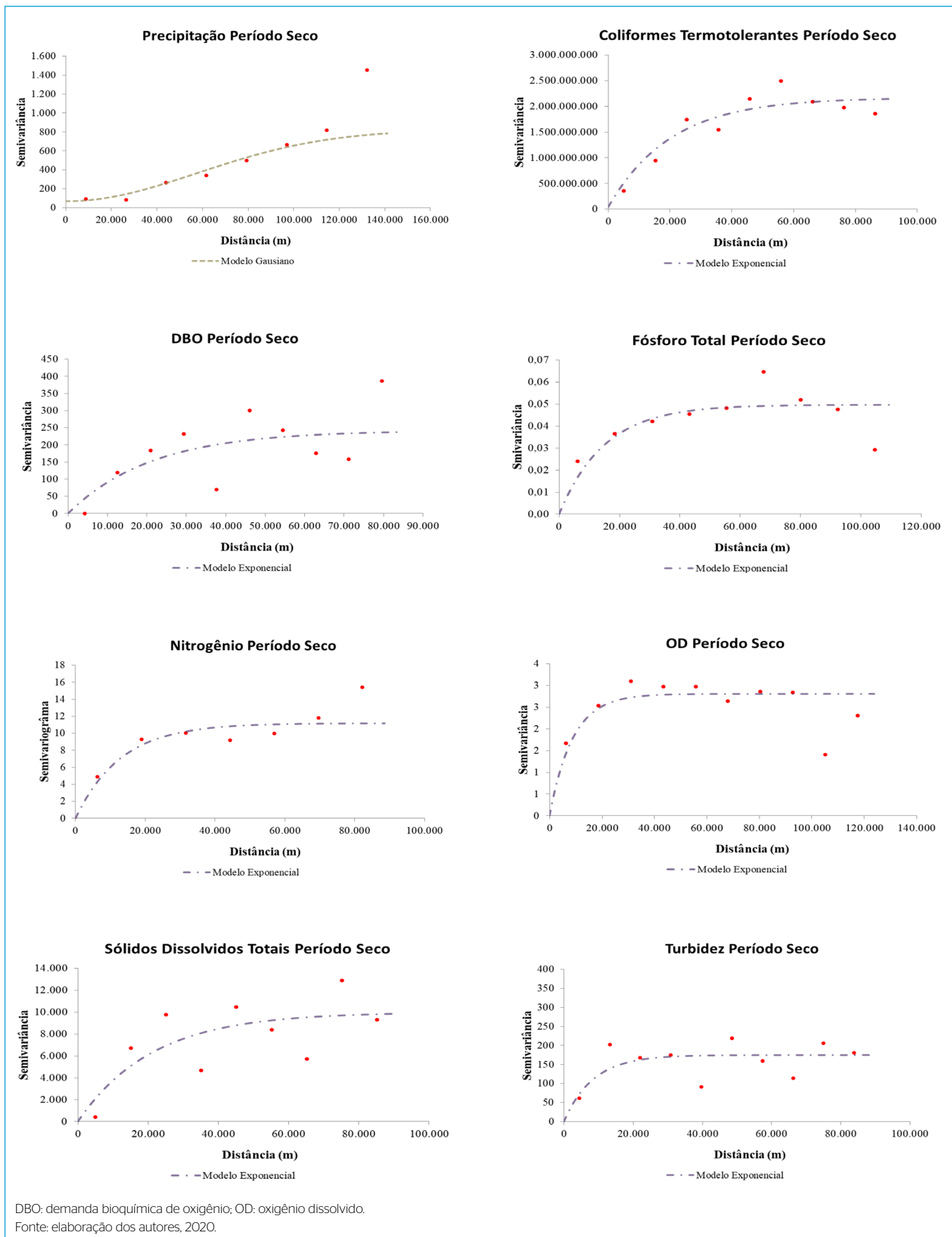


Figura 5 – Semivariogramas ajustados para precipitação, coliformes termotolerantes, DBO, fósforo, nitrogênio, OD, sólidos dissolvidos totais e turbidez no período seco entre janeiro de 1997 e dezembro de 2018.

Tabela 5 - Modelos selecionados, estimativas dos parâmetros dos semivariogramas isotrópicos ajustados (C₀, C₁ e A), GDE e indicadores de qualidade do ajuste (ME e RMSSE) referentes às variáveis do período chuvoso entre janeiro de 1997 e dezembro de 2018.

Variável	Modelo	C ₀	C ₁	A (m)	GDE (%)	Classe	ME	RMSSE
Precipitação	Gaussiano	67,5829	859,4086	1,34	92	Forte	-0,0486	0,9566
CT	Exponencial	11,7x10 ⁷	2,44x10 ⁹	77115	95	Forte	-0,044	1,1073
DBO	Exponencial	0,0000	65,0355	33,282,02	100	Forte	-0,0457	0,9902
Fósforo total	Esférico	0,0077	0,0204	68,298,45	73	Moderado	-0,0282	1,0931
Nitrogênio	Exponencial	0,0000	5,288	32,473,21	100	Forte	-0,0348	1,062
OD	Exponencial	0,0000	2,0622	25,055,66	100	Forte	0,0422	1,07
SDT	Exponencial	0,0000	4,421,6661	43,917,87	100	Forte	-0,0174	0,9773
Turbidez	Exponencial	0,0000	712,2428	29,013,26	100	Forte	-0,0235	1,0868

CT: coliformes totais; DBO: demanda bioquímica de oxigênio; OD: oxigênio dissolvido; SDT: sólidos dissolvidos totais; GDE: grau de dependência espacial; ME: erro médio; RMSSE: raiz quadrada do erro médio padronizado.

Fonte: elaboração dos autores, 2020.

No período seco, a qualidade da água não foi influenciada significativamente pela precipitação, uma vez que quase não ocorreu chuva na região e, por conseguinte, houve pouca influência no escoamento dos cursos d'água da bacia. O maior acúmulo de precipitação, aproximadamente 200 mm, foi registrado na porção sul da bacia, enquanto na porção norte foram registrados valores acumulados máximos de 136 mm. A precipitação apresentou redução gradativa da porção sul da bacia para a região norte (Figura 7A).

Os SDT apresentaram valores mais expressivos nas regiões central e norte, sentido ao exutório da bacia, sendo o maior valor de 450 mg L⁻¹, contudo todos os dados registrados encontravam-se abaixo de 500 mg L⁻¹, conforme o valor máximo permitido (VMP) em ambas as classes. Enquadramento semelhante foi observado por Pieroni *et al.* (2015), na bacia do Córrego Água Limpa (Pratápolis, MG). Os menores valores foram registrados na porção sul, 73 mg L⁻¹ (Figura 7B).

Os teores de sólidos mais elevados coincidiram com áreas de atividades minerárias e de infraestrutura urbana, sendo a mineração fonte conhecida por contribuir na disponibilidade de sólidos na água, por causa das atividades de escavação e transporte de minério, quando executadas sem as medidas adequadas de controle ambiental, previstas nos complexos processos de licenciamento.

O N apresentou, na região central da bacia, valores máximos de 11,7 mg L⁻¹ e mínimos, nas porções sul e oeste, de 0,09 mg L⁻¹. Essa variável não foi avaliada quanto ao VMP em função da necessidade de identificação do pH para cada leitura realizada, pois essa última variável não foi avaliada neste estudo (Figura 8A).

Um comportamento muito próximo ao do N foi apresentado para P total, com concentração máxima de 0,82 mg L⁻¹ nas porções central e leste e mínima na porção norte, com 0,05 mg L⁻¹ (Figura 8B). Essas concentrações foram confirmadas por estudos desenvolvidos por Oliveira *et al.* (2017), que observaram que a maior parte dos valores se encontrava abaixo de 1 mg L⁻¹. Para a análise dessa variável, todos os ambientes foram considerados como intermediários para definição de VMP de 0,025 mg L⁻¹, e foi verificado que praticamente toda a bacia se encontrava acima desse limite.

Uma distribuição espacial similar à do N e à do P foi apresentada pelos CT, com valores na porção central máximo de 143.000 UFC e mínimo de 2.000 UFC, com destaque para as porções sul e noroeste. Ao avaliar esses dados em relação à legislação vigente, as referências são distintas por classe: para a classe 1, o VMP é de 200 mg L⁻¹, e para a classe 2, de 1.000 mg L⁻¹. Portanto, a

bacia encontra-se desenquadrada em toda a sua extensão (Figura 8C). Na Bacia Metropolitana do Açude Acarape do Meio (CE), foi vista a mesma distribuição de valores concomitantes de P e CT da bacia do Rio Pará (LIMA; MAMEDE; LIMA NETO, 2018).

A DBO repetiu os comportamentos de espacialidade registrados pelas variáveis N, P total e CT, sendo o valor máximo de 63,5 mg L⁻¹ e o mínimo de 0,6 mg L⁻¹, com destaque de valores mais altos para as regiões central e sul, respectivamente. Em relação ao VMP, há distinção entre as classes, sendo o limite para a classe 1 de 3 mg L⁻¹ e para a classe 2 de 5 mg L⁻¹. Destaca-se que essa variável apresentou valores acima do VMP apenas nas porções central e nordeste da bacia (Figura 8D).

Varição espacial análoga às demais variáveis foi constatada para o OD, porém com valores inversos, tendo em vista que menores concentrações dessa variável, abaixo de 6 mg L⁻¹ para a classe 1 e de 5 mg L⁻¹ para a classe 2, são consideradas resultados de qualidade em desconformidade com o padrão legal. Nesse sentido, a porção central apresentou piores resultados, com registros de até 1,27 mg L⁻¹ e valor máximo de até 8,9 mg L⁻¹, com destaque às porções sul, sudoeste e pequena porção da região norte (Figura 9). Oliveira *et al.* (2017), em estudo conduzido na mesma bacia, constataram valores mínimos de OD variando entre 0,5 e 9,5 mg L⁻¹, valores considerados próximos aos obtidos neste estudo, levando-se em conta as metodologias utilizadas.

Verificou-se espacialização difusa no período seco para a variável turbidez, mas coincidente com as demais variáveis estudadas na porção central, com valor máximo de 62,4 mg L⁻¹ e menor índice de 7,6 mg L⁻¹, distribuído na bacia (Figura 8F). Viu-se, ainda, o enquadramento em praticamente toda a bacia para a classe 1 (40 mg L⁻¹) e a classe 2 (60 mg L⁻¹).

No período chuvoso, o menor volume acumulado de precipitação foi de 1.080 mm, na porção norte, com aumento gradativo no sentido da porção sul, com pico de 1.196 mm. A variação do comportamento espacial, apresentada pela precipitação na estação chuvosa, foi considerada pequena, não sendo verificado comportamento similar nas demais variáveis estudadas (Figura 9A). A distribuição espacial da chuva verificada na bacia do Rio Pará, nos períodos seco e chuvoso, foi similar à encontrada por Mello e Oliveira (2016), com as maiores precipitações registradas nas regiões de maiores altitudes (efeito da orografia), correspondentes à porção da nascente do rio.

A porção central da bacia apresentou os maiores valores de SDT, com valores máximos de 345 mg L⁻¹, estendendo-se com valores intermediários na

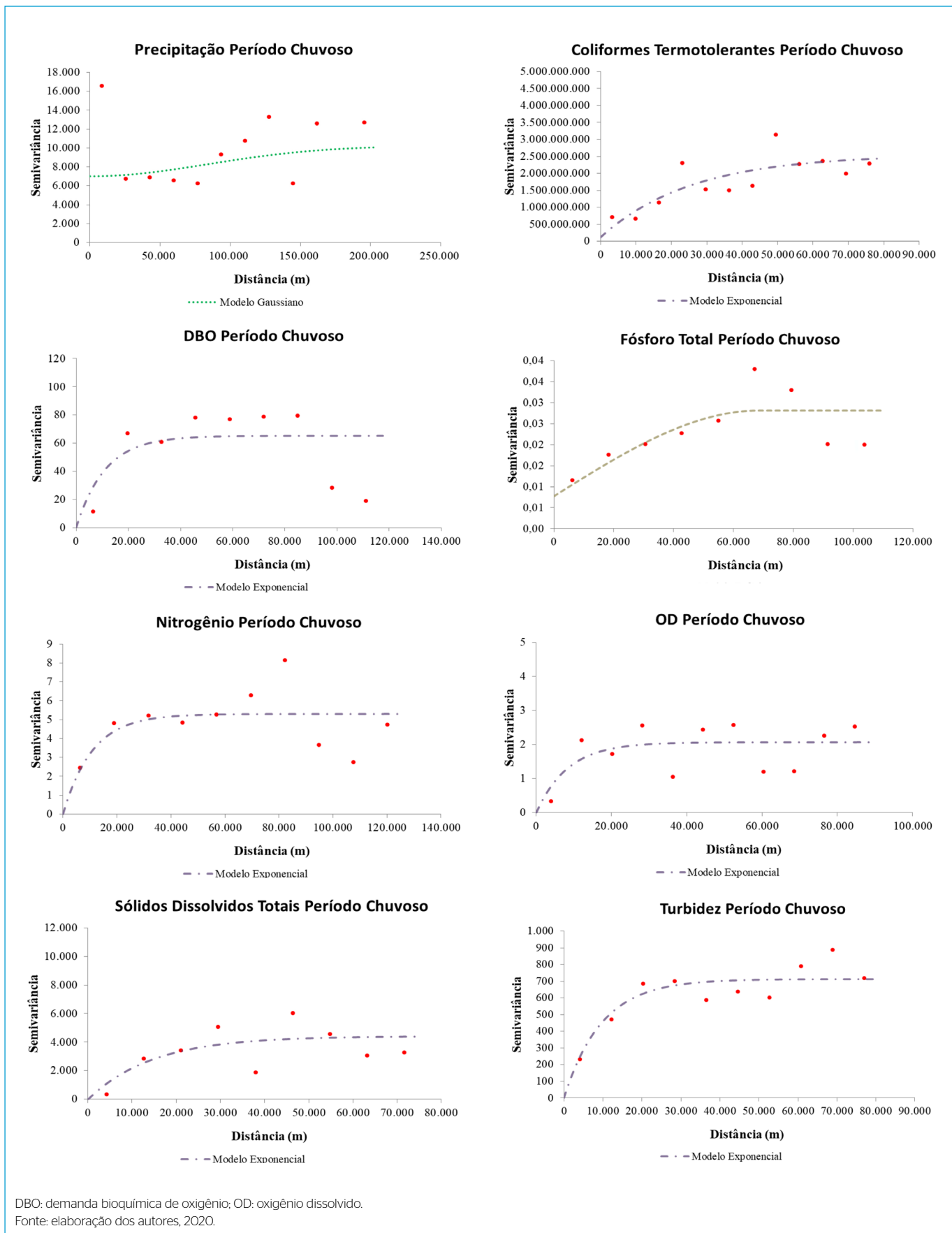


Figura 6 - Semivariogramas ajustados para precipitação, coliformes termotolerantes, DBO, fósforo, nitrogênio, OD, sólidos dissolvidos totais e turbidez no período chuvoso entre janeiro de 1997 e dezembro de 2018.

porção norte. Já na região sul, foram observados os menores registros, 41 mg L⁻¹, todavia, em ambos os casos, os valores encontravam-se conforme o VMP, que é de 500 mg L⁻¹ (Figura 9B). A distribuição espacial foi semelhante nos dois períodos, com menores concentrações no período chuvoso.

Pode-se inferir que a precipitação contribuiu para o aumento do fluxo superficial e do escoamento de base, que, por sua vez, atuou na diluição das concentrações dessa variável. Soma-se a esses fatores a condição de maior preservação

da porção sul, que permitiu menor aporte de sedimentos, como observado por Cabral e Reis (2015), em estudos conduzidos na Bacia Jacarecica (AL), visto que a cobertura vegetal promove a interceptação do escoamento e a redução do aporte de sedimentos.

O N apresentou comportamento análogo ao do P na bacia, com distribuição espacial semelhante à observada no período seco (Figura 10A). As chuvas contribuíram para a diminuição dos valores máximos absolutos do N, concentrados nas porções centro e nordeste da bacia, com redução de 3,25 mg L⁻¹, com registros em torno de 8,455 mg L⁻¹, enquanto os valores mínimos observados foram de 0,0154 mg L⁻¹, com leve aumento, se comparados aos valores mínimos do período seco.

A variação espacial manteve-se para o P total, se comparada à do período seco, com concentrações máximas nos mesmos pontos, enquanto a diluição ocasionada pelas chuvas foi pequena, com valores máximos de 0,62 mg L⁻¹ e mínimos de 0,05 mg L⁻¹ (Figura 10B). Em relação ao VMP, o N não foi avaliado novamente por causa da sua dependência da observação do pH não disponível, e o P total apresentou desvio nas regiões de concentrações mais altas, acima de 0,025 mg L⁻¹.

As chuvas provocaram aumento significativo nos índices de CT, com aumento de aproximadamente 8.000 UFC, com picos máximos de 150.000 UFC e mínimos de 3.258 UFC. Dessa forma, é possível constatar que a maior parte da bacia se manteve com valores acima do VMP estabelecido para a classe 1

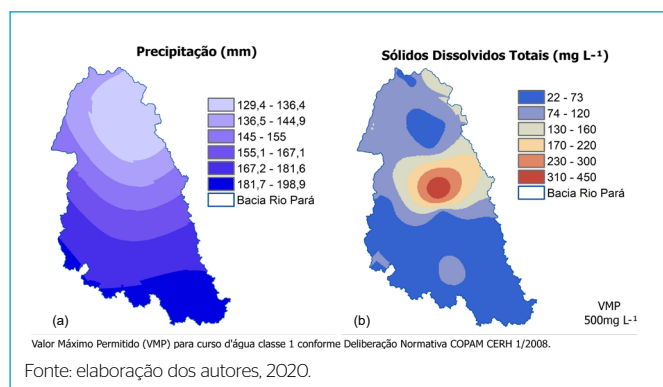


Figura 7 - (A) *Krigagem* ordinária para precipitação e (B) sólidos dissolvidos totais no período chuvoso entre janeiro de 1997 e dezembro de 2018.

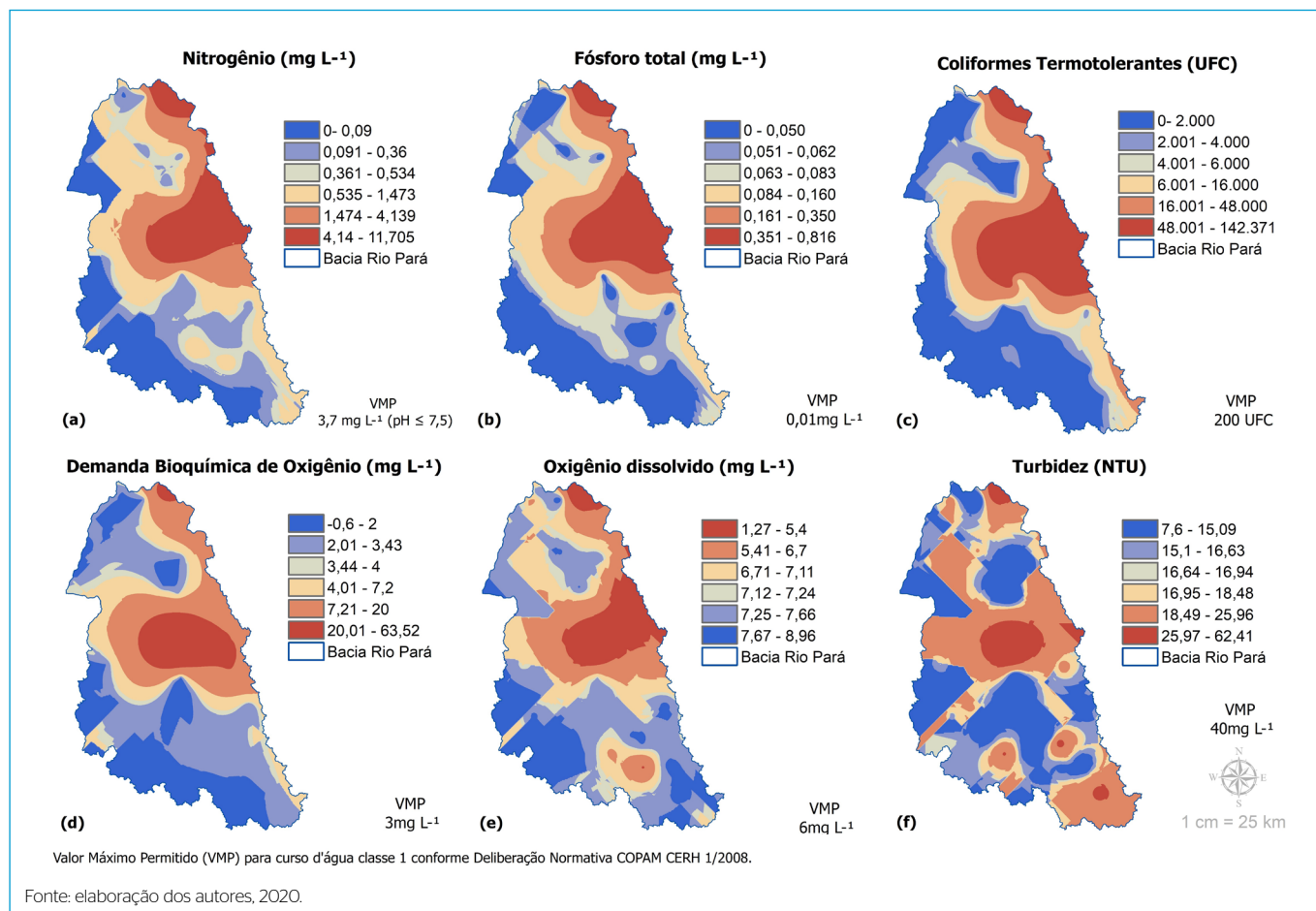


Figura 8 - (A) *Krigagem* ordinária para nitrogênio, (B) fósforo total, (C) coliformes termotolerantes, (D) demanda bioquímica de oxigênio, (E) oxigênio dissolvido e (F) turbidez no período seco entre janeiro de 1997 e dezembro de 2018.

(200 mg L⁻¹) e para a classe 2 (1.000 mg L⁻¹), destacados nas porções central e nordeste (Figura 10C). Estudo conduzido por Oliveira *et al.* (2017), na bacia do Rio Pará, demonstrou variações nas concentrações máximas de cerca de 500.000 NMP. A diferença entre os números pode ser em razão da metodologia utilizada no estudo atual, que empregou uma unidade de medida mais precisa.

Apesar de apresentar comportamento espacial qualitativamente análogo ao dos CT, com predominância de valores máximos nas porções central e nordeste, a DBO apresentou redução de 27,3 mg L⁻¹, se comparada à do período seco,

com registros máximos de 36,2 mg L⁻¹ e mínimos de 1,8 mg L⁻¹ (Figura 10D). A DBO ficou acima do VMP para a classe 1, de 3 mg L⁻¹, e para a classe 2, de 5 mg L⁻¹, nas áreas com registros máximos.

Na maior parte dos registros, o OD apresentou valores acima de 5 mg L⁻¹, o que representa condições adequadas ao VMP para a classe 1 (6 mg L⁻¹) e para a classe 2 (5 mg L⁻¹). Comportamento espacial análogo ao observado no período seco foi verificado no período chuvoso, conforme a Figura 10E. Valores não conformes foram constatados em distribuição muito próxima às variáveis anteriormente citadas para o OD, confirmando a distribuição análoga ao N, P total, CT, DBO e OD na bacia.

Britto *et al.* (2018), em estudos conduzidos no baixo curso do Rio São Francisco (BA), observaram valores fora do padrão, classe 2, para os parâmetros OD e CT, nos períodos seco e chuvoso. No que se refere à distribuição espacial e à sua relação com o uso do solo, Baggio, Freitas e Araújo (2016) verificaram que os valores mais baixos de OD se correlacionaram com os usos do solo de áreas agrícolas e urbano industrial.

A turbidez apresentou picos nas porções leste e norte, variando a distribuição espacial em relação ao período seco, com aumento substancial dos valores mínimos, 22,7 mg L⁻¹, com mínimos de 37,8 mg L⁻¹ e máximos de 136,3 mg L⁻¹ (Figura 10F). Ressalta-se ainda que praticamente toda a porção sudoeste da bacia se encontrava com resultados acima do VMP para a classe 1 (40 mg L⁻¹) e a classe 2 (60 mg L⁻¹). Rocha e Pereira (2016), em estudos desenvolvidos em

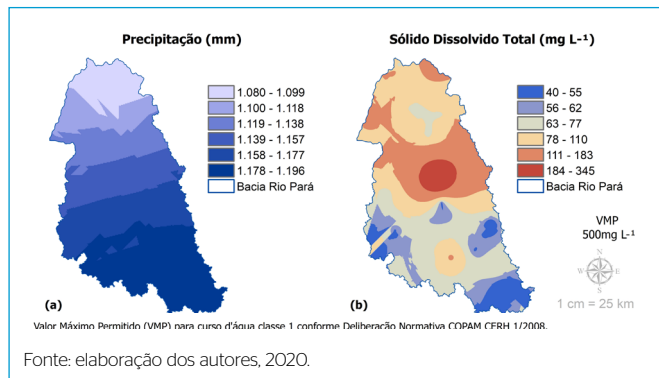


Figura 9 - (A) Krigagem ordinária para precipitação e (B) sólidos dissolvidos totais no período chuvoso entre janeiro de 1997 e dezembro de 2018.

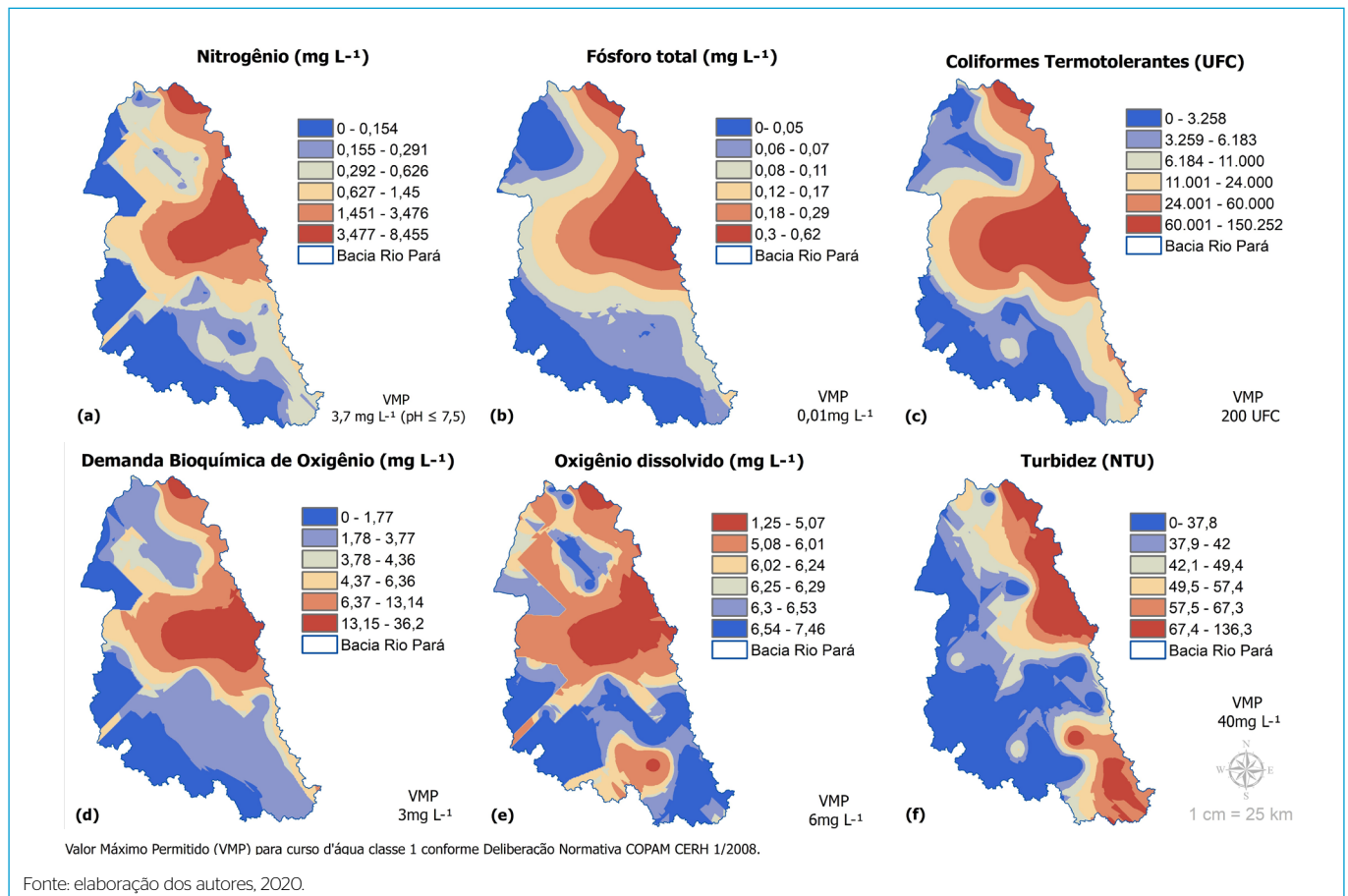


Figura 10 - (A) Krigagem ordinária para nitrogênio, (B) fósforo total, (C) coliformes termotolerantes, (D) demanda bioquímica de oxigênio, (E) oxigênio dissolvido e (F) turbidez no período chuvoso entre janeiro de 1997 e dezembro de 2018.

uma bacia localizada na cidade de Juiz de Fora (MG), observaram a elevação da turbidez no período chuvoso em comparação ao período seco.

No período seco, foi vista a maior quantidade de correlação forte e muito forte, sendo 58,3% do total de pares de parâmetros comparados. Por outro lado, no período chuvoso, 41,7% das variáveis apresentaram esse tipo de correlação. Assim, pode-se inferir que as chuvas tendem a falsear a análise dos resultados reais de correlação. Em contrapartida, na porção central da bacia, foram encontrados os piores resultados de qualidade, fato confirmado por Paula, Benedetti e Pereira Filho (2016).

Também foram observadas por Souza e Gastaldini (2014) correlações fortes em relação a DBO, turbidez, SDT, N, P, CT, alumínio e OD, sendo a última negativa.

A variação espacial foi idêntica para as variáveis CT, N, P total e OD, sendo a última com valores inversos em relação às demais variáveis, tendo em vista que, nas porções de maiores teores, se encontram as concentrações menores de OD. Essa condição também foi verificada na aplicação da correlação de Pearson, no período seco, que indicou forte correlação negativa entre OD e CT e muito forte entre as duas outras. O P e o N apresentaram correlação positiva muito forte (0,093), e ambos indicaram correlação forte em relação ao CT.

A DBO apresentou, no período seco, correlação positiva muito forte com SDT, alumínio, e no período chuvoso, para o CT. A distribuição espacial similar entre DBO, CT e SDT confirmou os resultados da correlação de Pearson. Souza e Gastaldini (2014) verificaram baixa correlação entre SDT e DBO (0,60) para a bacia Menino de Deus II (RS).

Ao observar, de forma ampla, os resultados do coeficiente de Pearson, no período chuvoso houve menores correlações forte e muito forte, visto que as chuvas aumentam o escoamento superficial e de base dos cursos d'água, gerando maiores vazões que podem diluir as variáveis em estudo, como foi verificado em alguns trabalhos (SOUSA; GASTALDINI, 2014; ROCHA; PEREIRA, 2016; SANTOS *et al.*, 2018). Soma-se a essa condição a divergência entre os ambientes estudados, nos quais foram aplicados o coeficiente, uma represa, no caso de Santos *et al.* (2018), e do presente estudo, um curso d'água.

Foi constatado que os valores mais elevados de CT, N e P total, em ambos os períodos, se correlacionaram com o uso de infraestrutura urbana. Já o OD apresentou os melhores resultados para as regiões com uso do solo do tipo floresta plantada, vegetação nativa e na região da cabeceira da bacia. Esses resultados estão de acordo com outros já relatados na literatura (BAGGIO; FREITAS; ARAÚJO, 2016; BRITTO *et al.*, 2018).

A distribuição espacial dos SDT apresentou maiores valores vinculados às regiões mais antropizadas. Oliveira e Cunha (2014) constataram elevação da turbidez nos meses chuvosos, condição análoga à averiguada no presente estudo e também

observada por Rocha e Pereira (2016). Pontes, Marques e Marques (2012) viram que a incidência de precipitação contribuiu para a degradação dos parâmetros da DBO.

O oposto ocorreu na bacia do Rio Pará, já que a variável apresentou melhor qualidade na estação chuvosa. Ressalta-se que a variação de uso e ocupação do solo, ao longo dos anos estudados, pode ter afetado o comportamento dessa variável.

CONCLUSÕES

A correlação de Pearson, conforme metodologia de Feil, Strasburg e Spilki (2017), foi adequada para o estudo da bacia do Rio Pará. Houve maior número de correlações muito forte e forte no período seco, correspondendo a 58,3 e 48,7%, respectivamente, no período chuvoso. Essa situação foi evidenciada pela variação do coeficiente de Pearson, que demonstrou a influência da precipitação na bacia, indicando que esta atua na diluição da maioria das variáveis por causa do aumento do escoamento superficial e da consequente alteração da vazão dos cursos d'água.

A aplicação do coeficiente de Pearson, em recursos hídricos, é influenciada pelo tipo de curso d'água, com as características regionais do ambiente e com o uso e a ocupação do solo da bacia.

O modelo de semivariograma que apresentou melhor ajuste para a maior parte das variáveis foi o exponencial. O GDE foi considerado forte para 83,3% das variáveis estudadas.

A *krigagem* ordinária explicou adequadamente o comportamento espacial das variáveis estudadas e permitiu fazer correlação destas com o uso e a ocupação do solo e com os limites legais aplicáveis no estado, por meio da apresentação de mapas com grande detalhamento das variáveis, que poderá auxiliar na gestão da Bacia Hidrográfica do Rio Pará.

Os mapas de *krigagem* ordinária demonstram que as concentrações de N, P, CT, DBO, OD, SDT e turbidez foram mais elevadas em toda a porção central e de leste a oeste, de maneira especial no período seco. As concentrações mais elevadas das variáveis coincidiram com o uso de infraestrutura urbana. Por outro lado, os valores mais baixos foram constatados nas áreas com cobertura vegetal.

Por fim, ressalta-se que os dados usados neste trabalho possuem frequência de monitoramento em sua maioria trimestral. Indica-se que, quando possível, tais análises devem ser executadas com dados de frequência mensal.

CONTRIBUIÇÃO DOS AUTORES

Sousa, R. G.: Curadoria de Dados, Investigação, Metodologia, Recursos, Escrita — Primeira Redação, Escrita — Revisão e Edição; Freitas, A. S.: Conceituação, Administração do Projeto, Supervisão, Validação, Escrita — Revisão e Edição; Oliveira, A. S.: Validação, Escrita — Revisão e Edição; Silva, H. R.: Escrita — Revisão e Edição.

REFERÊNCIAS

AGÊNCIA NACIONAL DE ÁGUAS E SANEAMENTO BÁSICO (ANA). *Resultados de monitoramento de precipitação da Bacia Hidrográfica do Rio Pará*. Brasil: ANA, 2018. Disponível em: <https://www.snirh.gov.br/hidroweb/publico/apresentacao.jsf>. Acesso em: 20 nov. 2019.

ALMEIDA, R. A.; COELHO, G.; ALMEIDA, I. A.; COSTA, J. de O. Geostatística aplicada na estimativa de chuvas máximas diárias no estado de Minas Gerais. *Nativa*, v. 6, n. 6, p. 675-680, 2018. <https://doi.org/10.31413/nativa.v6i6.5830>

- BAGGIO, H.; FREITAS, M. de O.; ARAÚJO, A. D. Análise dos parâmetros físico-químicos oxigênio dissolvido, condutividade elétrica, potencial hidrogeniônico e temperatura, no baixo curso do Rio das Velhas - MG. *Caminhos de Geografia*, v. 17, n. 60, p. 2105-2117, 2016. <https://doi.org/10.14393/RCG176008>
- BRITTO, F. B.; VASCO, A. N.; AGUIAR NETTO, A. O.; GARCIA, C. A. B.; MORAES, G. F. O.; SILVA, M. G. Surface water quality assessment of the main tributaries in the lower São Francisco River, Sergipe. *Brazilian Journal of Water Resources*, v. 23, e28, 2018. <https://doi.org/10.1590/2318-0331.231820170061>
- CABRAL, S. L.; REIS, R. S. Influência do uso e ocupação do solo na produção de sedimentos na Bacia do Rio Jacarecica. *Revista de Geografia*, v. 32, n. 2, p. 147-157, 2015.
- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F.; KONOPKA, A. E. Field-scale variability of soil properties in Central Iowa Soils. *Soil Science Society of American Journal*, v. 58, n. 5, p. 1501-1511, 1994. <https://doi.org/10.2136/sssaj1994.03615995005800050033x>
- FEIL, A. A.; STRASBURG, V. J.; SPILKI, F. R. Variáveis Intervenientes na existência de comitês de bacias hidrográficas no Brasil. *Revista Ambiente & Água*, v. 12, n. 2, p. 340-350, 2017. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1828>
- FRANCO, G. B.; BETIM, L. S.; MARQUES, E. A. G.; CHAGAS, C. S.; GOMES, R. L. Avaliação da qualidade sanitária da água na Bacia Hidrográfica do Rio Almada - BA. *Caminhos de Geografia*, v. 16, n. 54, p. 254-262, 2015.
- LADIM, P. M. B. Geoestatística e mapas. *Terrae Didática*, v. 2, n. 1, p. 19-33, 2006. <https://doi.org/10.20396/td.v2i1.8637463>
- LIMA, B. P.; MAMEDE, G. L.; LIMA NETO, I. E. Monitoramento e modelagem da qualidade de água em uma bacia hidrográfica semiárida. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 23, n. 1, p. 125-135, 2018. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522018167115>
- MANUEL, L.; SCALON, J. D.; GONZALEZ, G. G. H.; MOREIRA, J. M.; RIBEIRO, M. C.; MELO, A. F. Estudo de variabilidade espacial da concentração de cobre e cádmio ao longo da margem do rio Meuse. *Pubvet*, v. 11, n. 8, p. 802-807, 2017. <https://doi.org/10.22256/pubvet.v11n8.802-807>
- MAPBIOMAS. *Projeto de mapeamento anual da cobertura e uso do solo do Brasil*. MapBiomas, 2019. Disponível em: <http://mapbiomas.org/pages/about/about>. Acesso em: 19 dez. 2019.
- MELLO, Y. R. de; OLIVEIRA, T. M. N. de. Análise estatística e geoestatística da precipitação média para o município de Joinville (SC). *Revista Brasileira de Meteorologia*, v. 31, n. 2, p. 229-239, 2016. <https://doi.org/10.1590/O102-778631220150040>
- OLIVEIRA, B. S. S. de; CUNHA, A. C. de. Correlação entre qualidade da água e a variabilidade da precipitação no sul do estado do Amapá. *Revista Ambiente & Água*, v. 9, n. 2, p. 261-275, 2014. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1287>
- OLIVEIRA, J. C. de; SOARES, A. L. C.; DANTAS, M. S.; MELO, L. D. V.; PINTO, C. C.; GUIMARÃES, J. I.; ALKIMIM, A. R.; CARVALHO, D. M.; SOUZA, G. A.; SENA, V. H.; BARROSO, G. R.; OLIVEIRA, S. M. A. C. Análise da qualidade das águas superficiais da Bacia Hidrográfica do Rio Pará - MG. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE RECURSOS HÍDRICOS, 20, 2017, Santa Catarina. *Anais [...]*. Florianópolis: ABRH, 2017. p. 1-8.
- PAULA, M. R. de; BENEDETTI, A. C. P.; PEREIRA FILHO, W. Influência do uso e cobertura da terra aliado a precipitação pluviométrica na qualidade da água da Bacia Hidrográfica do Rio Ingaí - RS/Brasil. *Revista do Departamento de Geografia Universidade de São Paulo*, v. 32, n. 1, p. 143-152, 2016. <https://doi.org/10.11606/rdg.v32i01.119330>
- PIERONI, J. P.; RODRIGUES BRANCO, K. G.; INACHVILI, I.; FERREIRA, G. C. Monitoramento sazonal da qualidade da água, na sub-Bacia Hidrográfica do Córrego Água Limpa, em seu trecho afetado pela mineração de níquel, no município de Pratápolis, Minas Gerais. *Geociências*, v. 34, n. 3, p. 402-410, 2015.
- PONTES, P. P.; MARQUES, A. R.; MARQUES, G. F. Efeito do uso e ocupação do solo na qualidade da água na micro Bacia do Córrego Banguelo - Contagem. *Revista Ambiente & Água*, v. 7, n. 3, p. 183-194, 2012. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.962>
- ROCHA, C. H. B.; PEREIRA, A. M. Análise multivariada para seleção de parâmetros de monitoramento em manancial de Juiz de Fora, Minas Gerais. *Revista Ambiente & Água*, v. 11, n. 1, p. 176-187, 2016. <https://doi.org/10.4136/ambi-agua.1590>
- SANTOS, S. A. dos; GASTALDINI, M. do C. C.; PIVETTA, G. G.; SCHMIDT FILHO, O. Qualidade da água na Bacia Hidrográfica Urbana Cancela Tamandaí, Santa Maria/RS. *Sociedade e Natureza*, v. 30, n. 2, p. 23-44, 2018. <https://doi.org/10.14393/SN-v30n2-2018-2>
- SILVA, H. R. *Sistema de alerta e relação de variáveis ambientais com o progresso da Mancha de Phoma do caféiro*. 162f. Tese (Doutorado em Agronomia) - Universidade Federal de Lavras, Lavras, 2018.
- SOUZA, M. M.; GASTALDINI, M. do C. C. Avaliação da qualidade da água em bacias hidrográficas com diferentes impactos antrópicos. *Engenharia Sanitária e Ambiental*, v. 19, n. 3, p. 263-274, 2014. <https://doi.org/10.1590/S1413-41522014019000001097>
- TECNOLOGIA EM SISTEMAS ESPACIAIS LTDA. (TESE). *Plano Diretor da Bacia Hidrográfica do Rio Pará*. Minas Gerais: Tese, 2006. 107 p.