

VARIABILIDAD ESPACIAL DE LA CONCENTRACIÓN DE NITRATOS EN EL EMBALSE DE NOVA PONTE, MINAS GERAIS, BRASIL, POR MEDIO DE LA GEOESTADÍSTICA Y LOS SISTEMAS DE INFORMACIÓN GEOGRÁFICA - SIG

SPATIAL VARIABILITY OF NITRATE CONCENTRATION IN RESERVOIR NOVA PONTE, MINAS GERAIS, BRAZIL, USING GEOSTATISTICS AND GEOGRAPHIC INFORMATION SYSTEMS -GIS

Vieira, Eliane Maria¹; Santos, Nerilson Terra²; d'Almeida Duarte de Azevedo, Izabel Christina³; Fernandes Bezerra Neto, José⁴; Rodriguez Simão, Maria Lélia⁵; Pinto Coelho, Ricardo Motta⁶

Resumen

Las concentraciones de nitrógeno y de fósforo son importantes no solo para el monitoreo del estado trófico de los diferentes ecosistemas acuáticos sino también esos nutrientes se constituyen en parámetros esenciales para calcular la capacidad de soporte de esos sistemas para usos múltiples como la acuicultura practicada en jaulas. En este estudio hemos evaluado diferentes algoritmos de interpolación para determinar la variabilidad espacial de la concentración de nitratos en el embalse de Nova Ponte, Minas Gerais (MG), Brasil. Se trata de un embalse de cabecera, con características predominantemente oligotróficas y un alto tiempo de retención hidráulica. Los datos de concentración de nitratos se obtuvieron *in situ* por medio de una sonda multiparámetros YSI modelo 6920, en agosto de 2008, en un total de 59 puntos de muestreo distribuidos a lo largo de la represa. Para la verificación de la dependencia espacial se calculó la razón de dependencia (RD) obteniéndose un valor de 20,35 que mostró dependencia fuerte, por lo que se optó por Krigeaje. Fueron probados dos métodos de Krigeaje, el Krigeaje Ordinario y el Universal y evaluados por medio del error medio estandarizado de los valores predichos, del error cuadrático medio y del error cuadrático medio estandarizado. De los dos métodos probados el que presentó mejor desempeño estadístico fue el Krigeaje Ordinario. La concentración de nitrato fue espacializada para toda el área de estudio presentando una variación de 273 $\mu\text{g.l}^{-1}$ a 13,28 $\mu\text{g.l}^{-1}$ para la Krigeaje Univeral y de 277,76 $\mu\text{g.l}^{-1}$ a 16,19 $\mu\text{g.l}^{-1}$ para la Krigeaje Ordinario. Los resultados de ambos procedimientos de interpolación sugieren claramente la existencia de una "pluma" de contaminación por nitratos en las aguas subsuperficiales de la represa de Nova Ponte. El aporte de nitratos a la represa ocurre principalmente a través del Río Santo Antônio, donde es posible identificar un claro patrón espacial con concentraciones más elevadas de esa especie de nitrógeno inorgánico aguas arriba, en dirección a la ciudad de Patrocínio (MG). Ese patrón sugiere que tanto las fuentes difusas como la escorrentía de las actividades agrícolas y descargas puntuales de aguas negras aguas arriba de la ciudad, pueden estar impulsando esa contaminación por nitratos.

Palabras clave: Nitrato, geoestadística, SIG, Represa de Nova Ponte

Abstract

The concentrations of nitrogen and phosphorus are important not only for monitoring trophic status of various aquatic ecosystems but also those nutrients constitute essential parameters to calculate the bearing capacity of these systems for multiple uses such as aquaculture in cages. In this study we evaluated different interpolation algorithms to determine the spatial variability of nitrate concentration in the dam of Nova Ponte, Minas Gerais (MG), Brazil. It is a reservoir header with predominantly oligotrophic characteristics and a high hydraulic retention time. The nitrate concentration data were obtained *in situ* by a YSI multiparameter probe model 6920, in August 2008, a total of 59 sampling points distributed along the dam. For verification of spatial dependence was calculated dependency ratio (DR) obtained a value of 20.35 which showed strong dependence, so we opted for Kriging. Two methods were tested Kriging, the Universal Kriging and regular and evaluated using standard mean error of the predicted values, the mean square error and the mean square error standard. Of the two tested methods that presented best statistical performance was Ordinary Kriging. The nitrate concentration was spatialized for the study area presenting a variation of 273 $\mu\text{g.l}^{-1}$ to 13.28 $\mu\text{g.l}^{-1}$ for Univeral Kriging and 277.76 $\mu\text{g.l}^{-1}$ to 16.19 $\mu\text{g.l}^{-1}$ for Ordinary Kriging. The results of both interpolation methods clearly suggests the existence of a "plume" of contamination by nitrates in subsurface waters of the dam of Ponte Nova. The contribution of nitrate to the dam occurs mainly across the Rio Santo Antônio, where it is possible to identify a clear spatial pattern with higher concentrations of the inorganic nitrogen species upstream, towards the city of Sponsorship (MG). This pattern suggests that both diffuse sources such as runoff from agricultural activities and sewage discharge point upstream of the city, may be driving that nitrate pollution.

Key words: Nitrate, geostatistics, GIS, dam Ponte Nova

¹ Universidade Federal de Itajubá (UNIFEI). Brasil. E-mail: elianevieira@unifei.edu.br

² Universidade Federal de Viçosa (UFV). Brasil.

³ Universidade Federal de Viçosa (UFV). Brasil.

⁴ Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Brasil.

⁵ Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais (EPAMIG). Brasil.

⁶ Universidade Federal de Minas Gerais (UFMG). Brasil.

INTRODUCCIÓN

Una de las variables más importantes para estudiar la calidad de las aguas superficiales y subterráneas es la concentración de nitrato soluble, que es una de las principales formas en que se manifiesta el nitrógeno inorgánico en la naturaleza. Los niveles de nitratos son de gran importancia ecológica, especialmente teniendo en cuenta la capacidad de estos iones de acumularse en los ecosistemas, y también por sus efectos nocivos sobre la salud humana. Así los nitratos son considerados por el Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente - PNUMA (Geo-4, 2007) como una de las peores formas de la contaminación en aguas superficiales y subterráneas en todo el mundo.

Los diferentes tipos de nitrógeno inorgánico (nitratos, nitritos y amonio) se miden tradicionalmente por métodos espectrofotométricos (APHA, 1998). Sin embargo, más recientemente, surge la posibilidad de emplear sondas multiparámetros de tercera generación que son capaces de medir con precisión los nitratos. Este tipo de sondas además de permitir una programación para la toma de datos en horarios y profundidades determinadas permite también la sincronización de datos con sistemas de posicionamiento por satélite de alta precisión (D-GPS y estaciones topográficas).

En el caso de embalses, la importancia de la contaminación por nitratos está asociada principalmente con las actividades agropecuarias y la silvicultura intensiva que requieren gran cantidad de fertilizantes ricos en N, P y K. Estos nutrientes llegan a los embalses a través de fuentes difusas (escorrentía) o por fuentes puntuales (aguas residuales o efluentes industriales).

Los nitratos están asociados directamente con el potencial de eutrofización de masas de agua y también a las enfermedades causadas por este ión en los seres humanos como el cáncer de estómago (Zublena et al., 1993) y la metahemoglobinemia (Burakham et al., 2004) que, en los bebés se conoce como "síndrome del bebé azul" (Biswas et al., 2004).

El principal fenómeno que permite el arrastre de los nitratos utilizados en la agricultura a los cuerpos de agua es la lixiviación de nutrientes. Este proceso varía de acuerdo con las características físicas del suelo, como la textura, estructura, profundidad del perfil y principalmente la porosidad. Y atributos químicos, como capacidad para retener los iones y el pH (Santos et al., 2002).

El seguimiento de los nitratos es muy importante no solamente por cuestiones de salud humana, o del control de la eutrofización. Es a partir de la concentración de nitrato, que también se calcula la capacidad de carga de una superficie para el cultivo de peces en jaulas. Según Bhumbra (2009), el nivel de contaminación de cuerpos de agua debido a los nitratos del suelo que les rodean, depende directamente de la cantidad de nitratos presentes

o agregados al suelo, la permeabilidad del suelo, las condiciones climáticas (principalmente lluvias), la irrigación y la profundidad del nivel freático o acuíferos.

El arrastre de nitrato a las fuentes de agua se ve afectada también por otros dos factores relevantes: (1) la erosión, que aumenta la entrada de los fertilizantes y los desechos orgánicos en los cursos de agua, y (2) el desequilibrio entre las tasas de suministro de nitrato al suelo y la capacidad de la cobertura vegetal para absorber y asimilar los nutrientes, y convertirlos a formas orgánicas (Resende, 2002). Por lo tanto, la variabilidad espacial de la concentración de nitrato en un cuerpo de agua depende directamente de las condiciones físicas, químicas y biológicas de los suelos circundantes, de la cobertura vegetal de estos y de las condiciones climáticas, además de los factores hidrodinámicos del cuerpo de agua. Esta variabilidad puede ser demostrada mediante análisis de la concentración de nitratos en el agua en puntos de muestreo distribuidos a lo largo de todo el cuerpo de agua y mediante la interpolación de estos niveles para los demás sitios no muestreados.

Hay varios algoritmos implementados en los sistemas informáticos que agilizan el trabajo de interpolación de los niveles de la muestra, la exactitud de cada algoritmo depende del método de interpolación adoptado por este.

Al tener en cuenta el hecho de que siguen siendo muy escasos los estudios limnológicos en Brasil, específicamente en el tema de la contaminación por nitratos y que algunas zonas de la cuenca del embalse de Nova Ponte se ven afectados por la agricultura intensiva y la ganadería, el objetivo de este estudio fue obtener la variabilidad espacial de la concentración de nitratos para el embalse de Nova Ponte, MG, determinado el algoritmo que presente los mejores resultados, comparando diferentes métodos de interpolación.

METODOLOGÍA

El estudio se llevó a cabo en el embalse de Nova Ponte, ubicado en la cuenca del Alto Paranaíba, en el estado de Minas Gerais, Brasil (Figura 1). Está formado por los ríos Araguari y Quebra Anzol y sus tributarios y comprende los municipios de Iraí de Minas, Nova Ponte, Patrocínio, Pedrinópolis, Perdizes, Sacramento, Santa Juliana y Serra do Salitre.

Se trata de un embalse de cabecera, con características predominantemente oligotróficas y un alto tiempo de retención hidráulica. Almacena 12,8 mil millones de metros cúbicos de agua. La presa tiene 1600 metros de ancho y 141 metros de altura (CEMIG, 2007).

Para componer el límite del área de interpolación para la espacialización de la concentración de nitrato,

se utilizó una imagen Landsat/TM-5 de la represa, tomada en septiembre de 2007, que fue cedida por el *Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais* - INPE, de donde fue extraído el límite de la represa en plena capacidad de operación. Se empleó un Sistema de Información Geográfica (SIG) ArcGIS® 9.3, trabajando con una composición RGB-345 y el polígono del límite del espejo de agua de la represa fue digitalizado en pantalla.

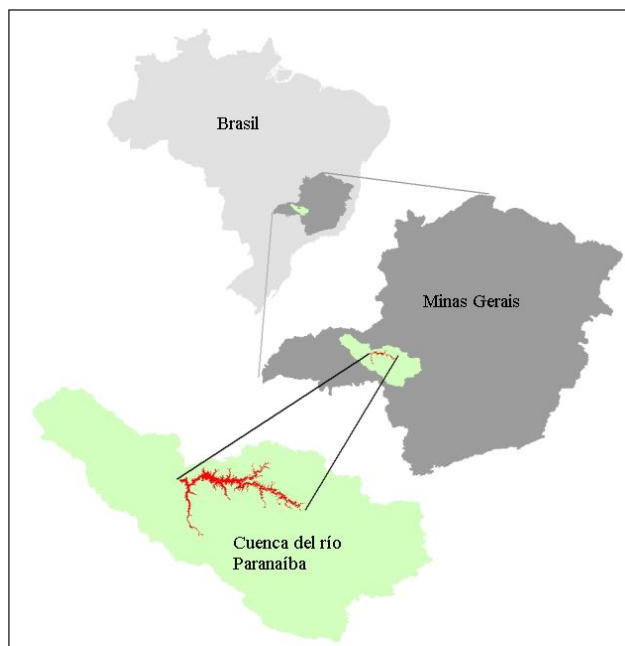


Figura 1. Localización de la Represa de Nova Ponte

Para la distribución espacial de los niveles de nitrato se utilizaron 59 puntos de muestreo en una campaña realizada en agosto de 2008, distribuidos a lo largo de toda la represa, obtenida por medio de una sonda YSI modelo 6920 y la ayuda de un DGPS para la obtención de las coordenadas de estos y la posterior espacialización de los mismos.

Además de los datos obtenidos con la sonda YSI 6920, se tomaron muestras con una botella muestreadora a 0,5 metros de profundidad. Estas muestras fueron filtradas al vacío el mismo día de la colecta usando filtros de fibra de vidrio de 47 mm de diámetro. Todas las muestras fueron congeladas inmediatamente y trasladadas al *Laboratório de Gestão Ambiental de Reservatórios* de la Universidade Federal de Minas Gerais - UFMG en Belo Horizonte, donde los nitratos se determinaron espectrofotométricamente después de ser reducidos a nitritos por el método de reducción usando el cadmio amalgamado como agente catalítico (APHA, 1998). La comparación de los datos obtenidos por los dos métodos fue necesaria sobre todo teniendo en cuenta que la sonda se calibró previamente a partir de las curvas de regresión hechas con los resultados generados por las dos metodologías. Así, en este artículo,

fueron utilizados los datos generados por la sonda YSI 6920.

Inicialmente, se evaluó la posibilidad de utilizar la geoestadística para elegir el algoritmo de interpolación. Así, se evaluó la dependencia espacial de las concentraciones a través del semivariograma estimado por la ecuación 1, condición esencial para el uso de estos análisis.

$$\gamma(h) = (1/2 N(h)) \sum \{ [Z(x_i + h) - Z(x_i)]^2 \} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde,

$\gamma(h)$ – semivarianza estimada para una distancia h ;

$N(h)$ - número de pares de valores $[Z(x_i), Z(x_i + h)]$ separados por un vector h ;

x_i – posición espacial de la variable Z , y

Z - valores de la variable estudiada.

Para la elaboración de este, fueron probados diferentes longitudes de *lag*, variando el número de estos, probándose el ángulo de dirección y la tolerancia, y asumiendo anisotropía. Para cada combinación de *lag* y el número de *lags* fueron probados los modelos circular, esférico y gaussiano.

Para la verificación de dependencia espacial se calculó una razón de dependencia (RD), que es una proporción en porcentaje del efecto pepita (C_0) en relación con la meseta total ($C_0 + C_1$), ecuación 2, y la evaluación de la dependencia se hizo de acuerdo a los niveles presentados por Cambardella et al. (1994), una dependencia fuerte para RD menores a 25%, dependencia moderada para RD entre el 25% y el 75% y dependencia débil para valores superiores al 75%.

$$RD = (C_0)/(C_0+C_1)* 100 \quad \text{Ecuación 2}$$

donde:

RD: razón de dependencia

C_0 : efecto pepita

$C_0 + C_1$: meseta total

El hallazgo de la dependencia espacial demostrada por el semivariograma permite estimar los valores para los sitios no muestreados utilizando un Krigeaje, sin sesgo y con una desviación mínima en relación con los valores conocidos, es decir, con una varianza mínima (Vieira et al., 2002).

Encontrada la dependencia espacial, fueron probados dos métodos de Krigeaje, el Krigeaje Ordinario y el Krigeaje Universal. Los métodos se evaluaron utilizando la media estandarizada (Standardized Mean) de los valores, el error cuadrático medio (Root-Mean-Square), el error promedio estándar (Average Standard Error) y el error cuadrático medio estandarizado (Root-Mean-Square Standardized).

Lo ideal sería tener una media estandarizada (Mean Standardized) de los valores predichos cercanos a "0", un error cuadrático medio (Root-Mean-Square) lo más bajo posible, un error promedio estándar (Average Standard Error) próximo al error cuadrático medio y un error cuadrático medio estandarizado (Root-Mean-Square Standardized) cercano a "1" (ESRI, 2008).

RESULTADOS

Fue obtenida una Imagen LANDSAT/TM-5 identificada por la órbita/punto 220/073 del 08/09/07 del INPE, utilizando las bandas RGB-345. El límite del espejo de agua de la represa fue elaborado por medio de la digitalización en pantalla empleando ArcGis 9.3® (Figura 2).

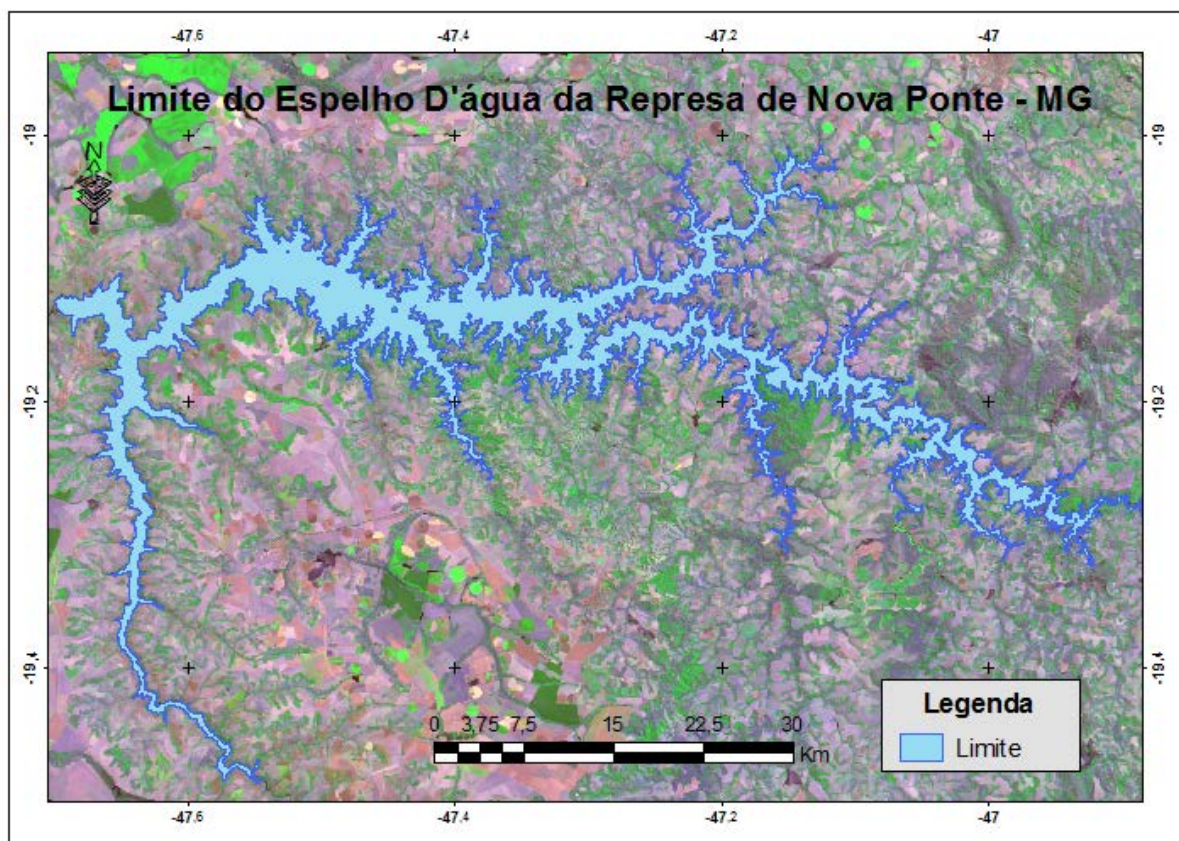


Figura 2. Límite de la superficie del agua de la represa

Para la elaboración del semivariograma fueron probados los *lag* de 2000 m, 3000 m, 4000 m, 5000 m, 6000 y 7000 m, con un número de *lags* variando de 7 a 10, adoptándose un ángulo de 90° con una tolerancia de 45° y asumiendo anisotropía. Para cada combinación de *lag* y número de *lags*, fueron probados los modelos circular, esférico y gaussiano.

El modelo que mejor se ajustó al semivariograma (Figura 3) fue el gaussiano con un *lag* de 4000 m, un número de *lag* de 7 y un ángulo de 90° grados con tolerancia de 45°, asumiendo anisotropía.

Se calculó la Razón de Dependencia (RD) para la verificación de la dependencia espacial, se obtuvo un valor de 905,19 para el efecto pepita (C0) y de 4447,99 para la meseta total (C0 + C1) fue 4447,99. Por lo que el valor de RD obtenido fue de 20,35, que según Cambardella et. al. (1994), puede ser considerado como un valor típico para una dependencia fuerte. Por lo tanto, podemos estimar los valores para los sitios no muestreadas utilizando el Krigeaje con varianza mínima (Vieira et. al., 2002).

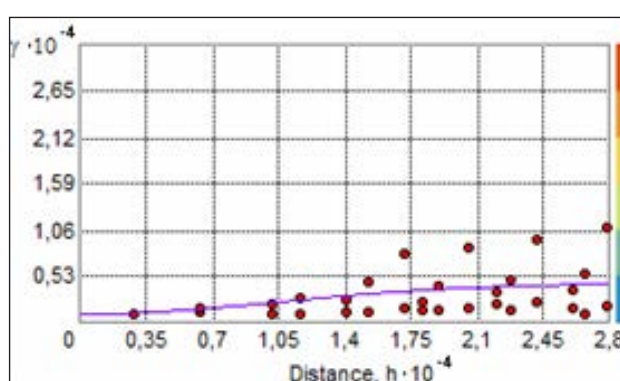


Figura 3. Semivariograma ajustado para la verificación de la dependencia espacial de los datos

Así, fueron probados dos métodos de Krigeaje, el Krigeaje Ordinario y el Krigeaje Universal, ajustando el modelo para cada uno de estos, y teniendo cuidado de limitar el radio de búsqueda del interpolador, ya que se trata de una represa conformada por dos ríos principales, donde los niveles de uno pueden no tener relación directa con los niveles encontrados en

el otro (excepto en el punto de confluencia y aguas arriba de este punto). Hemos adoptado una elipse de búsqueda con el semi-eje mayor de 10000 m y el semi-eje menor de 8000.

La variabilidad de un parámetro, obtenido por medio de puntos de muestreo, regularmente espaciados, en función de la distancia, se puede estimar mediante la comparación de muestras distribuidas en diferentes intervalos de separación entre ellos (llamados "lag" o h) y teniendo en cuenta la dirección (ángulo α).

Para los puntos de muestreo distribuidos irregularmente no es posible encontrar suficientes pares de muestras con exactamente la misma distancia h, esto puede ser evitado mediante la adopción de una tolerancia de distancia ($h \pm \Delta h$) y una tolerancia angular ($\Delta\alpha$). Así, en los análisis serán

consideradas todas las muestras que se encuentren dentro de un ángulo $\alpha \pm \Delta\alpha$, y las distancias $h \pm \Delta h$, cubriendo toda el área.

Para Krigeaje Ordinario fueron probados los modelos circular, esférico y gaussiano, siendo el gaussiano el que mejor se ajustó, con un lag de 4000, un número de lag de 7 y un ángulo de 90° , con tolerancia de 45° grados, asumiendo anisotropía. Y para el Krigeaje Universal fueron probados los mismos modelos y en este caso, también el modelo gaussiano fue el que mejor se ajustó, con un lag de 7000, un número de lag de 8 y un ángulo de $74,2^\circ$ con tolerancia de 45° grados, asumiendo anisotropía. Los datos fueron interpolados para toda el área de estudio como se muestra en las figuras 4a y 4b.

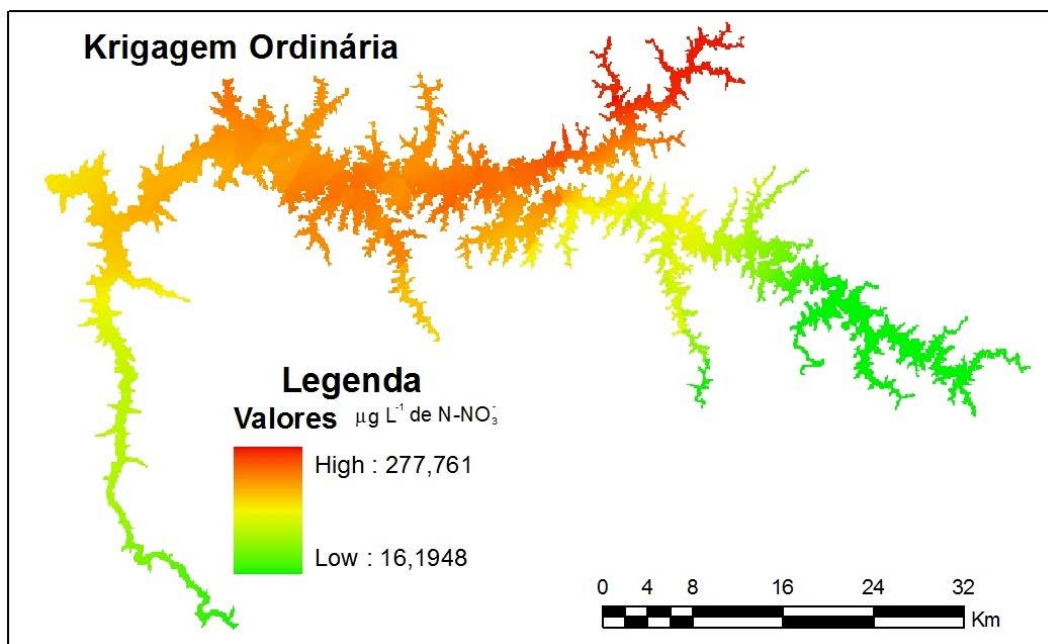


Figura 4a. Espacialización de los niveles de nitrato por el método de Krigeaje Ordinario

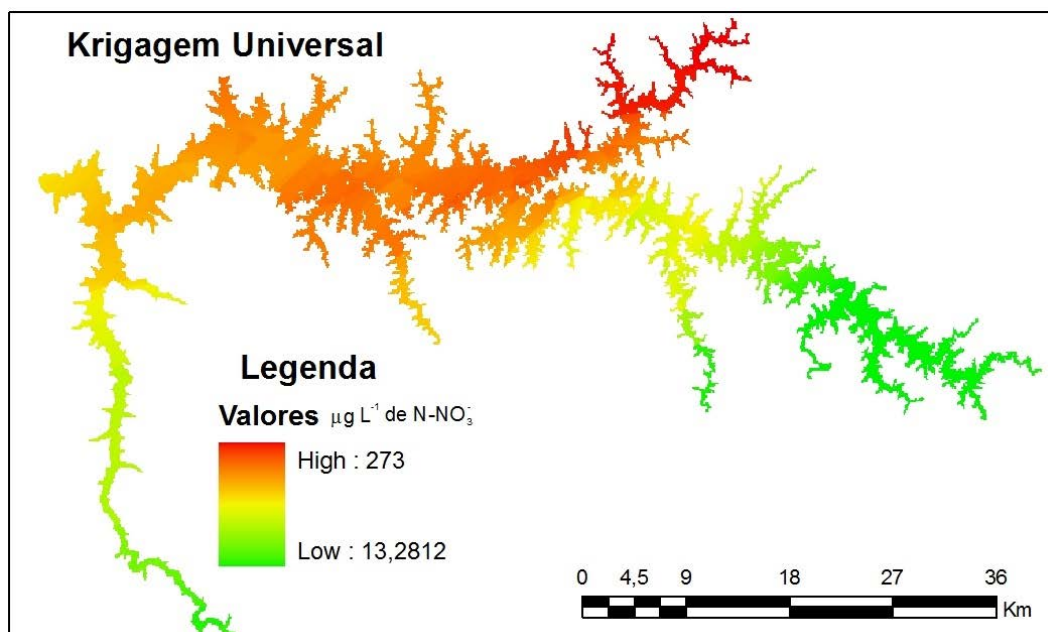


Figura 4b. Espacialización de los niveles de nitrato por el método de Krigeaje Universal

Para el método de Krigeaje Ordinario los niveles interpolados variaron de 277,76 $\mu\text{g.l}^{-1}$ a 16,19 $\mu\text{g.l}^{-1}$; y para el método de Krigeaje Universal los niveles oscilaron entre 273 $\mu\text{g.l}^{-1}$ y 13,28 $\mu\text{g.l}^{-1}$, teniendo este un rango de variación mayor que para el primer método empleado.

Aunque los valores interpolados para las células tienen diferentes (como se muestra por los valores máximos y mínimos de los mapas) no puede identificarse visualmente en las figuras 4a y 4b.

Se obtuvieron la media estandarizada-MS (Mean Standardized) de los valores predichos, los errores cuadráticos medios-RMS (Root-Mean-Square), los errores promedio estándar-ASE (Average Standard Error), y los errores cuadráticos medios estandarizados-RMSS (Root-Mean-Square Standardized), para los dos métodos de Krigeaje analizados como se muestra en la Tabla 1.

Tabla 1. Evaluación de los errores de los dos métodos de Krigeaje probados

	MS	RMS	ASE	RMSS
Krigeaje Ordinaria	- 0,004021	36,69	36,51	1,024
Krigeaje Universal	0,02398	36,68	37,39	0,9912

Analizando la tabla 1 puede verse que la media estandarizada del Krigeaje Ordinario está más cerca de "0" comparada con el Krigeaje Universal. Los dos métodos presentan un error cuadrático medio muy próximo (36,69 para el primero y 36,68 para el segundo), el error promedio estándar del Krigeaje Ordinario fue próximo del error cuadrático medio y el error cuadrático medio estandarizado también fue cercano a "1". Por lo tanto, el Krigeaje Ordinario presenta un mejor desempeño para la espacialización de la concentración de nitrato para la represa de Nova Ponte, comparado con el Krigeaje Universal.

CONCLUSIONES

Los resultados de ambos procedimientos de interpolación sugieren claramente la existencia de una "pluma" de contaminación por nitratos en las aguas subsuperficiales de la represa de Nova Ponte. El aporte de nitratos a la represa ocurre principalmente a través del Río Santo Antônio, donde es posible identificar un claro patrón espacial con concentraciones más elevadas de esa especie de nitrógeno inorgánico aguas arriba, en dirección a la ciudad de Patrocínio (MG). Ese patrón sugiere que tanto las fuentes difusas como la escorrentía de las actividades agrícolas y descargas puntuales de aguas negras aguas arriba de la ciudad, pueden estar impulsando esa contaminación por nitratos.

Si bien los datos sobre los que esta investigación se basó fueron colectados durante la estación seca, cuando hay una gran estabilización de los patrones espaciales de la represa y no hay ocurrencia de grandes precipitaciones, es importante destacar que se requieren investigaciones adicionales que permitan comprobar la persistencia o incluso la intensificación de esa pluma de nitratos en la represa.

Otro hecho importante a considerar es que pese a que la represa de Nova Ponte todavía se considera un embalse oligotrófico, los datos aquí presentados no dejan ninguna duda de que la represa se encuentra en una fase importante de eutrofización. Esta situación impone un cambio de estrategias de los gestores ambientales responsables para los programas de vigilancia ambiental y recuperación del lago en el sentido de promover cuanto antes una zonificación de las actividades agropecuarias así como una precisa identificación de las fuentes puntuales de contaminación por nutrientes especialmente en el brazo del Río Santo Antônio.

AGRADECIMIENTOS

A Fundação de Amparo à Pesquisa do estado de Minas Gerais - FAPEMIG por el apoyo financiero en el desarrollo del proyecto "Delimitación de parques acuícolas y estimación de la capacidad de soporte de la represa de Nova Ponte -Minas Gerais" al cual este trabajo esta vinculado. A Empresa de Pesquisa Agropecuária de Minas Gerais-EPAMIG por la gestión y apoyo logístico y estructural para el desarrollo del proyecto.

A FAPEMIG por la concesión de incentivos de investigación.

REFERENCIAS

- APHA, 1998. *Standard Methods for the Examination of Water and Wastewater*. American Public Health Association (APHA), American Water Works Association (AWWA), Water Environment Federation (WEF). Washington. 20th Edition.
- BISWAS, S.; CHOWDHURY, B.; RAY, B. C.. 2004. A Novel Espectrofluorimetric Method for the Ultra Trace Analysis of Nitrite and Nitrate in Aqueous Medium and its Application to Air, Water, Soil and Forensic Samples. *Talanta*, n. 64, 308 p.
- BHUMBLA, D. K. 2009. Agriculture practices and nitrate pollution of water. 14/07/2009. <http://www.caf.wvu.edu/~forage/nitratepollution/nitrate.htm>.
- BURAKHAM, R.; OSHIMA, M.; GRUDPAN, K.; MOTOMIZU, S.. 2004. Simple Flow-Injection System for the Simultaneous Determination of Nitrite and Nitrate in Water Sample. *Talanta*, Thailand, n. 64, p. 1259.

- CAMBARDELLA, C. A.; MOORMAN, T. B.; NOVAK, J. M.; PARKIN, T. B.; KARLEN, D. L.; TURCO, R. F & KONOPKA, A. E. 1994. Field scale variability of soil properties in Central Iowa soils. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 58 : 1501-1511.
- CEMIG. 2007. 19/10/2007. <http://www.cemig.com.br/>.
- ESRI. 2008. ArcGIS Geostatistical Analyst Tutorial. ESRI, New York Street, Redlands, USA.42p.
- PNUMA. 2007. Perspectivas del Medio Ambiente Mundial. GEO4, médio ambiente para el desarrollo. Programa de las Naciones Unidas para el Medio Ambiente. ISBN: 978-92-807-2838-5. 574p.
- RESENDE, A. V. 2002. Agricultura e qualidade da água: contaminação da água por nitrato. Planaltina: Embrapa Cerrados. ISSN 1517 – 5111; n. 57. 29p.
- SANTOS, A. B.; FAGERIA, N. K.; ZIMMERMANN, F. J. P.. 2002. Atributos químicos do solo afetado pelo manejo da água e do fertilizante potássico na cultura de arroz irrigado. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campinas Grande, v.6, n.1, 12-16.
- VIEIRA, S. R.; MILLETE, J.; TOPP, G. C. & REYNOLDS, W. D. 2002. Handbook for Geostatistical analysis of variability in soil and climate data. In: Alvarez, V. H.; Schaefer, C. E. G. R.; Barros, N. F.; Mello, J. W. V. & Costa, L. M.. *Tópicos em ciência do solo 2*. Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, Viçosa. 1-45.
- ZUBLENA, J. P.; COOK, M. G.; ST CLAIR, M. B. 1993. Pollutants in groundwater: health effects. North Carolina Cooperative Extension Service. Publication AG-439-14. 14/07/2009. <http://www.soil.ncsu.edu/publications/Soilfacts/AG-439-14>.