

DISTRIBUIÇÃO ESPACIAL DE METAIS TRAÇO NO MUNICÍPIO DE MADRE DE DEUS, BAHIA

Henrique Cesar Pereira Assumpção¹
Gisele Mara Hadlich²
José Martin Ucha³

¹ Graduando em Geologia, Instituto de Geociências – IGEO, Universidade Federal da Bahia – UFBA. E-mail: henri2ue@gmail.com

² Eng. Agrônoma, Dr^a Geografia. Prof^a Adjunto do Depto. de Geoquímica, IGEO/UFBA. E-mail: gisele@ufba.br

³ Eng. Agrônomo, Dr. Geologia Costeira e Sedimentar. Prof. do Depto. Ciências Aplicadas, Instituto Federal de Educação, Ciência e Tecnologia da Bahia – IFBA. E-mail: ucha@ifba.edu.br

RESUMO. O objetivo deste trabalho é representar espacialmente a distribuição de metais traço em solos de encosta, apicuns e manguezais no município de Madre de Deus, utilizando técnicas geoestatísticas. A metodologia utilizada para a realização desta pesquisa envolveu além da revisão de literatura, a obtenção de dados de metais traço (Cu, Zn, e Cr) extraídos parcialmente de amostras superficiais de solos e de sedimentos coletados em campo. Também foram determinados o pH e a salinidade. Para cada variável foram geradas isolinhas sobre uma imagem da porção norte do município de Madre de Deus, facilitando assim a observação das concentrações dos elementos analisados sobre a área de estudo. Observou-se que a localidade onde está inserida a Fábrica de Asfalto possui maiores valores de metais traço nos solos, bem como nos manguezais, o que pode estar associado também à circulação da água na foz do rio Subaé. Verificou-se que a krigagem ordinária é eficaz na espacialização de dados geoquímicos em diferentes ambientes.

Palavras-chave: manguezal, apicum, krigagem ordinária, metais traço.

ABSTRACT. *Spatial distribution of trace metals in the municipality of Madre de Deus, Bahia State, Brazil.* This study aims to represent the spatial distribution of trace metals in soils of the hillsides, saltflats near mangroves (“apicuns”), and mangroves in the municipality of Madre de Deus, Bahia State, using geostatistics techniques. The methodology used for this research involved beyond the literature review, to obtain data for trace metals (Cu, Zn, and Cr), extracted from surface samples soils and sediments collected in the field who were determined using the technique partial extraction. Were also determined the pH and salinity. For each variable were generated contours over a Madre de Deus image, thus facilitating the observation of element concentrations analyzed over the study area. Through the results it was possible to identify the Fábrica de Asfalto as the likely responsible for the inclusion of contaminants in the Madre de Deus west area and proved that ordinary kriging is very effective on the spatial distribution of geochemical data in different environments and has proven quite effective to identify some factors that contribute to the trace metals concentration in the study area.

Keywords: mangrove, saltflat, ordinary kriging, trace metals.

INTRODUÇÃO

O presente trabalho tem como objetivo avaliar a disponibilidade de metais traço (Cu, Cr, e Zn) e representar sua distribuição espacial em diferentes ambientes (encostas, apicuns e manguezais) do município de Madre de Deus, localizado na porção norte da Baía de Todos os Santos (BTS), uma região que sofre constantes agressões ao meio ambiente. A BTS é a maior baía navegável do Brasil. Com aproximadamente 1.233 km² de área, sua orla é recoberta por extensos manguezais e apicuns que ocupam, respectivamente, 177,6 km² e 10,7 km² no seu entorno (HADLICH; UCHA, 2008), e variações geoquímicas nesses ambientes, sobretudo nos manguezais que são predominantemente redutores, são consideradas indicativos de qualidade ambiental.

O manguezal é um ecossistema que se desenvolve em zonas litorâneas tropicais, associado a terrenos baixos, planos e regiões estuarinas, às margens de lagunas ou ao longo de rios e canais naturais, em áreas encharcadas, salobras e calmas, com influência das marés; porém, não são atingidos pela ação direta das ondas. Por estar localizada em áreas em que a força das marés é branda e a velocidade das correntes é baixa, esse ambiente é importante tanto pela sua relevância ecológica como pelas atividades de mariscagem desenvolvidas por comunidades próximas, e está incluído entre as Zonas Úmidas definidas pela Convenção de Ramsar, da qual o Brasil é signatário, reconhecendo-as como recurso de grande valor econômico, cultural, científico e recreativo, cuja perda seria irreparável (SCHAEFFER-NOVELLI, 1999).

Os apicuns são áreas planas de elevada salinidade, localizadas na região de supramaré e desprovidas de vegetação (apicuns propriamente ditos) ou com vegetação rasa (apicuns herbáceos). O desenvolvimento vegetal é limitado pela salinidade excessiva que ultrapassa até mesmo o limite suportado pelas espécies de mangue. Os apicuns ocorrem em regiões com clima com regime de precipitação que comporta uma estação seca de, aproximadamente, três meses; estão necessariamente associados a manguezais e são encontrados nas regiões intertropicais em todo o mundo (LEBIGRE, 2007; HADLICH et al., 2008).

A montante dos apicuns ou manguezais, nas encostas, são encontrados solos geralmente não hidromórficos. Na BTS predominam os Argissolos de caráter ácido e muitas vezes bastante erodidos.

Os metais que se encontram em solos e sedimentos estão inseridos em ambientes que sofrem possíveis alterações podendo, por sua vez, modificar a distribuição destas espécies nas frações geoquímicas mais específicas, ocasionando, por exemplo, uma mobilização dos metais da fase sólida para fase líquida, favorecendo uma possível contaminação da água ao seu redor (MUNIZ et al., 1996). A origem desses elementos pode ser tanto natural, através do intemperismo das rochas, como antropogênica, através de atividades industriais, esgotamento sanitário, agricultura e mineração. Essas atividades antropogênicas, que estão relacionadas aos interesses econômicos, contribuem para a acumulação de poluentes nas camadas superiores de solos e sedimentos, tornando-se fontes de poluição. Desse modo, estes poluentes podem gerar uma perturbação no ambiente causando, inclusive, efeitos adversos na saúde humana (GLEYZES et al., 2002).

A geoestatística leva em consideração a localização geográfica e a dependência espacial dos elementos que são analisados, sendo uma ciência derivada da estatística clássica e abordada como tópico que faz parte da estatística aplicada. A principal diferença entre a estatística clássica e a geoestatística reside no fato de que a segunda analisa variáveis regionalizadas, ou seja, variáveis que apresentam uma dependência espacial.

De uma forma geral, a técnica geoestatística procura extrair, de uma aparente aleatoriedade dos dados coletados, as características estruturais probabilísticas do fenômeno regionalizado, ou seja, uma função de correlação entre os valores situados numa determinada vizinhança e direção no espaço amostrado. O método de estimativa básico utilizado, que usa a técnica de interpolação espacial, é o da krigagem. Trata-se de um processo de estimativa por médias móveis, de valores de variáveis, distribuídas no espaço a partir de valores

adjacentes, considerados como interdependentes por uma função denominada variograma. Como no cálculo dessa função a somatória de diferenças ao quadrado é dividida por 2, a denominação correta seria semivariograma, porém o emprego do termo variograma está consagrado (LOURENÇO; LANDIM, 2005). Dentre os vários tipos de krigagem, a ordinária tem sido a mais indicada na aplicação em análises com dados físico-químicos obtidos de sedimentos (YIN *et al.*, 2009).

A área de estudo

No entorno da BTS havia, em 2010, um contingente populacional superior a três milhões de habitantes (IBGE, 2010).

Madre de Deus localiza-se na porção norte da BTS (Figura 1). O município está localizado em uma ilha, cuja ligação ao continente se dá por uma ponte construída no fim da década de 1950 com a criação do terminal marítimo da Petrobras, o TEMADRE.

A região de Madre de Deus, bem como toda a parte norte-nordeste da BTS, abriga uma área que vem sofrendo grandes impactos ambientais devido à atividade industrial que ocorre nessa região. A presença de elementos contaminantes na BTS, inclusive metais em sedimentos, tem sido estudado por diversos pesquisadores, principalmente Cu, Zn, Pb, Mn e Cd (PESO-AGUIAR et al., 2000; ANJOS, 2003; ONOFRE et al., 2007; CELINO et al., 2008; BOAVENTURA, 2011; JESUS, 2011). Nenhum destes, porém, focou analisar a distribuição espacial da contaminação de forma a verificar se há dependência espacial dos teores de contaminantes encontrados.

Na Avaliação da Qualidade das Águas realizada pelo Governo do Estado da Bahia foi evidenciado o comprometimento da BTS no que diz respeito a indícios de contaminação por metais, sendo destacados o Cu, o Zn e o Pb em proximidades de Mataripe, município de Madre de Deus. Na Baía de Aratu e na foz do Rio Subaé também foram encontrados, respectivamente, indícios de contaminação por Cr^{+6} e contaminação sanitária (BAHIA, 2000).

METODOLOGIA

A metodologia utilizada para a realização desta pesquisa envolveu, além da revisão de literatura, a obtenção de dados de metais traço nos ambientes estudados e, posteriormente, a aplicação da geoestatística para análise da distribuição espacial dos dados. Os trabalhos podem ser descritos em diferentes etapas contemplando campo, laboratório e trabalho em escritório.

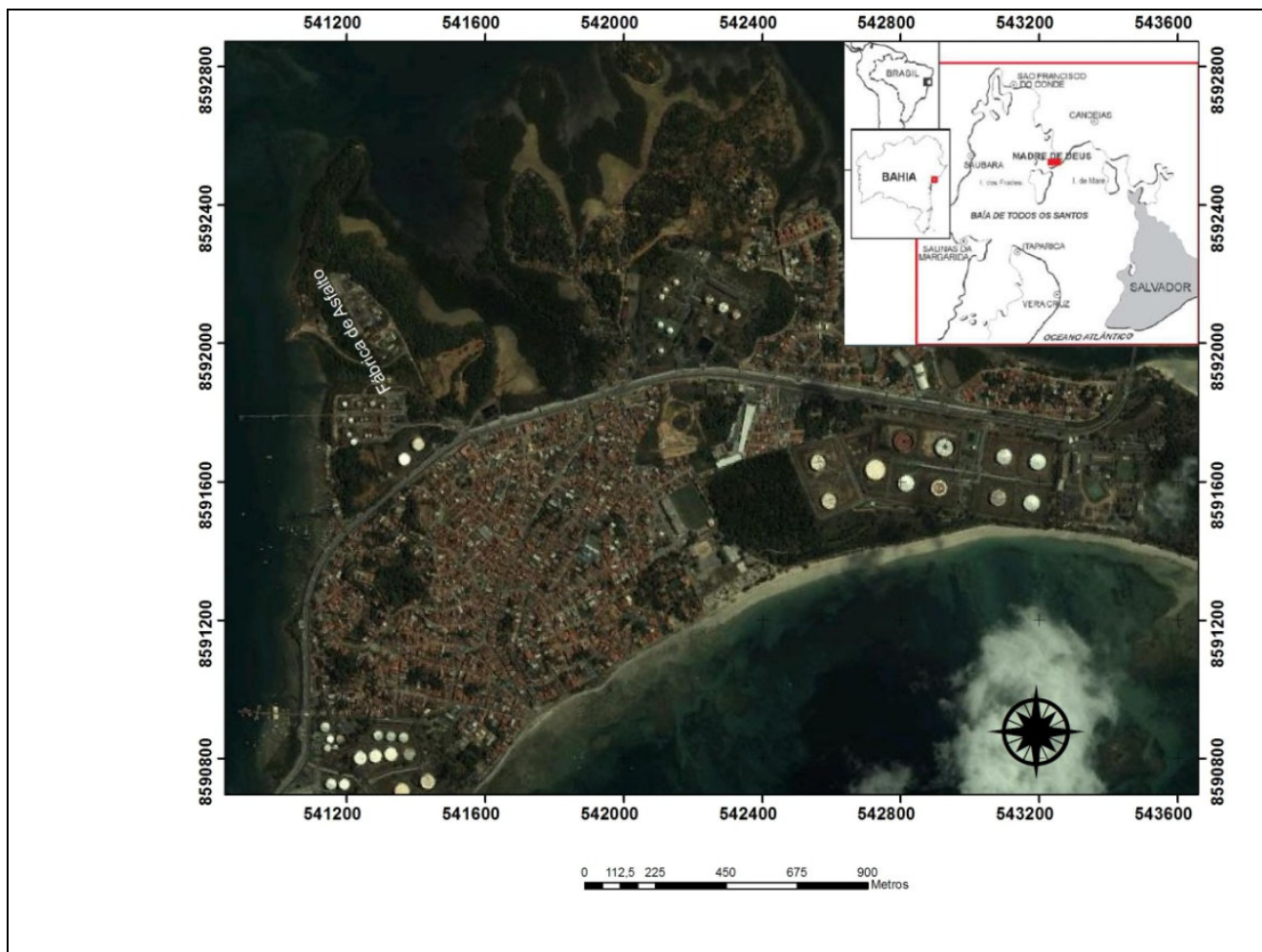


Figura 1. Localização da região de Madre de Deus (adaptado de GoogleEarth, 2011).

Na fase de campo, realizada em período seco (jan/2010), foram coletadas 45 amostras envolvendo os três ambientes estudados. A campanha de coleta foi realizada utilizando um GPS acoplado a uma câmera fotográfica (Marca Ricoh, modelo Caplio 500SE) para registrar as coordenadas de cada ponto coletado.

As amostras foram coletadas em superfície (0-8 cm de profundidade) com colheres plásticas previamente lavadas e ambientadas. Antes da coleta foi retirado o material superficial que se encontrava solto, como folhas, cascalhos ou outros materiais. As amostras (cerca de 500 g) foram colocadas em sacos plásticos com etiquetas, tomando-se cuidado para que nenhum espaço de ar permanecesse dentro do saco, minimizando a oxidação dos sedimentos, e depois acondicionadas em isopor com gelo para manter as amostras sob condições refrigeradas. Estas amostras foram encaminhadas para o Laboratório de Estudos Ambientais – LEA/IGEO/UFBA.

Na etapa do laboratório as amostras foram congeladas e liofilizadas. Em seguida passaram por um pré-tratamento que consistiu na

maceração, peneiramento com a malha de 2 mm e catação de objetos estranhos na amostra, como fragmentos de folhas, galhos ou conchas.

Todas as amostras foram analisadas segundo os parâmetros abaixo citados e que incluem parâmetros físico-químicos e extração parcial de metais. Para um controle da qualidade nas análises citadas foram realizadas duplicatas (20% do total das amostras) e triplicatas (10% do total das amostras), além do branco.

O pH foi determinado no laboratório com a utilização de sonda (marca Horiba pH / COND METER, modelo D-54), seguindo metodologia da Embrapa (1999).

A salinidade foi verificada com auxílio de um refratômetro portátil, com valor máximo de 100.

Para determinação do teor de metais (Cu, Zn e Cr) foi realizada extração parcial das amostras em forno microondas utilizando ácido nítrico (HNO_3 50%) (ASTM, 1996). Os reagentes possuíam pureza analítica. Após filtração do digerido, as amostras foram lidas utilizando Espectrometria de Absorção Atômica com Chama. A leitura foi realizada no espectrofotômetro modelo Varian

Cary 50 Probe (absorbância em 324,7 nm, 213,9 nm e 357,9 nm para o Cu, Zn e Cr, respectivamente).

A partir dos resultados obtidos com as análises químicas, criou-se um banco de dados (BD_MadreDeus) através do programa de computador Microsoft Excel contendo, para cada ponto amostrado, o dado espacial (coordenadas UTM) e as variáveis analisadas. Posteriormente estes dados foram transferidos para o programa ArcGis, para a espacialização dos parâmetros acima descritos. Para a imagem base, usou-se a imagem do *Google Earth*, que foi georreferenciada no ArcGis 10.

Neste estudo foram aplicadas algumas das ferramentas de geoestatística do módulo *Geostatistical Analyst* do sistema de informações geográficas ArcGIS 10. De forma genérica pode-se enumerar as etapas para aplicação das técnicas geoestatísticas a um determinado conjunto de dados, com a seguinte seqüência de procedimentos: análise exploratória; geração e análise do semivariograma; krigagem; validação cruzada.

Na etapa de Análise Exploratória da variabilidade espacial do conjunto de dados, realizada através do módulo *Geostatistical Analyst* do ArcGIS, fez-se a verificação das medidas estatísticas e matemáticas dos dados visando melhorar a eficiência da etapa inicial (análise estatística), servindo de suporte à análise espacial através da identificação de valores discrepantes e da remoção de tendências.

No presente estudo, foram estabelecidos diferentes modelos de semivariogramas para os metais traço e demais parâmetros analisados. A cada parâmetro buscou-se o modelo mais apropriado.

Os processamentos de krigagem, neste estudo foram realizados utilizando a extensão *Geostatistical Analyst*.

Na etapa de Validação Cruzada foram realizados os testes para avaliar o grau de incerteza associado aos parâmetros analisados, avaliando assim 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 dos parâmetros analisados e dos parâmetros individualizados dos pontos amostrados, sendo em seguida comparados aos novos valores dos dados medidos. Os gráficos do erro padrão denotam a qualidade da krigagem, sendo que os mais confiáveis possuem valores de erro próximos a zero.

Depois da imagem gerada, utilizou-se a ferramenta *3d Analyst*, do ArcGis 10, para a geração de isolinhas (*contour*), que foi sobreposta a imagem do *Google Earth* georreferenciada.

RESULTADOS

A seguir são apresentados os resultados das análises geoestatística para cada parâmetro analisado.

pH

Para a geração do semivariograma do pH (Figura 2a) utilizou-se o modelo exponencial, com um alcance máximo de 111,884m, sem anisotropia. O gráfico do erro padrão da krigagem gerada a partir desse semivariograma é observado na figura 2b.

O pH apresentou menores valores nas encostas, pois trata-se de ambientes com solos naturalmente ácidos e que não recebem nenhum tipo de correção do solo. Assim, as encostas diferenciam-se dos demais ambientes, como mostra a figura 2c.

Salinidade

O semivariograma da salinidade (Figura 3a) foi gerado utilizando o modelo exponencial, com um alcance máximo de 368,64m, sem anisotropia. O gráfico de erro, feito na etapa de validação cruzada, está representado pela figura 3b.

A imagem gerada (Figura 3c), com as isolinhas distribuídas por Madre de Deus, confirma a relação existente entre os apicuns e a salinidade elevada, individualizando esse ambiente dos demais, confirmando ser esse o melhor parâmetro físico-químico para individualização dessas áreas.

Analisando a imagem, observa-se também que, além dos apicuns, as encostas também foram bem individualizadas, apresentando uma variação de salinidade em torno de 0 (zero).

Cobre – Cu

O semivariograma para o elemento Cu (Figura 4a) foi gerado a partir de um modelo exponencial, com um alcance máximo de 419,12 m. O gráfico do erro associado à krigagem realizada está representado na figura 4b.

As isolinhas geradas a partir da aplicação do método da krigagem (Figura 4c) demonstram uma alta concentração de Cu nas imediações da Fábrica de Asfalto situada na parte noroeste de Madre de Deus. É importante também observar que toda a área oeste de Madre de Deus encontra-se com concentrações de Cu acima dos 10 mg Kg^{-1} , principalmente nas encostas, onde os índices de concentrações de Cu apresentam valores maiores do que 34 mg Kg^{-1} .

A Fábrica de Asfalto pode ser a fonte primária da contaminação por Cu e, secundariamente, o rio Subaé para os manguezais.

Cromo - Cr

O variograma gerado para o metal Cr (Figura 5a) apresenta um alcance máximo de 445,78m. Após efetuar o método da krigagem, foi efetuada

a sua validação com a geração de um gráfico de erro padrão (Figura 5b).

Assim como o cobre, os maiores teores de Cr estão concentrados a noroeste de Madre de Deus e perto da Fábrica de Asfalto (Figura 5c). Os manguezais apresentam teores moderados. As

regiões onde se concentram os maiores teores de CO apresentam também as maiores concentrações de Cu e Cr. Porém, diferente do Cu, o Cr apresenta uma concentração nos manguezais na região leste, chegando a atingir $10,5 \text{ mg Kg}^{-1}$.

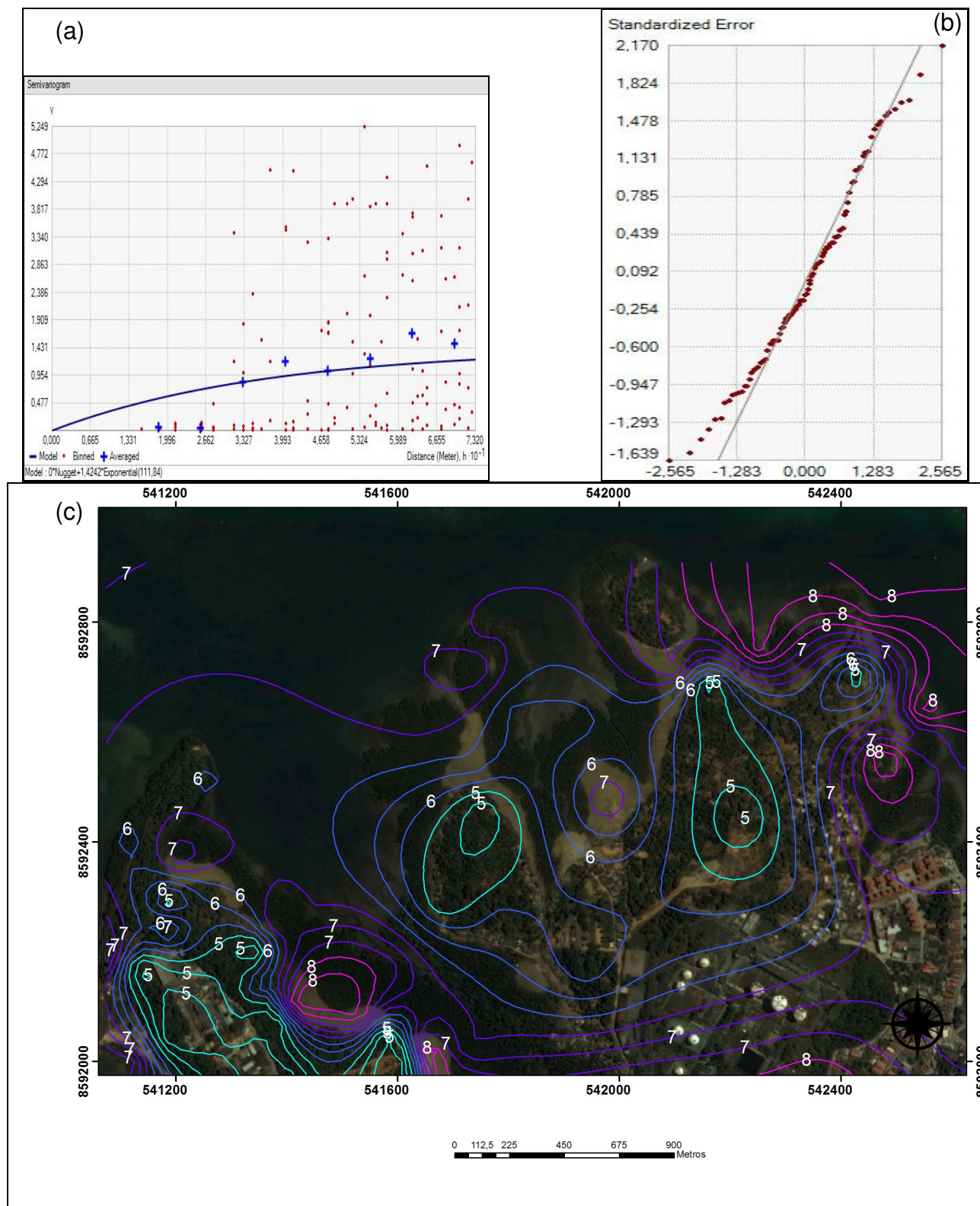


Figura 2. Gráficos gerados (a) do semivariograma e (b) do erro padrão associado à krigagem aplicada ao parâmetro pH; (c) isolinhas dos valores de pH.

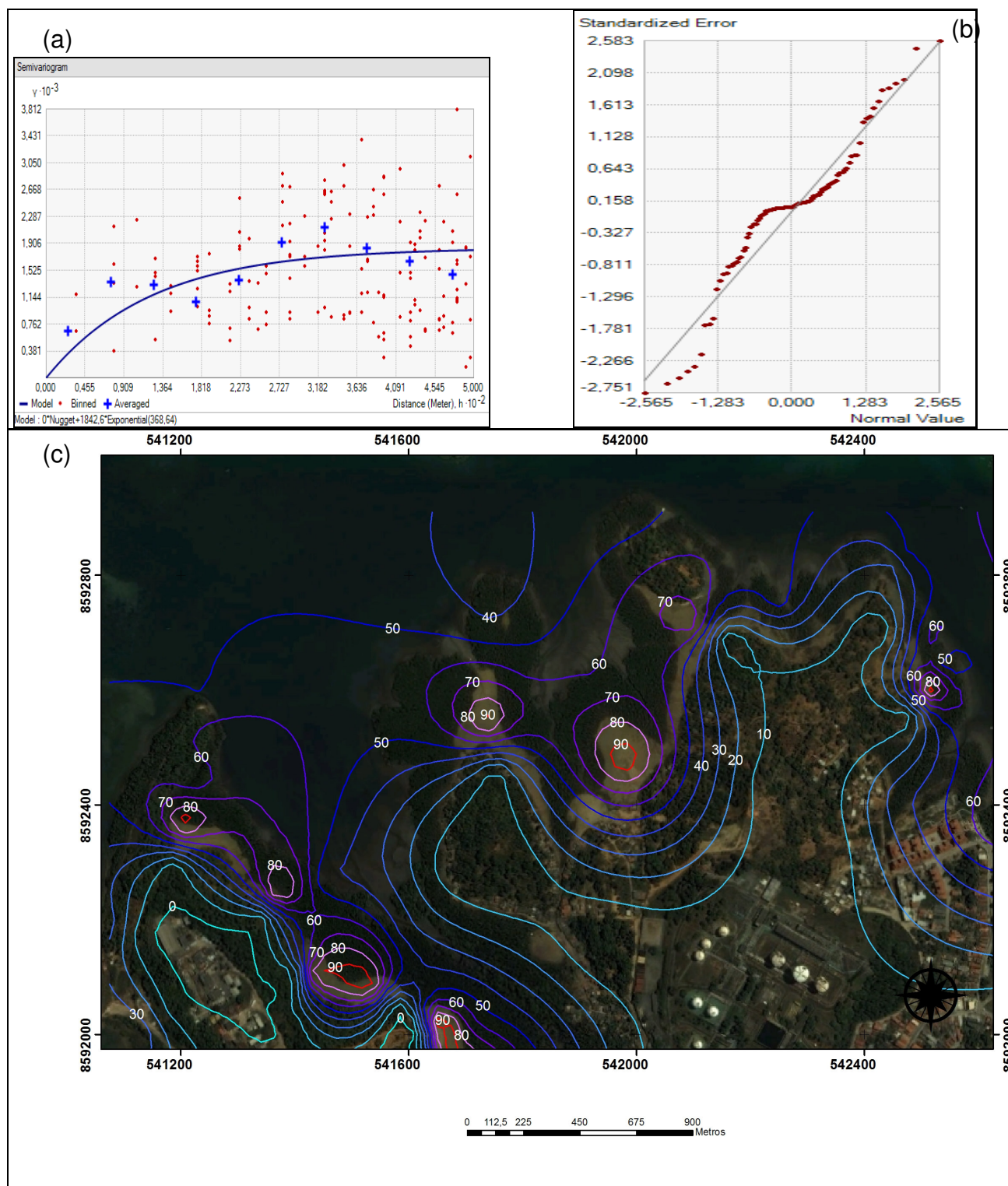


Figura 3. Gráficos gerados do semivariograma (a) e do erro padrão (b) associado a krigagem aplicada ao parâmetro salinidade; (c) isolinhas dos valores de Salinidade.

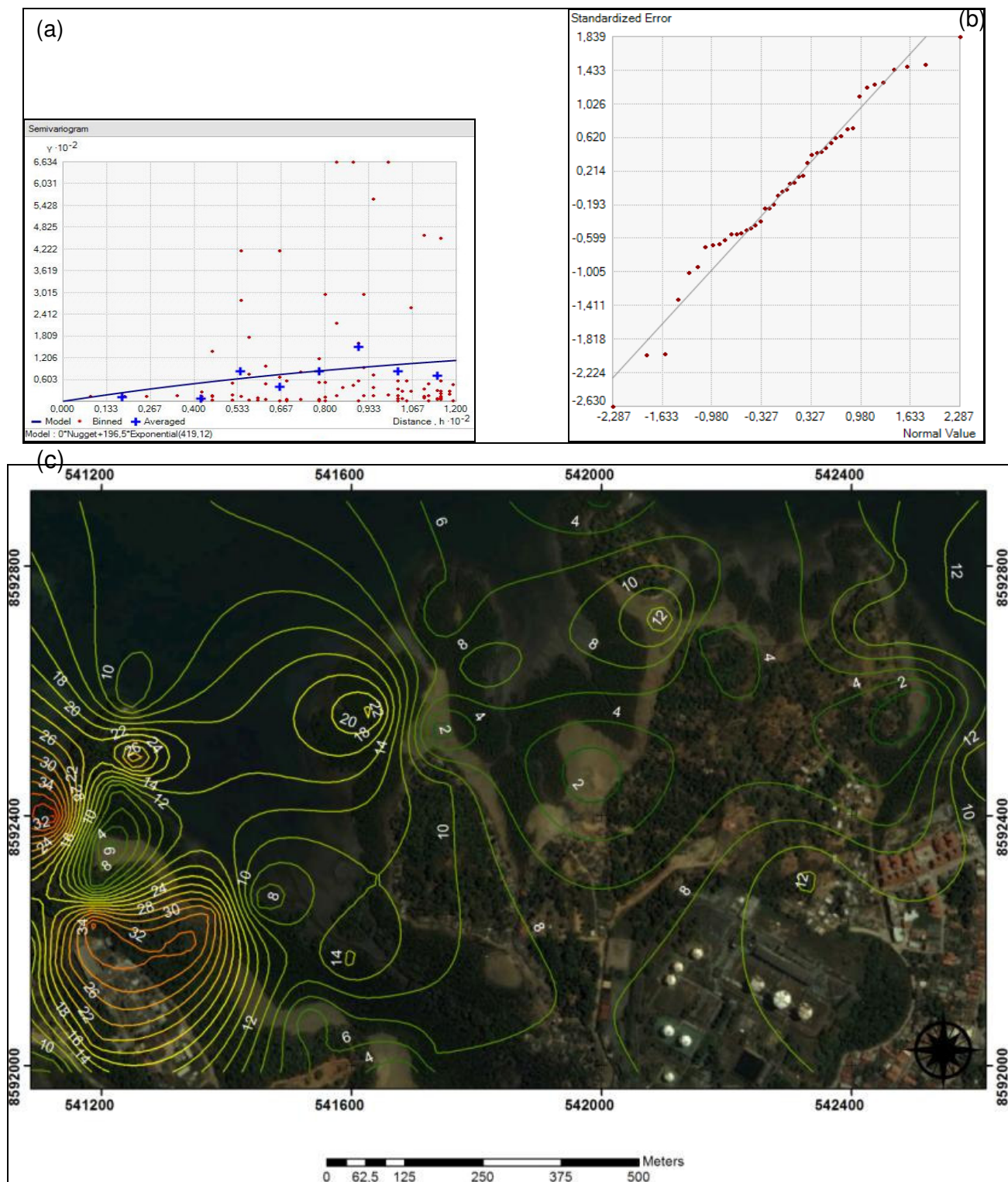


Figura 4. Gráficos gerados do semivariograma (a) e do erro padrão 9(b) associado a krigagem aplicada ao parâmetro Cu; (c) isolinhas dos valores de Cu, em mg Kg⁻¹.

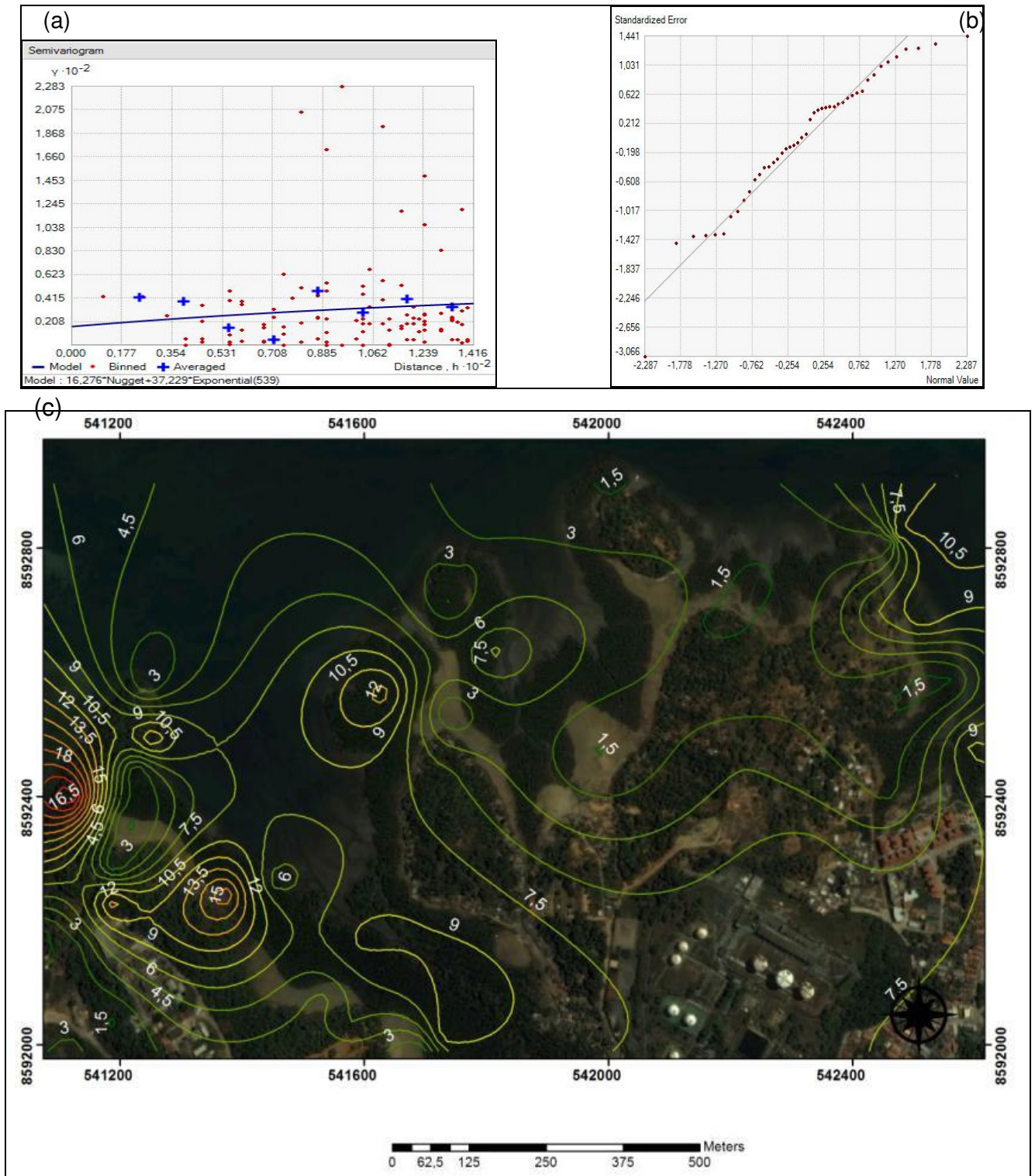


Figura 5. Gráficos gerados do semivariograma (a) e do erro padrão 9(b) associado a krigagem aplicada ao parâmetro Cr; (c) isolinhas dos valores de Cr, em mg Kg⁻¹.

Zinco - Zn

O semivariograma do elemento Zn (Figura 6a) foi gerado utilizando o modelo exponencial, com um alcance máximo de 765,71m, sem anisotropia. O gráfico de erro, feito na etapa de validação cruzada, está representado pela figura 6b.

As isolinhas geradas pela krigagem para o metal Zn (figura 6c) mostram uma alta concentração desse elemento na região oeste, sendo que nos arredores da Fábrica de Asfalto,

no ambiente de encosta, essa concentração atinge valores acima de 120 mg kg⁻¹. Pela disposição das isolinhas, é possível afirmar que a Fábrica de Asfalto é a fonte desse elemento. Porém, a alta concentração de Zn no manguezal que se encontra a oeste da Fábrica de Asfalto, apresentando valores, que chegam a atingir 50 mg kg⁻¹, pode estar associada a outros fatores, necessitando de maiores estudos para a

avaliação da provável fonte de Zn nesse ambiente.

Observa-se que o manguezal a leste da Fábrica de Asfalto não apresenta teores elevados e a concentração de Zn no centro e leste da área de estudo apresenta teores baixos e pouca variação de teor.

A partir da Fábrica de Asfalto, a contaminação por Zn, se distribui provavelmente por deposição atmosférica (poeiras) ou escoamento de águas pluviais.

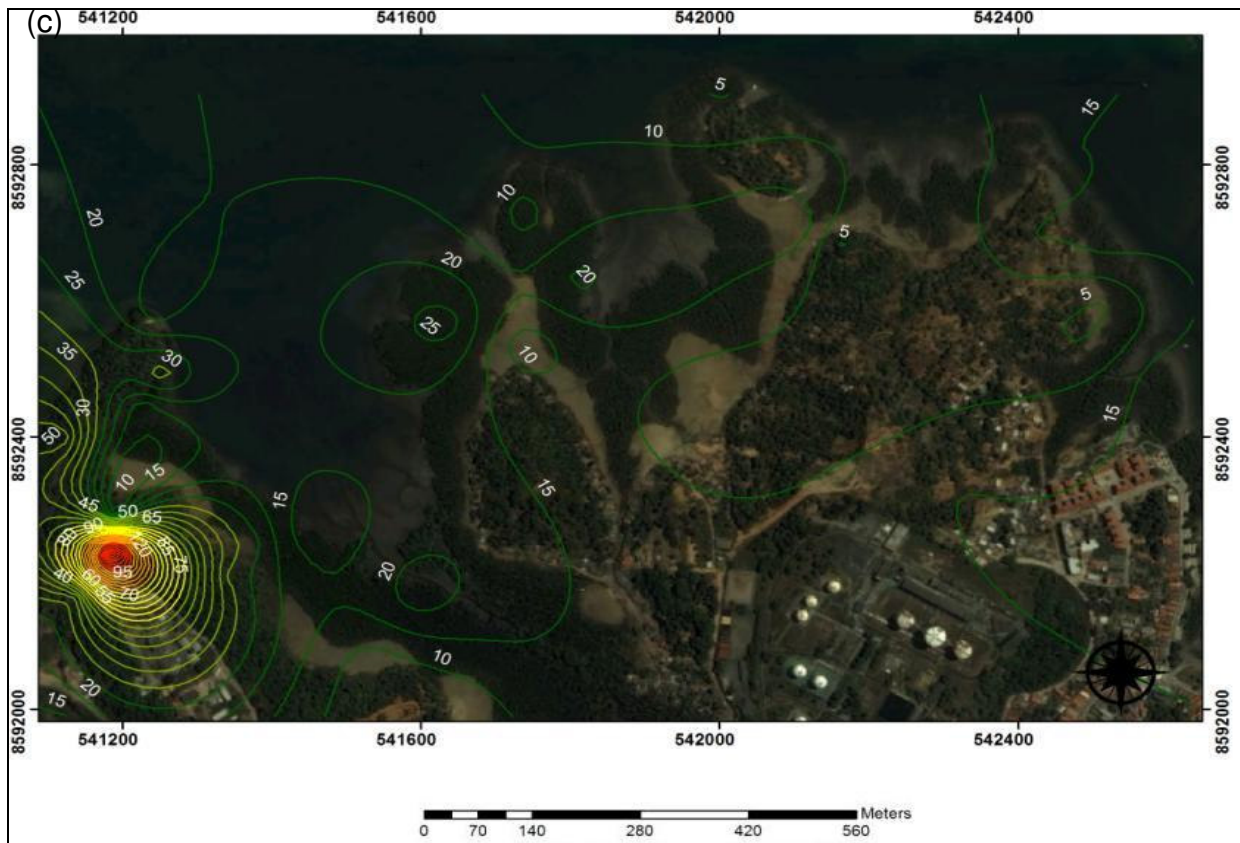
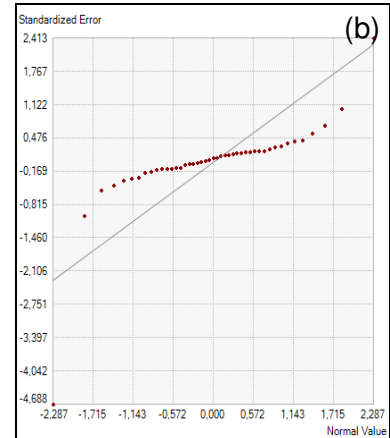
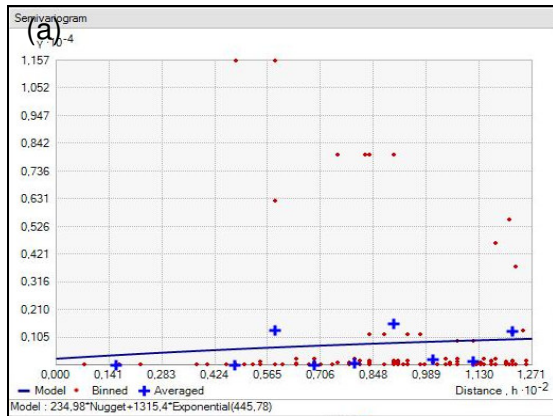


Figura 11. Gráficos gerados do semivariograma (a) e do erro padrão 9(b) associado a krigagem aplicada ao parâmetro Zn. (c) isolinhas dos valores de Zn, em mg Kg^{-1} .

CONCLUSÕES E SUGESTÕES

Através dos estudos geoestatísticos realizados pôde se comprovar a salinidade como o principal parâmetro que diferencia manguezais, encostas e apicuns, assim como observado por Hadlich et al. (2010).

Nas análises geoestatísticas, o modelo que apresentou os menores erros na validação cruzada (valores próximos a zero), para todos os parâmetros analisados, foi o exponencial.

As isolinhas mostraram que a Fábrica de Asfalto é uma possível fonte de inserção de contaminantes na região oeste de Madre de

Deus, sendo que as maiores concentrações de metais encontram-se perto da indústria.

Pode-se ter também contribuição, nos manguezais, de metais oriundos da bacia do rio Subaé que deságua na BTS a NW de Madre de Deus.

As análises das imagens e isolinhas geradas neste trabalho comprovaram que a krigagem ordinária é um método geoestatístico eficaz na espacialização de dados geoquímicos em diferentes ambientes, facilitando a obtenção de informações através do uso de dados georreferenciados. Essa espacialização dos dados possibilita sugerir ou identificar possíveis fontes de contaminação ambiental, justificando a necessidade de futuras pesquisas mais locais e específicas.

AGRADECIMENTOS

Este trabalho foi realizado com apoio financeiro da Fundação de Amparo à Pesquisa do Estado da Bahia – FAPESB, projeto 4493/2009 – “Disponibilidade de metais traço na Baía de Todos os Santos”.

REFERÊNCIAS

- ANJOS, J. Â. S. A. **Avaliação da eficiência de uma zona alagadiça (wetland) no controle da poluição por metais pesados**: o caso da Plumbum em Santo Amaro da Purificação/BA. 2003. 328 f. Tese de Doutorado. USP. São Paulo, 2003. Disponível em <<http://www.teses.usp.br>> Acessado em: 3 Out. 2011.
- ASTM. American Society for Testing and Materials. Standard practice for Extraction of Trace Elements From Sediments, 1992. 11p.
- BAHIA. **Avaliação da qualidade das águas**: bacias hidrográficas, Baía de Todos os Santos, praias de Salvador. 2000. 21p. (Relatório Técnico.) Disponível em <<http://www.seia.ba.gov.br/SGDIA/transarq/arquivos/Bacia%20Hidrogr%C3%A1fica/AVALIA%C3%A7%C3%A3o%20DA%20QUALIDADE%20DAS%20%C3%81GUAS%20-%202000/ARQUIVO/sumario.pdf>>. Acesso em: 03 abr. 2010.
- BOAVENTURA, S. F.; Distribuição de metais traço em superfície no Município de Madre de Deus, Bahia. 2011. 70f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente). Universidade Federal da Bahia. Salvador – Bahia. 2011.
- CELINO, J. J. ; OLIVEIRA, O. M. C. ; HADLICH, G. M. ; QUEIROZ, A. F. S. ; GARCIA, K. S. Assessment of contamination by trace metals and petroleum hydrocarbons in sediments from the tropical estuary of Todos os Santos Bay, Brazil. 2008. **Revista Brasileira de Geociências**. v. 38, nº 4, p753-760. Disponível em <<http://www.sbggeo.org.br>>. Acesso em: 10 ago. 2011.
- EMBRAPA. **Manual de métodos de análises de solos**. Rio de Janeiro: EMBRAPA/CNPQ, 2. ed. Rio de Janeiro. 1999. 418 p.
- GLEYZES, C.; TELLIER, S.; ASTRUC, M. Fractionation studies of trace elements in contaminated soils and sediments: a review of sequential extraction procedures. **Trends in analytical chemistry**, v. 21, n. 6+7, 2002.
- HADLICH, G. M.; UCHA, J. M.; CELINO, J. J. **Apicuns na Baía de Todos os Santos: distribuição espacial, descrição e caracterização física e química**. Avaliação de ambientes na Baía de Todos os Santos: aspectos geoquímicos, geofísicos e biológicos. QUEIROZ, A. F. de S.; CELINO, J. J. (org.). Salvador, UFBA, 2008. Capítulo 2. p59-72.
- HADLICH, G. M; UCHA, J. M. (Coord.). **Apicuns e manguezais na Baía de Todos os Santos, Bahia**. Salvador: UFBA/IGEO/Núcleo de Estudos Ambientais, 2008. 1 mapa color. Escala 1:100.000.
- HADLICH, G.M., CELINO, J.J., UCHA, J.M. Diferenciação físico-química entre apicuns, manguezais e encostas na Baía de Todos os Santos, nordeste do Brasil. **Geociências** (São Paulo. Online), v. 29, n. 1, p. 633-641, 2010.
- HATJE, V.; BARROS, F.; FIGUEIREDO, D.G.; SANTOS, V.L.C.S.; PESO-AGUIAR, M.C. Trace metal contamination and benthic assemblages in Subaé estuarine system, Brazil. **Marine Pollution Bulletin**, v. 52, p. 969–987, 2006.
- ISAAKS, E. H.; SRIVASTAVA R. M. **An Introduction to Applied Geostatistics**. New York, Oxford University Press, 560p, 1989.
- IBGE. Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. **Censo 2010, primeiros resultados**. Rio de Janeiro, IBGE, 2010. Disponível em: <<http://www.ibge.gov.br/cidadesat/topwindow.htm?1>> Acesso em: 20 set. 2011.
- JESUS, R. S. Metais traço em sedimentos e no molusco bivalve *Anomalocardia brasiliensis* (GMELIN, 1791), municípios de Madre de Deus e de Saubara, Bahia. 2011. 100f. Dissertação (Mestrado em Geoquímica: Petróleo e Meio Ambiente). Universidade Federal da Bahia. Salvador – Bahia. 2011.
- LEBIGRE, J. M. **Les marais à mangrove et lès tannes**. Disponível em: http://www.futura-sciences.com/fr/print/comprendre/dossiers/doc/t/geographie/d/les-marais-a-mangrove-et-les-tannes_683/c3/221/p1/. Acesso em: 01 set. 2011.
- LOURENÇO, R. W; LANDIM, P. M. B. Mapeamento de áreas de risco à saúde pública por meio de métodos geoestatísticos. **Cad. Saúde Pública**, Rio de Janeiro, v.21, n.1, jan./fev. 2005.
- MARINS, R.V. **Avaliação da contaminação por mercúrio emitido por fontes difusas em sistema costeiro subtropical – O caso da Baía de Sepetiba, SE, RJ**. Tese de Doutorado. Pós-Graduação em Geociências. Universidade Federal Fluminense. 77p, 1998.
- MARINS, R.V.; PAULA FILHO, F.J.; MAIA, S.R.R.; LACERDA, L.D.; MARQUES, W.S. Distribuição de mercúrio total como indicador de poluição urbana e industrial na costa brasileira. **Química Nova**, 27: 763-770, 2000.

McGRATH, S.P., SMITH, S. Nickel. In: ALLOWAY. B.J. **Heavy metals in soils**. New York: John Wiley, 1990. p.125-50.

MUNIZ, L. L. F.; JORDÃO, C. P.; BRUNE, W.; PEREIRA, J. L.; REIS, E. L. Retenção de zinco em solos do vale do Aço Mineiro, afetada pela remoção de matéria orgânica, óxido de ferro e óxido de manganês. **Química Nova**, v. 19, n. 5, p. 464-468, 1996.

ONOFRE, C.R.E.; CELINO, J.J.; NANO, R.M.W.; QUEIROZ, A.F.S. Biodisponibilidade de metais traços nos sedimentos de manguezais da porção norte da Baía de Todos os Santos, Bahia, Brasil. **Revista de Biologia e Ciências da Terra**, v. 7, n. 2, 2007.

PESO-AGUIAR, M. C.; Smith, D.H.; Assis, R.C.F.; Santa-Isabel, L.M.; Peixinho, S.; Gouveia, E. P.; Almeida, T.C.A. ; Andrade, W.S.; Carqueija, C.R.G. ; Kelmo, F.; CARROZZO, G.; RODRIGUES, C. V.; CARVALHO, G. C.; JESUS, A.C.S. Effects of petroleum and its derivatives in benthic communities at Baía de Todos os Santos/Todos os Santos Bay, Bahia, Brazil. **Aquatic Ecosystem Health and Management**. v. 3. 2000. p. 459- 470.

SCHAEFFER-NOVELLI, Y. **Grupo de ecossistemas: manguezal, marisma e apicum. São Paulo, 1999. 119 p.** (Programa Nacional da Diversidade Biológica – Pronabio. Projeto de Conservação e Utilização Sustentável da Diversidade Biológica Brasileira – Probio. Subprojeto Avaliação e Ações Prioritárias para a Conservação da Biodiversidade da Zona Costeira e Marinha.). Disponível em: <<http://www.bdt.fat.org.br/workshop/costa/mangue/>>. Acesso em 03 out. 2011.

YIN, X.; YAO, C.; SONG, J.; LI, Z.; ZHANG, C.; QIAN, W.; BI, D.; LI, C.; TENG, Y.; WU, L.; WAN, H.; LUO, Y. Mercury contamination in vicinity of secondary copper smelters in Fuyang, Zhejiang Province, China: Levels and contamination in topsoils. **Environmental Pollution**, v. 157, p. 1787–1793, 2009.