

XI SIMPÓSIO DE RECURSOS HÍDRICOS DO NORDESTE

MODELAGEM GEOESTATÍSTICA DO ÍNDICE DE QUALIDADE DA ÁGUA (IQA) PARA A BACIA HIDROGRÁFICA DO RIO DAS VELHAS – MG

*Daniel Brasil Ferreira Pinto*¹; *Shaiana Jaciara Silva*²; *Luís Henrique Silva Soares*³

*Luiz Henrique Siqueira Resende*⁴ & *Christiane Pereira Rocha*⁵

RESUMO – O objetivo principal deste trabalho foi a criação de modelos espaciais a partir da variabilidade do Índice de Qualidade da Água (IQA), na bacia hidrográfica do Rio das Velhas, usando técnicas e ferramentas geoestatísticas. Os dados foram obtidos junto ao Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM) para o ano de 2006, com duas épocas distintas de amostragem, período chuvoso e período de seca. Os valores de IQA ao longo do Rio das Velhas, foram submetidos aos procedimentos da Geoestatística que, nesta ordem foram: Estatística descritiva, Análise exploratória, Semivariograma, Krigagem, Validação Cruzada. Os modelos de semivariograma testados foram: esférico, exponencial, tetraesférico, pentaesférico e gaussiano. Para a escolha do modelo mais adequado, baseou-se no maior Grau de Dependência Espacial (GD) e no menor erro médio gerado pela validação cruzada. O trabalho permitiu interpolar ao longo do Rio das Velhas, valores de IQA, importantes para esta bacia hidrográfica nos períodos estudados, produzindo uma ferramenta de gestão ambiental importante para esta bacia hidrográfica.

ABSTRACT– The main objective of this work was to develop spatial models from the variability of the Water Quality Index (WQI), Velhas River Basin, using Geostatistical techniques and tools with support of the Geographic Information System ArcGIS 9.3. The data set were obtained from the IGAM, to the year 2006, with two distinct seasons of sampling, the rainy and drought season. The WQI values at the long of the Velhas River, were worked in the basis of Geostatistics procedures which were basic statistics, exploratory analysis, Semi-variogram modeling, Kriging and Cross Validation. The semi-variogram models tested were: Spherical, Exponential, T-spherical, Penta-spherical and Gaussian, using ArcGIS 9.3 software. For choosing the most appropriate model, it was considered the greatest spatial degree of dependence and the lowest average error generated by cross validation. The work has generated an approximate model of the values of WQI along of the Velhas River the periods studied.

Palavras-Chave – Recursos Hídricos, IQA, geoestatística, mapeamento.

INTRODUÇÃO

O estudo e o levantamento dos parâmetros de qualidade da água têm se tornado importantes aliados na busca do desenvolvimento sustentável e na preservação dos recursos hídricos. A compreensão da dinâmica destes parâmetros tem sido alcançada por meio de Índices de Qualidade

1) Prof. Titular no UNIFOR-MG, Campus Universitário Av. Dr. Arnaldo Sena, nº 328, B. Água Vermelha, Formiga-MG, CEP: 35.570-000, Fone: (37) 3329 1400, e-mail: danielbrasil@unifor.br

2) Graduanda em Engenharia Ambiental e Sanitária no UNIFOR-MG, Campus Universitário, e-mail: shaianapta@gmail.com

3) Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária no UNIFOR-MG, Campus Universitário, e-mail: luis.engamb@hotmail.com

4) Graduando em Engenharia Ambiental e Sanitária no UNIFOR-MG, Campus Universitário, e-mail: luiz_henrique_siqueira@hotmail.com

5) Profª Adjunta no UNIFOR-MG, Campus Universitário, e-mail: coordengcivil@unifor.br

da Água (IQA) e modelagem dinâmica. Existem vários modelos definidos para o comportamento de cada um desses parâmetros que são considerados modelos de simulação, visando tanto fontes pontuais como difusas de poluição.

Para tratamento do IQA, de forma a se obter valores para os locais não amostrados, buscou-se através do posicionamento geográfico desses valores lidos, métodos de interpolação, adaptando modelos geoestatísticos para distribuir espacialmente as estimativas segundo a variabilidade desses valores da melhor forma possível. A abordagem geoestatística baseia-se na Teoria das Variáveis Regionalizadas, onde a probabilidade de ocorrência ou estimativa dos valores dos parâmetros de qualidade torna-se dependente de seu posicionamento geográfico, onde pontos de coleta próximos geograficamente possuem valores de parâmetros semelhantes, conforme os princípios estabelecidos por Matheron (1971) e Burrough (1987).

Castro Junior e Botoloti (2007), estudando o comportamento da qualidade da água ao longo do Rio Castelo no Estado do Espírito Santo, apesar de não terem estudado diferentes interpoladores, relataram a eficiência da geoestatística na estimativa de parâmetros de qualidade de água em pontos não amostrados no rio.

Mello *et al* (2005 e 2008), relatam a supremacia do interpolador geoestatístico, em suas respectivas áreas de estudo. No entanto, esta condição está associada à modelagem do melhor semivariograma, acompanhado de uma análise exploratória prévia dos dados.

Neste contexto, objetivou-se com este estudo, o mapeamento do Índice de Qualidade de Água ao longo do Rio das Velhas, em dois períodos distintos de amostragem, através de técnicas geoestatísticas.

MATERIAL E MÉTODOS

Caracterização da área de estudo

O rio das Velhas percorre 761 quilômetros, desde as proximidades da cidade de Ouro Preto até Pirapora, onde deságua no rio São Francisco, constituindo um dos seus principais afluentes. A bacia hidrográfica do Rio das Velhas tem cerca de 28.867 km², abrangendo, total ou parcialmente, 51 municípios, ou seja, cerca de 5% do território do estado de Minas Gerais. Os trechos alto e médio da bacia abrangem os 15 municípios que formam a Região Metropolitana de Belo Horizonte (RMBH). Esta região concentra 86% da população da bacia, a qual, em 2007, era de quase 5 milhões de habitantes (IBGE, 2010).

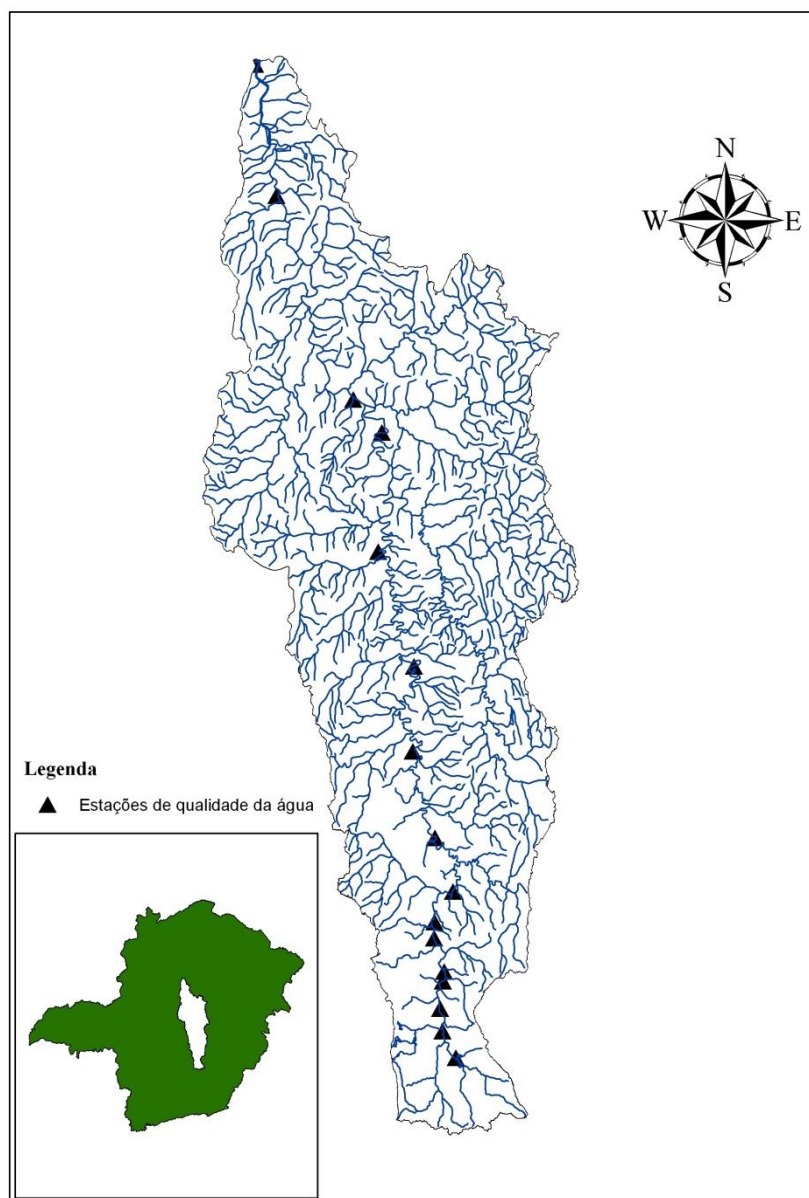


Figura 1 - Localização da bacia hidrográfica do Rio das Velhas e das estações de amostragem de qualidade de água.

Levantamento dos dados

Foram utilizados nesse estudo 16 estações de qualidade de água monitoradas pelo Instituto Mineiro de Gestão das Águas (IGAM), distribuídas espacialmente conforme Figura 1. Os dados utilizados referem-se ao ano de 2006 em duas distintas épocas de amostragem, sendo, período chuvoso (outubro a abril) e período de seca (maio a setembro). O ano de 2006 representa o último ano com série histórica disponibilizada pelo IGAM, por isso foi adotado este ano para realização do estudo.

Índice de Qualidade da Água (IQA)

Aos dados de qualidade da água foi aplicado o Índice de Qualidade de Água (IQA) proposto pelo IGAM (IGAM, 2005), sendo calculado com base nos seguintes parâmetros: Oxigênio

Dissolvido (OD), Coliformes Termotolerantes (CF), Potencial Hidrogeniônico (pH), Demanda Bioquímica de Oxigênio (DBO), Nitratos (NO_3^-), Fosfatos (PO_4), Temperatura (T), Turbidez (Tu) e Sólidos Totais (ST). A cada parâmetro foi adotado um peso pelo IGAM, conforme sua importância no cálculo do IQA, os quais estão apresentados na Tabela 1.

Tabela 1 - Pesos dos parâmetros de qualidade aplicados no cálculo do IQA.

Parâmetro	Unidades	Peso - W_i
Oxigênio Dissolvido – (OD)	%OD	0,17
Coliformes termotolerantes – (CF)	NMP 100mL ⁻¹	0,15
Potencial Hidrogeniônico – (pH)	pH	0,12
Demanda Bioquímica de Oxigênio – (DBO)	mg L ⁻¹	0,10
Nitratos – (NO_3^-)	mg L ⁻¹	0,10
Fosfatos – (PO_4)	mg L ⁻¹	0,10
Variação de Temperatura – (T)	°C	0,10
Turbidez - (Tu)	UNT	0,08
Resíduos Totais – (ST)	mg L ⁻¹	0,08

Fonte: IGAM (2005).

O IQA é calculado pelo produtório ponderado das qualidades de água correspondentes aos parâmetros conforme seguinte equação:

$$IQA = \prod_{i=1}^9 q_i^{w_i} \quad (1)$$

Em que IQA é o índice de qualidade da água, q_i é a qualidade do parâmetro i , obtido através da curva média específica de qualidade e w_i é o peso atribuído ao parâmetro, em função de sua importância na qualidade (Tabela 1). Os valores do IQA variam de zero a cem e podem ser interpretados conforme especificado na Tabela 2.

Tabela 2 - Classificação do nível de qualidade conforme valores de IQA.

Nível de Qualidade	Faixa
Excelente	$90 < IQA < 100$
Bom	$70 < IQA < 90$
Médio	$50 < IQA < 70$
Ruim	$25 < IQA < 50$
Muito Ruim	$0 < IQA < 25$

Fonte: IGAM (2005).

Na Tabela 3 são apresentadas as estações de qualidade de água com suas coordenadas UTM e seus respectivos índices de qualidade de água (IQA), tanto no período de seca como no período chuvoso.

Tabela 3 - Estações de qualidade da água na Bacia Hidrográfica do Rio das Velhas e IQA no período chuvoso e no período de seca.

Estação	Longitude	Latitude	IQA período chuvoso	IQA período seca
BV - 013	631431,8944	7764712,0817	64,54	89,89
BV - 037	625427,7415	7773304,0872	67,08	70,41
BV - 063	623661,0407	7790380,6399	59,19	57,21
BV - 067	623742,7898	7793731,3184	69,49	68,31
BV - 083	618670,9070	7804711,4148	39,42	40,64
BV - 105	618300,2518	7810186,4069	27,13	23,08
BV - 137	615198,0489	7839013,5578	49,10	29,99
BV - 139	623594,5864	7780972,9409	62,71	61,79
BV - 141	600886,0879	7896738,7595	27,32	64,43
BV - 142	583132,7981	7934634,8317	49,90	68,04
BV - 146	567934,3673	7985655,5449	49,25	62,60
BV - 148	531591,9982	8052715,0172	73,71	68,26
BV - 149	518606,5655	8096952,6749	69,94	72,52
BV - 152	579934,5216	7975374,7067	54,18	68,65
BV - 153	624022,9715	7821276,8570	24,75	20,66
BV - 156	603616,7841	7867735,2096	25,96	52,92

Análises geoestatísticas

O espaço amostral a partir de uma determinada quantidade de água coletada é definido neste estudo pelas variáveis definidoras da qualidade da água, conforme a National Science Foundation US (NSF), mensuradas no método descrito por Brown *et al.* (1970), bem como as iterações entre as mesmas. Considerando o conjunto das 09 (nove) variáveis que compõem o cálculo de IQA, pode-se, segundo Toledo (2002) e Harmancioglu *et al.* (1998) assumir que tais variáveis sejam obtidas a partir de uma distribuição amostral no espaço e no tempo (diferentes períodos, aqui definidos por período chuvoso e período de seca). Sendo assim e levando-se em conta que os modelos de avaliação de qualidade da água, descritos por Gastaldini *et al.* (2002), em sua maioria, consideram distância e tempo como variáveis básicas, e considerando ainda que os parâmetros de avaliação de IQA possam ser inferidos por aplicações de estatísticas convencionais, pode-se propor a utilização de métodos de modelagem que agreguem a estatística clássica aos elementos geográficos (espaços-temporais), como a Geoestatística. Enquanto a primeira descarta a existência de correlação entre a variação dos parâmetros e a distância entre os pontos de amostragem, a Geoestatística considera a dependência e a sistematização dos dados em função de sua distribuição espacial. Neste estudo foram aplicadas algumas das ferramentas de geoestatística do módulo Geostatistical Analyst do

Sistema de Informações Geográficas ArcGIS 9.3. De forma genérica, pode-se enumerar as etapas para aplicação das técnicas geoestatísticas a um determinado conjunto de dados, com a seguinte sequência de procedimentos:

- Estatística descritiva
- Análise exploratória
- Semivariograma
- Krigagem
- Validação Cruzada

Na etapa “Estatística Descritiva”, são determinados os parâmetros estatísticos que descrevem a tendência ou posição central, a dispersão, a assimetria e a curtose da amostra. (média aritmética, mediana, moda, desvio-padrão, quartis inferior e superior, , coeficiente de assimetria e coeficiente de curtose), para brevemente qualificar os valores dos parâmetros.

Na etapa de Análise Exploratória da variabilidade espacial do conjunto de dados, realizada através do módulo Geostatistical Analyst do ArcGIS 9.3, fez-se a verificação e a descrição das medidas estatísticas e matemáticas dos dados, visando melhorar a eficiência da etapa inicial e como suporte às hipóteses geoestatísticas assumidas, especialmente a Hipótese Intrínica, através da identificação de valores discrepantes e remoção de tendências.

O Semivariograma pode ser definido pelas semi-variâncias de um conjunto de medidas (amostras) realizadas em campo e que possuem uma determinada distância (d) entre si. Matematicamente, equivale a dizer que se para um ponto P representado por um par de coordenadas (x,y), sendo U(P) o valor obtido para um determinado parâmetro de qualidade de água, para o local P+d o valor U(P+d) para o parâmetro em questão, terá sua variância (S²) obtida pela soma do quadrado da diferença de cada valor com a média U, conforme a equação a seguir:

$$S^2 = [U(P) - \bar{U}]^2 + [U(P + d) - \bar{U}]^2 \quad (2)$$

Para vários pontos de coleta de amostras, calcula-se o semivariograma médio através da fórmula a seguir:

$$\gamma(d) = \frac{1}{2n(d)} \sum_{i=1}^{n(d)} [U(P_i) - U(P_i + d)]^2 \quad (3)$$

Em que $\gamma(d)$ é a variância em função da distancia entre pares de pontos amostrados, $n(d)$ é o número de pares de pontos amostrados, $U(P_i)$ é o IQA de um determinado ponto amostrado,

$U(P_i+d)$ é o IQA de um determinado ponto amostrado localizado à distancia d de P_i e d = Distância entre pontos amostrados ao longo do leito do Rio das Velhas.

Em síntese, segundo afirma Ortiz (2002) o semivariograma é o gráfico que expressa a variação da propriedade com a distância entre os pontos de amostragem. Os semivariogramas tratam fenômenos ditos isotrópicos ou anisotrópicos sendo que este estudo considera a primeira situação, uma vez que, não há grande variabilidade dos dados nas várias direções em que se encontrem distribuídos os pontos de amostragem, por se tratar de um rio, de forma semelhante a um transecto.

Para efeito de praticidade e de visualização na representação da krigagem, o Rio das Velhas teve sua largura extrapolada respeitando a distancia em as estações de amostragem. No presente estudo foram analisados os seguintes semivariogramas para o IQA:

- Esférico
- Exponencial
- Tetraesférico
- Pentaesférico
- Gaussiano

A etapa de Krigagem fornece estimativas não tendenciosas e com variâncias mínimas para os pontos de coleta de água não amostrados, fruto das análises prévias e do processo de modelagem da Continuidade Espacial. Nesta etapa, o procedimento é semelhante ao de interpolação por média móvel ponderada, porém com pesos determinados a partir de uma análise espacial baseada no semivariograma, ou seja, pesos estatísticos. Os ponderadores de dados na etapa de Krigagem levam em conta além da distância euclidiana entre as amostras também a variabilidade estatística dos dados (semivariância e covariância) na região de estimação. Os processamentos de krigagem e de mapeamento, foram conduzidos utilizando o software ArcGis 9.3.

Na etapa de Validação Cruzada foram realizados os testes para avaliar o grau de incerteza sobre as hipóteses assumidas, os modelos selecionados, os valores dos parâmetros ajustados e a qualidade da krigagem. Segundo Isaaks e Srivastava (1989), na etapa de Validação Cruzada, cada ponto medido é excluído e seu valor é estimado levando-se em conta os dados restantes. Nessa técnica são estimados os valores de IQA dos pontos amostrados, sendo em seguida comparados aos novos valores observados dos dados.

A fim de verificar a qualidade do ajuste do semivariograma aos dados experimentais, e assim constatar o modelo que melhor se adequou, foram avaliados 2 parâmetros, ambos intimamente ligados à geoestatística: a Validação Cruzada ou auto-validação e o grau de dependência espacial, de acordo com Mello *et al.* (2005). Assim, trabalhou-se com o erro médio produzido pela validação cruzada dos modelos abordados.

O grau de dependência (GD) consiste da razão entre a variância estrutural (C_1) e o patamar ($C_0 + C_1$) e permite classificar o grau de dependência espacial. Segundo Mello (2004), este parâmetro pode ser calculado por:

$$GD = \left(\frac{C_1}{C_0 + C_1} \right) \times 100 \quad (4)$$

Em que C_0 é o efeito pepita (representa a variação aleatória do evento estudado), C_1 é a variância estruturada (variância explicada pela componente espacial) e $C_0 + C_1$ é o patamar (variação total do evento estudado).

A classificação adotada é a seguinte: $GD < 25\%$ (grau de dependência fraco), entre 25 e 75% (moderado) e $> 75\%$ (forte), conforme Mello (2004) e Mello *et al* (2008). Basicamente, este parâmetro de análise consiste de um avaliador complementar aos erros gerados pela validação cruzada e foi tratado desta forma neste trabalho.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 4 são apresentados o grau de dependência espacial e o erro médio de cada modelo testado nesse estudo. Observa-se que o modelo Gaussiano obteve maior GD com 72,58 %, e conforme Mello (2004), apresenta um GD moderado, porém próximo ao alto grau de dependência espacial. O modelo Gaussiano também apresentou o menor erro médio com 7,38% que, segundo Mello *et al.* (2003a) e Vieira *et al.* (2002) estes erros são consideravelmente baixos, demonstrando o elevado potencial que a interpolação geoestatística (krigagem) possui para a variável IQA. O interpolador que não considerar a estrutura de dependência espacial, certamente produzirá estimativas tendenciosas com mapas interpolados com valores visados, distorcendo a realidade (MELLO *et al.*, 2008).

Tabela 4 - Grau de dependência espacial e erro médio de cada modelo testado.

Modelo	GD	E.M.
Esférico	67,14	7,42
Exponencial	68,75	9,87
Tetraesférico	53,18	10,94
Pentaesférico	51,94	11,45
Gaussiano	72,58	7,38

Após a seleção do melhor modelo do semivariograma para o IQA, fez-se um refinamento do resultado, variando-se manualmente os coeficientes que compõem as equações dos modelos (efeito

pepita, contribuição, parâmetro, maior alcance, etc), buscando encontrar as distâncias de correlação entre os valores das qualidades para cada um dos parâmetros e para o IQA.

Assim fora definido a partir das 16 estações de qualidade, o Modelo Geoestatístico Espacial (MGE) para o comportamento do IQA ao longo do Rio das Velhas. Uma vez assumida a hipótese de que o MGE representa o modelo do comportamento dos índices de qualidade de água do rio em estudo, o modelo fora submetido à validação cruzada.

Nas Tabelas 5 e 6 são apresentadas as validações tanto para o período de seca como para o período chuvoso. O período de seca e o período chuvoso apresentaram um erro médio de 7,38% e de 7,44% respectivamente sendo considerados erros aceitáveis em se tratando de interpoladores espaciais.

Tabela 5 - Resultado da validação cruzada para o Índice de Qualidade de Água (IQA), para o período de seca.

Estação	Longitude	Latitude	IQA obs	IQA pred	Erro
BV - 149	518606,5655	8096952,6749	72,52	65,45	9,75
BV - 148	531591,9982	8052715,0172	68,26	68,62	0,53
BV - 146	567934,3673	7985655,5449	62,60	68,52	9,46
BV - 152	579934,5216	7975374,7067	68,65	64,86	5,52
BV - 142	583132,7981	7934634,8317	68,04	61,91	9,02
BV - 141	600886,0879	7896738,7595	64,43	63,65	1,21
BV - 156	603616,7841	7867735,2096	52,92	49,75	5,99
BV - 137	615198,0489	7839013,5578	29,99	27,83	7,20
BV - 105	618300,2518	7810186,4069	23,08	23,30	0,93
BV - 083	618670,9070	7804711,4148	40,64	37,29	8,24
BV - 139	623594,5864	7780972,9409	61,79	66,48	7,60
BV - 063	623661,0407	7790380,6399	57,21	64,76	13,20
BV - 067	623742,7898	7793731,3184	68,31	63,14	7,57
BV - 153	624022,9715	7821276,8570	20,66	22,51	8,94
BV - 037	625427,7415	7773304,0872	70,41	73,41	4,26
BV - 013	631431,8944	7764712,0817	89,89	73,09	18,69

Tabela 6 - Resultado da validação cruzada para o Índice de Qualidade de Água (IQA), para o período chuvoso.

Estação	Latitude	Longitude	IQA obs	IQA pred	Erro
BV - 149	518606,5655	8096952,6749	69,94	61,61	11,91
BV - 148	531591,9982	8052715,0172	73,71	69,59	5,59
BV - 146	567934,3673	7985655,5449	49,25	54,71	11,09
BV - 152	579934,5216	7975374,7067	54,18	51,65	4,66
BV - 142	583132,7981	7934634,8317	49,90	47,74	4,32
BV - 141	600886,0879	7896738,7595	27,32	22,35	18,18
BV - 156	603616,7841	7867735,2096	25,96	28,35	9,21
BV - 137	615198,0489	7839013,5578	49,10	45,92	6,47
BV - 105	618300,2518	7810186,4069	27,13	26,06	3,96
BV - 083	618670,9070	7804711,4148	39,42	40,85	3,63
BV - 139	623594,5864	7780972,9409	62,71	67,24	7,22
BV - 063	623661,0407	7790380,6399	59,19	64,09	8,27
BV - 067	623742,7898	7793731,3184	69,49	63,09	9,20
BV - 153	624022,9715	7821276,8570	24,75	23,52	4,98
BV - 037	625427,7415	7773304,0872	67,08	63,17	5,82
BV - 013	631431,8944	7764712,0817	64,54	67,54	4,64

Na Figura 2 encontram-se os mapas de krigagem para o período de seca e para o período chuvoso. Como pode-se observar a qualidade da água, representada aqui pelo IQA, encontra-se em melhores condições no período de seca na sub-bacia hidrográfica. Pelas Tabelas 5 e 6 verifica-se os baixos erros encontrados na estimativa de valores de IQA, em pontos não amostrados ao longo do rio.

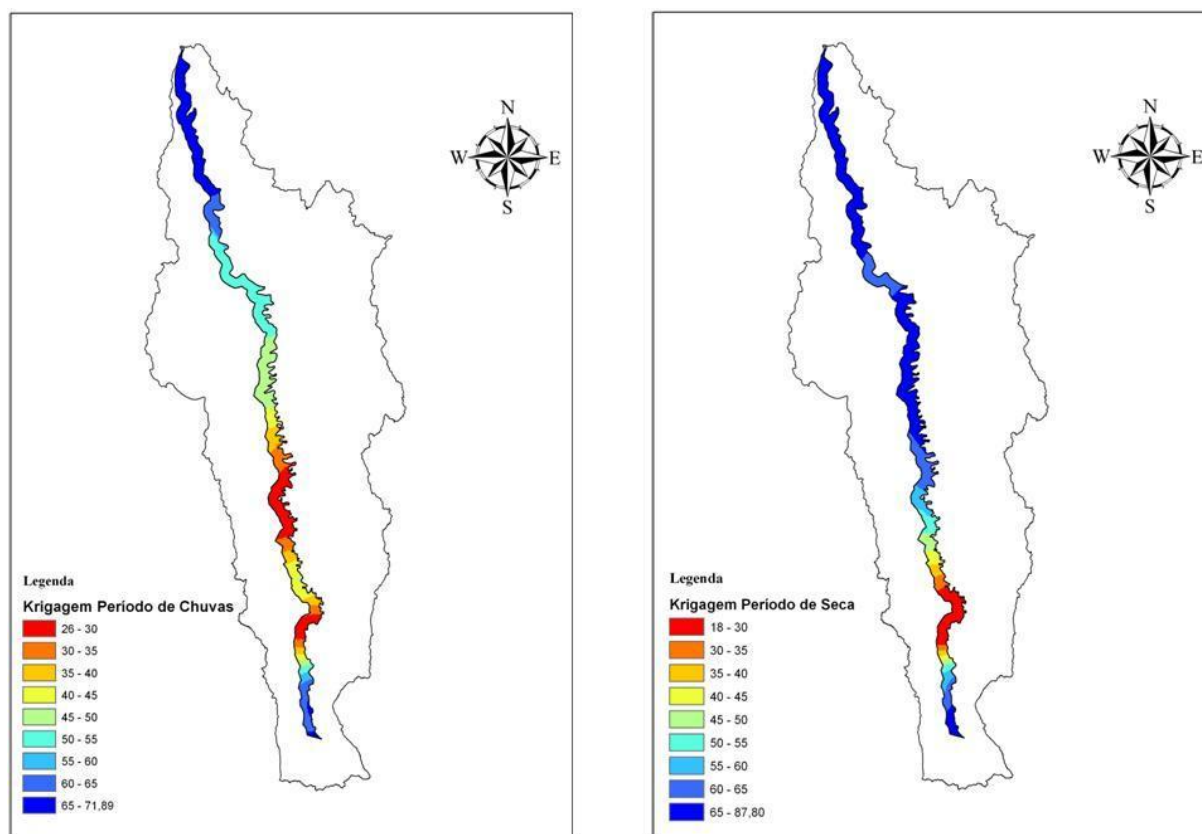


Figura 2 - Mapa de Krigagem do IQA nos períodos de chuvas e seca, para o Rio das Velhas.

Nota-se pelos mapas da Figura 2, que na região metropolitana de Belo Horizonte, a qualidade da água, aqui representada pelo IQA, concentra-se na faixa de 20 a 35, fato este que pode ser explicado por se tratar de uma região de alto índice industrial, contribuindo expressivamente para a degradação dos corpos de água, já que grande parte das indústrias não tem tratamento adequado para seus efluentes e resíduos sólidos gerados.

No médio e baixo Rio das Velhas a atividade agropecuária é mais expressiva, embora seja pouco significativa quanto à geração de receita, é responsável pelos processos de erosão da região, pois há um grande percentual de área mecanizada e pela utilização de insumos agrícolas, tais como fertilizantes e pesticidas. Em função deste fato, observa-se pelos mapas de krigagem (Figura 2), que nesta região, o IQA sofre uma melhoria acentuada no período de seca, fato este em virtude do baixo nível de escoamento superficial nesta época do ano, transportando sedimentos em menor quantidade para a calha do rio do que no período de chuvas.

Numa segunda abordagem, a krigagem foi realizada obedecendo as faixas do IQA proposto pelo IGAM, o que pode ser observado pela Figura 3.

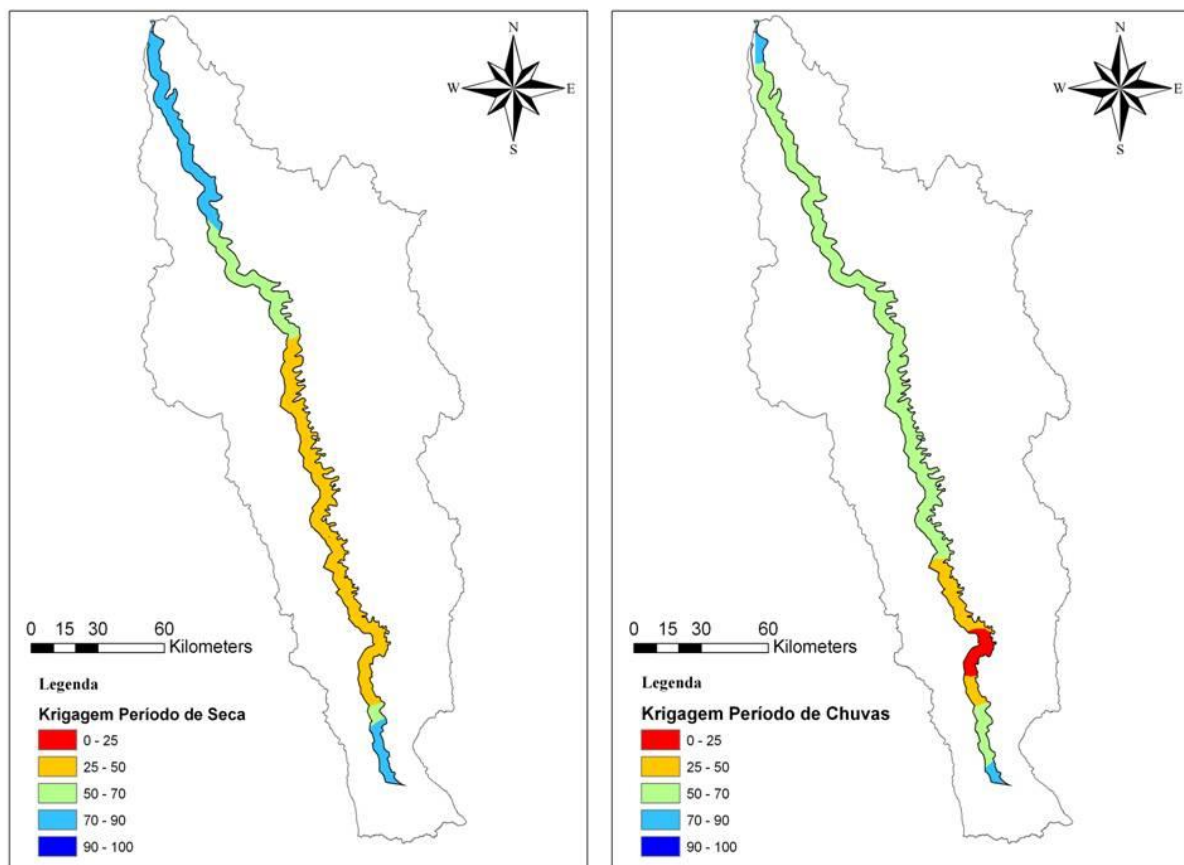


Figura 3 - Mapa de Krigagem do IQA para o Rio das Velhas, dentro das faixas estabelecidas pelo IGAM.

Pela Figura 3 observa-se que o IQA enquadra-se em ruim em quase toda sua extensão, com exceção no alto e baixo Rio das Velhas, onde o IQA apresenta-se em nível médio a bom. Cabe ressaltar, como discutido anteriormente, que no médio Rio das Velhas encontra-se a região metropolitana de Belo Horizonte, onde grande parte das indústrias não tem tratamento adequado para seus efluentes e resíduos sólidos gerados, contribuindo expressivamente para a degradação dos corpos de água.

CONCLUSÕES

- O modelo gaussiano foi o que melhor se ajustou aos dados de qualidade de água;
- Os modelos gerados nos dois período distintos apresentaram um grau de dependência espacial moderado, demonstrando que os valores de IQA possuem uma estrutura espacial.
- Erro médio gerado pela validação cruzada foi baixo, demonstrando o potencial da Krigagem geoestatística no mapeamento do IQA ao longo do rio.
- A geoestatística mostrou-se uma excelente ferramenta para o gerenciamento dos recursos hídricos na bacia hidrográfica do Rio das Velhas.

BIBLIOGRAFIA

- BROWN, P.M. *et al.* (1970). *A water quality index - do we dare?* Water & Sewage World, pp. 339-343.
- BURROUGH, P. A. (1987). *Principles of geographical information systems for land resources assessment*. Oxford, Clarendon Press. 193p.
- CASTRO JUNIOR, R.M.C.; BORTOLOTTI, F.,D. (2007). *Modelagem Geoestatística a partir de parâmetros de qualidade da água para a sub-bacia hidrográfica do Rio, Castelo (ES)*. Revista Brasileira de Cartografia No 59/03, Dezembro 2007. (ISSN 1808-0936). 241- 253p.
- GASTALDINI, M.C.C.; SEFFRIN, G.F.F.; PAZ, M.F. (2002). *Diagnóstico atual e previsão futura da qualidade das águas do Rio Ibicuí utilizando o modelo Qual2e*. Revista Engenharia Sanitária e Ambiental, Vol. 7 - Nº 3 - jul/set 2002 e Nº 4 - out/dez, pp. 129-138.
- HARMANCIOGLU, N.B. *et al.* (1998). *Water monitoring and network design*. The Hague: Kluwer Academic Publishers, pp.61-100.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. (2010). Disponível em < <http://www.ibge.gov.br/> >. Acesso em: 21 de maio de 2012.
- IGAM – INSTITUTO MINEIRO DE GESTÃO DAS ÁGUAS. (2005). Disponível em: <<http://www.igam.mg.gov.br/>>. Acesso em: 05 de maio de 2012.
- ISAAKS, E.H.; SRIVASTAVA, R.M. (1989). *Na introduction to applied geostatistics*. Oxford University Press, New York. 561 pp.
- MATHERON, G. (1971). *The theory of regionalized variables and its applications*. Les Cahiers du Centre de Morphologie Mathématique de Fontainebleu, Paris. 211p.
- MELLO, C. R., SILVA, A. M. *et al.* (2008). *Continuidade espacial de chuvas intensas no Estado de Minas Gerais*. Ciênc. agrotec., Lavras, v. 32, n. 2, p. 532-539, mar./abr.
- MELLO, J. M. *et al.* (2005). *Ajuste e seleção de modelos espaciais de semivariograma visando à estimativa volumétrica de Eucalyptus grandis*. Scientia Forestalis, Piracicaba, v. 1, n. 1, p. 25-37.
- MELLO, C. R. de. *et al.* (2003). *Krigagem e inverso do quadrado da distância para interpolação dos parâmetros da equação de chuvas intensas*. Revista Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa, v. 27, n. 5, p. 925-933, 2003a.
- ORTIZ, G.C. (2002). *Aplicação de métodos geoestatísticos para identificar a magnitude e a estrutura da variabilidade espacial de variáveis físicas do solo*. Piracicaba. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo. 75 pp.
- PINTO, D. B. F. (2007). *Qualidade dos recursos hídricos superficiais em sub-bacias hidrográficas da região Alto Rio Grande – MG*. 89 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Água e Solo) – Universidade Federal de Lavras, MG, Brasil.

TOLEDO, L.G.; NICOLELLA, G. (2002). *Water quality index for agricultural and urban watershed use*. Sci. agric. (Piracicaba, Braz.), Jan./Mar, vol.59, no.1, ISSN 0103-9016. pp.181-186.

VIEIRA, S. R. *et al.* (2002). *Handbook for geostatistical analysis of variability in soil and climate data*. In: NOVAIS, R. F.; SCHAEFER, C. E. G. R. (Eds.). Tópicos em ciência do solo. Viçosa: SBCS. v. 2, p. 1-46.