DESENHO AMOSTRAL ESPACIALMENTE BALANCEADO NA AVALIAÇÃO AMBIENTAL DE UMA BACIA HIDROGRÁFICA NO CERRADO MINEIRO

Diego Rodrigues Macedo[1], Marcos Callisto[2]

[1]Geógrafo, Doutorando em Ecologia Conservação e Manejo de Vida Silvestre, ICB/UFMG e Analista em Geoprocessamento, IBGE, Belo Horizonte - MG, diego.macedo@ibge.gov.br
[2]Biologo, Professor Associado, ICB/UFMG, Belo Horizonte - MG, callistom@ufmg.br

RESUMO: O planejamento da rede de amostragem é um dos primeiros passos em um projeto de pesquisa. Dados ambientais geralmente possuem intima relação com sua localização geográfica e esta característica deve ser contemplada no desenho amostral. O objetivo deste trabalho é apresentar uma metodologia de definição de rede de amostragem espacialmente balanceada a partir da utilização de Sistemas Informativos Geográficos e Estatística Espacial aplicados em uma bacia hidrográfica no cerrado mineiro. Os resultados evidenciaram a importância desta metodologia para amostragens espacialmente homogêneas em relação à amostragem aleatória em riachos de cabeceira e reservatórios hidrelétricos.

PALAVRAS-CHAVE: Estatística espacial, sistemas informativos geográficos, monitoramento de recursos ambientais em escala regional.

INTRODUÇÃO: Avaliações ambientais em bacias hidrográficas devem considerar amostragens a fim de avaliar padrões de distribuição de espécies e relações com parâmetros físicos e químicos, considerando limitações como tempo de amostragem e processamento, recursos humanos e financeiros. Os objetos destes estudos são tipicamente identificados por sua localização geográfica, ao contrário de pesquisas clássicas de amostragem nas quais a variável "espaço" não é contemplada (STEVENS; OLSEN, 2004; THEOBALD et al., 2007). Neste contexto, levantamentos amostrais em estudos ambientais devem contemplar a variável espacial em seu desenho amostral (THEOBALD et al., 2007). Durante muitos anos levantamentos ambientais utilizaram amostras tendenciosas, sem critério espacial, procurando amostrar ambientes pré definidos, ou de melhor acesso, excluindo outras importante áreas (LARSEN, 2008). Em regiões tropicais este é um problema ainda mais grave do que em regiões temperadas, pois a nossa biodiversidade, apesar de ser maior, ainda é menos conhecida (DUDGEON et al., 2006). Neste contexto, a amostragem espacialmente balanceada, construída através de probabilidades, é capaz de selecionar amostras que de fato reflitam o padrão espacial da área de estudo (THEOBALD et al., 2007). Nos EUA esta abordagem já é utilizada tanto em escala nacional quanto regional (OLSEN; PECK, 2008). Porém, no Brasil, é uma abordagem ainda recente, na qual os primeiros estudos contemplando amostragens com este tipo de desenho ainda são raros (ver MACEDO et al., 2012; LIGEIRO et al., 2012). Por se tratar de de uma abordagem de natureza espacial, o seu desenvolvimento em Sistemas Informativos Geográficos (SIGs) é extremamente vantajosa, pois além de proporcionar a visualização da área de estudo, também possibilita que a amostragem seja definida a partir das feições espaciais tipicamente tratadas em SIGs, como pontos (p.ex. o centroide de um trecho de rio ou de um lago), linhas (p.ex. uma estrada ou um riacho), polígonos (p.ex. lagos, manchas de vegetação, bacias hidrográficas) (THEOBALD et al., 2007) ou a partir das células de uma superfície representada por um raster. Neste contexto, o objetivo deste trabalho é construir e validar redes de amostragem espacialmente balanceadas para o monitoramento de bacias hidrográficas no Cerrado Mineiro, considerando riachos de cabeceira e reservatórios hidrelétricos através de rotinas de SIG e Estatística Espacial.

MATERIAL E MÉTODOS: A abordagem utilizada neste estudo é baseada em GRTS (Generalized Random-Tessellation Stratified) onde o desenho amostral é hierárquico e espacialmente balanceado, e pode ser aplicado a pontos, linhas e polígonos (STEVEN; OLSEN, 2004). Este abordagem é baseada na conversão de todos os objetos (p. ex. trechos da rede de drenagem) distribuídos em um plano espacial (latitudes e longitudes; bi-dimensional) para um plano unidimensional, neste caso, um único

vetor, como se fosse uma grande avenida, e cada observação, um endereço hierarquicamente distribuído (STEVEN; OLSEN, 2004). O desenho amostral espacialmente balanceado foi desenvolvido para o reservatório de Nova Ponte (Minas Gerais), e em trechos de rios de ordens e dimensões de largura e profundidade semelhantes ("wadeable streams", rios capazes de serem atravessados a pé por um adulto mediano; Kaufmann et al., 1999) a montante do reservatório a um alcance de até 35 km de distância (Figura 1). Esse reservatório foi construído para a geração de energia elétrica e é gerenciado pela Companhia Energética de Minas Gerais (CEMIG).

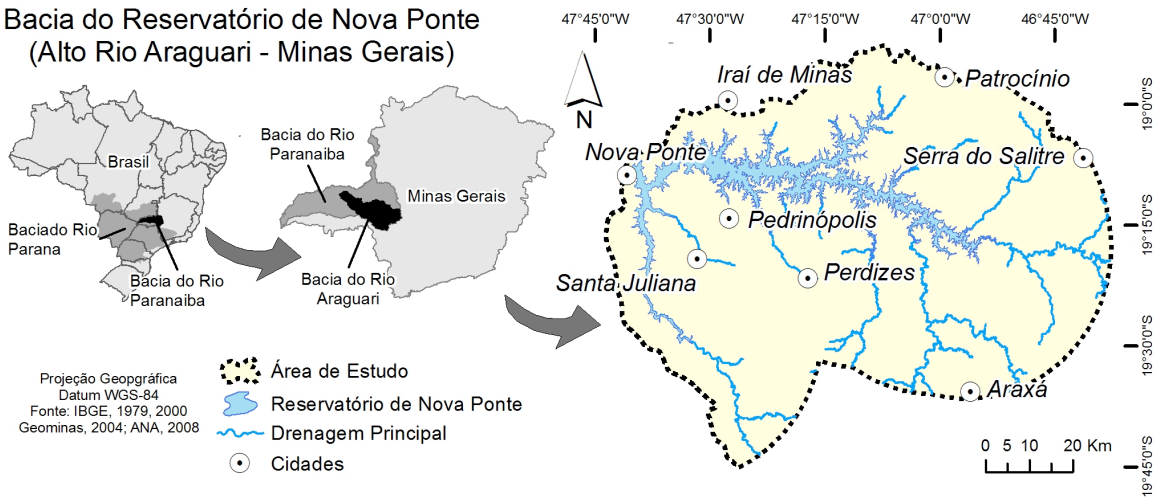

Figura 1 – Localização da área de estudo na bacia do rio Araguari, MG.

Esta abordagem faz parte de um amplo programa de pesquisas que utiliza levantamentos de assembléias de macroivertebrados bentônicos e peixes para avaliar a integridade biótica de riachos de cabeceira e reservatórios hidrelétricos. Para a construção da rede de amostragem nos riachos foi utilizada a rede de drenagem contida nas cartas topográficas (escala 1:100.000) do IBGE e DSG, digitalizadas pelo Projeto Geominas (ver VEGI et al., 2011). A rede de drenagem foi topologicamente corrigida através do ArcGis, e a ordem de Strahler (STRAHLER, 1957) foi atribuída através do programa hidroflow (RAMOS; SILVEIRA, 2008). O sorteio espacial foi conduzido no Software R (R DEVELOPMENT CORE TEAM, 2010) através da biblioteca Spsurvey (KINCAID, 2009). Os pontos sorteados dentro do reservatório foram eliminados, e os 40 melhores pontos ranqueados (1ª-3ª ordens) foram selecionados.

As amostragens no reservatório de Nova Ponte foram conduzidas apenas na região litorânea e o perímetro foi construido através de imagens de satélite. O polígono que representa o reservatório foi extraído de uma imagem Landsat com a composição R7G5B4, eliminando a penetração de luz na água (JENSEN, 2006). Foi utilizado o método de classificação Maxver para identificar apenas o corpo d'água, utilizando o software SPRING/INPE. O sorteio foi adaptado de Stevens e Olsen (2004), e a rotina implementada diretamente no ArcGis. A feição do perímetro do reservatório foi convertida de linha para pontos; um ponto foi aleatoriamente sorteado e a partir deste ponto, seguindo a margem, 40 pontos foram equidistantemente selecionados. Para testar a eficiência do sorteio espacialmente balanceado, foi utilizada a área de polígonos de Thiesssen (ou Voronoi) construídos a partir dos pontos espacialmente balanceados, comparando-os com a área de polígonos construídos a partir de amostragem aleatória. A amostragem é espacialmente balanceada quando as áreas dos polígonos ao redor dos pontos sorteados são similares (baixa variância da área dos polígonos) (STEVENS; OLSEN, 2004; THEOBALD et al., 2007). A eficiência foi testada através da razão entre da variância da área dos polígonos das amostras espacialmente balanceadas sobre as amostras aleatórias: se a razão < 1.0, a amostragem espacial é mais eficiente que a amostragem aleatória (STEVENS; OLSEN, 2004).

RESULTADOS E DISCUSSÃO: A utilização de SIGs foram essenciais na execução da rede de amostragens espacialmente balanceada. Em primeiro lugar, a manipulação de dados vetoriais para a

construção de uma rede de drenagem topologicamente consistente em ambiente SIG, para que fosse possível a classificação da rede de drenagem segundo os critérios de Strahler (1957). No Brasil, é recorrente o problema com a aquisição de rede de drenagem em escala entre 1:50.000 e 1:100.000: além da carência de dados em formato vetorial, ainda deve-se considerar que o mapeamento foi executado por duas instituições e metodologias distintas. Uma alternativa para contornar esta dificuldade é a geração de rede de drenagem a partir de modelo digital de elevação, como executado por Guimarães et al. (2008) para Minas Gerais. Para a construção dos limites do reservatório, a solução foi mais simples, pois foi baseada no processamento de imagens do período de cheia.

No Brasil pesquisas ecológicas que contemplem vastas regiões ainda são raros e não apresentam desenho amostral espacialmente balanceado. Estudos regionais desenvolvidos em rios e riachos do sudeste mostram redes amostrais espacialmente desbalanceadas, focando em pontos específicos ou com áreas mais densamente amostradas que outras (p. ex. CASATTI, 2009; MORENO et al., 2010). Estudos em reservatórios também apresentam esta característica (p.ex. PETESE et al., 2007). Os resultados das amostragens na bacia hidrográfica do reservatório de Nova Ponte evidenciaram que tanto em riachos, quanto em reservatórios, a variância no tamanho nos polígonos de Voronoi foi menor na amostragem espacialmente balanceada (Figuras 2 e 3, respectivamente). A razão entre a área dos polígonos das amostras espacialmente balanceadas e aleatorizadas corroboram estes resultados: 0,48 para riachos e 0,36 para o reservatório. Razões entre 0,3 e 0,5 também foram encontradas por Theoblad et al. (2007), para os testes comparativos de amostragens variando entre 10 e 10.000 estações. A construção de uma rede mestra, como utilizado para os riachos abre a possibilidade para a criação de uma ampla rede de amostragem, na qual as estações amostrais podem ser substituídas a cada ciclo temporal, ou devido à possibilidade de ampliação ou redução do esforço amostral, por questões financeiras ou de acesso (LARSEN et al., 2008).

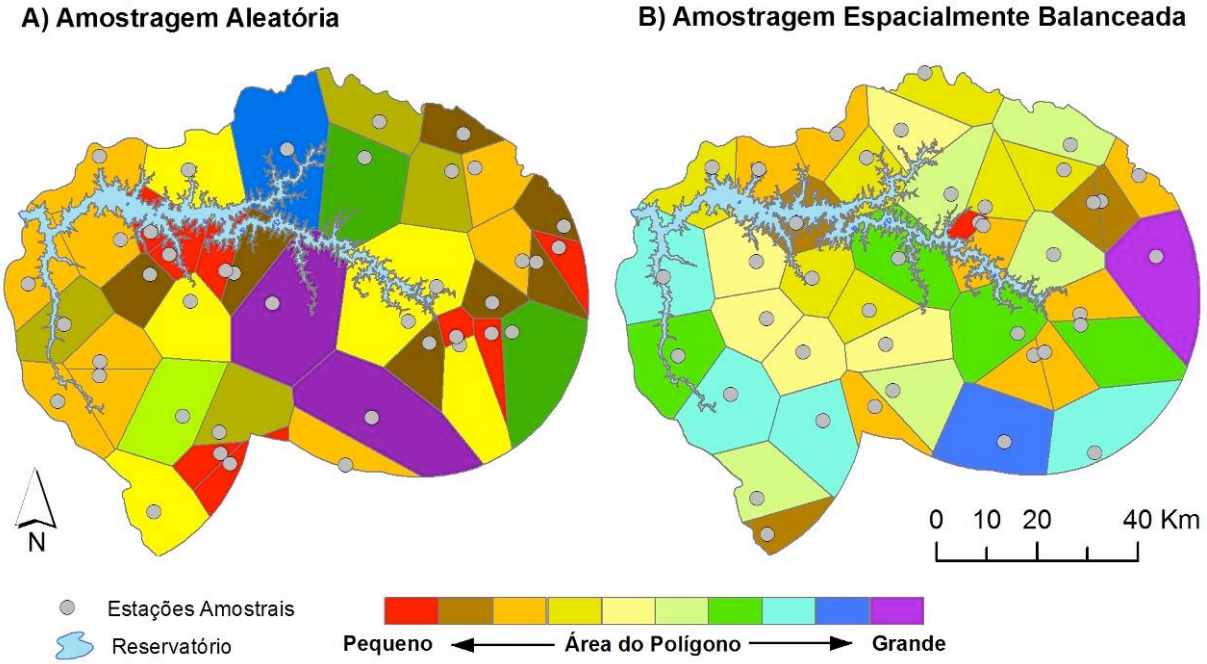

Figura 2 – Área dos polígonos de Voronoi para (A) amostragem aleatória e (B) amostragem espacialmente balanceada.

CONCLUSÕES: O desenvolvimento metodológico cumpriu os objetivos de se construir redes de amostragens espacialmente balanceadas para dois tipos de ambientes, riachos e reservatório hidrelétrico. A utilização de SIGs foram essenciais na construção destas redes. Com a crescente demanda de estudos ambientas em nível regional no Brasil, espera-se que esta abordagem seja cada vez mais presente nestas pesquisas.

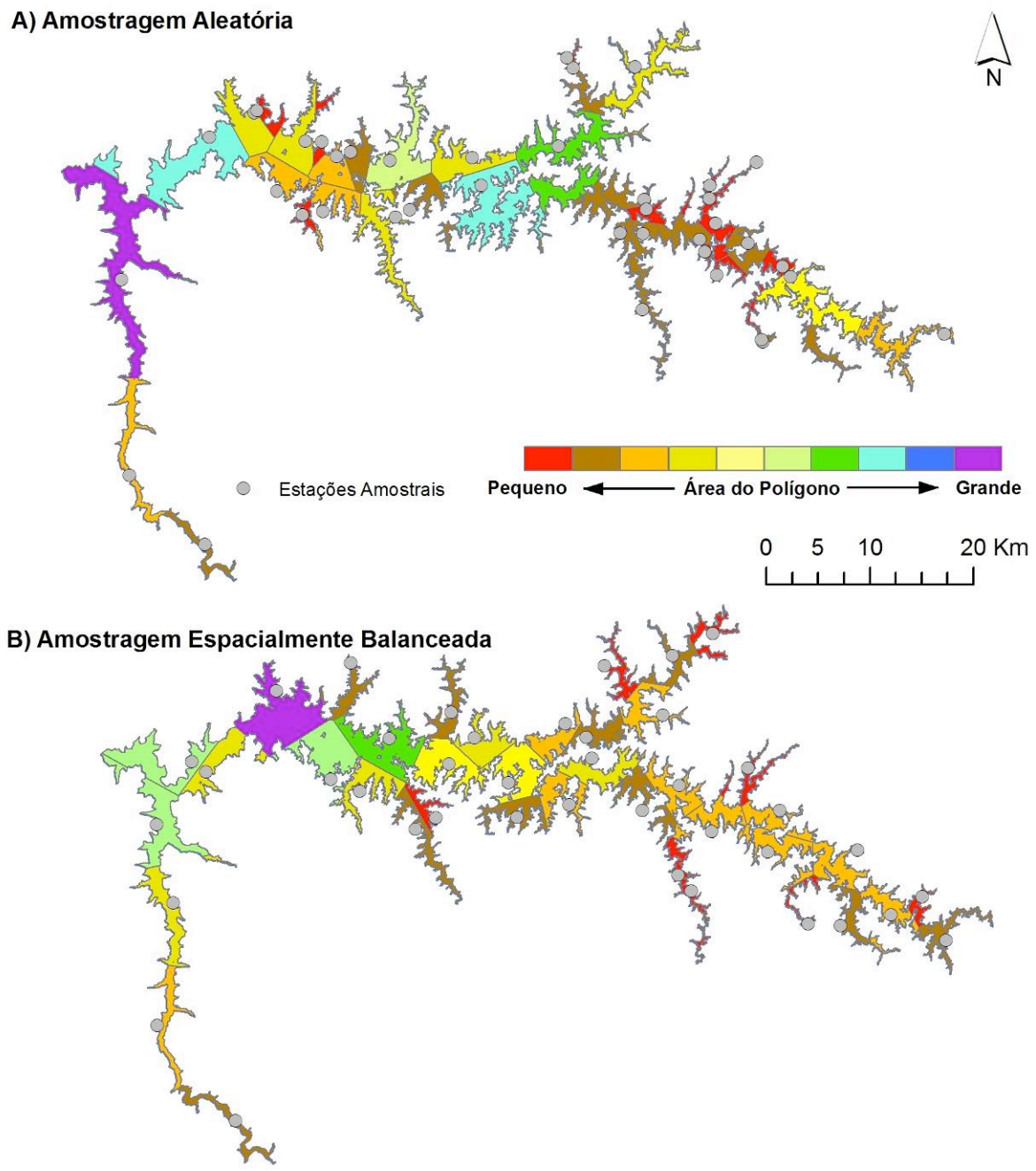

Figura 3 – Área dos polígonos de Voronoi para (A) amostragem aleatória e (B) amostragem espacialmente balanceada.

AGRADECIMENTOS: Os autores agradecem o financiamento do Programa Peixe-Vivo/CEMIG e os apoios do CNPq, CAPES e FAPEMIG através de bolsas de estudos, além da colaboração de estudantes de graduação, biólogos e técnicos das equipes envolvidas nesta rede de pesquisas transdisciplinares com participação da UFMG, UFLA, PUC-Minas, CEFET-MG, Oregon State University e US Environmental Protection Agency.

REFERÊNCIAS:

CASATTI, L.; FERREIRA, C.P.; LANGEANI, F. A fish-based biotic integrity index for assessment of lowland streams in southeastern Brazil. **Hydrobiologia**, v. 623, p. 173-189, 2009.

DUDGEON, D.; ARTHINGTON, A.H.; GESSNER, M.O.; KAWABATA, Z.I..; KNOWLER, D.J.; LEVEQUE, C.; NAIMAN, R.J.; PRIEUR-RICHARD, A.H.; SOTO, D.; STISSNY, M.L.J.; SULLIVAN, C.A. Freshwater biodiversity: importance, threats, status and conservation challenges. **Biological Reviews**, v. 81, p. 163-182, 2006.

GUIMARÃES, R.J.P.D; FREITAS, C.C.; DUTRA, L.V.; MOURA, A.C.M.; AMARAL, R.S.; DRUMMOND, S.C.; SCHOLTE, R.G.C; CARVALHO, O.S. Schistosomiasis risk estimation in Minas Gerais State, Brazil, using environmental data and GIS techniques. **Acta Tropica**, v. 108, p. 234-241, 2008.

JENSEN, JR. **Remote Sensing of the Environment**: An Earth Resource Perspective. 2nd Edition. New Jersey: Prentice Hall, 2006, 608p.

KAUFMANN, P.R; LEVINE, P.; ROBISON, E.G.; SEELIGER, C.; PECK, D.V. **Quantifying Physical Habitat in Wadeable Streams**. EPA/620/R-99/003. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency, 1999.

KINCAID, T. **User guide for spsurvey - probability survey design and analysis functions**. Washington, D.C.: U.S. Environmental Protection Agency Disponível em: <http:www.epa.gov/nhreel/arm/analysispages/software.htm>. Acesso em: 19. Mar. 2010.

LARSEN, D.P.; OLSEN, A.R; STEVENS, D.L. JR. Using a Master Sample to Integrate Stream Monitoring Programs. **Journal of Agricultural, Biological, and Environmental Statistics**, v.13, p. 243-254, 2008.

LIGEIRO, R; HUGHES, R.M.; KAUFMANN, P.R; MACEDO, D.R.; FIRMIANO, K.R.; MELO, A.S.; CALLISTO, M. Defining quantitative stream disturbance gradients and the additive role of habitat variation to explain macroinvertebrate taxa richness. **Ecological Indicators**, no prelo, 2012.

MACEDO, D.R.; LIGEIRO, R.; FERREIRA, W.R.; JUNQUEIRA, N.T.; SANCHES, B.O.; SILVA, D.R.O.; ALVES, C.B.M.; HUGHES, R.M.; KAUFMANN, P.R.; POMPEU, P.S.; SANTOS, G.B.; CALLISTO, M. Parâmetros biológicos e de habitats físicos para a avaliação de bacias no sudeste do Brasil. **Ação Ambiental (UFV)**, v. 13, p. 15-18, 2012.

MORENO, P.; FRANÇA, J.S.; FERREIRA, W.R.; PAZ, A.D.; MONTEIRO, I.M.; CALLISTO, M. Factors determining the structure and distribution of benthic invertebrate assemblages in a tropical basin. **Neotropical Biology and Conservation**, v. 5, p. 135-145, 2010.

OLSEN, A.R.; PECK, D.V. Monitoring design and extent estimates for the Wadeable Stream Assessment. **Journal of the North American Benthological Society**, v. 27 p. 822–836, 2008.

PETESSE, M.L.; PETRERE JR, M.; SPIGOLON, R.J. Adaptation of the Reservoir Fish Assemblage Index (RFAI) for Assessing the Barra Bonita Reservoir (São Paulo, Brazil). **River Research and Applications**, v. 23, p. 595–612, 2007.

R DEVELOPMENT CORE TEAM. **R: A language and environment for statistical computing**. **reference index**. Viena, Austria, 2010.

RAMOS, J.A.S; SILVEIRA, C.S. **Hydroflow:** Classificação de redes de drenagem pelo método Strahler e Shreve. Rio de Janeiro: UFRJ, 2008. Disponível em: <www.fgel.uerj.br/labgis/hydroflow>. Acesso em: 20. Ago. 2009.

STEVENS, D.L., JR.; OLSEN, A.R. Spatially balanced sampling of natural resources. **Journal of the American Statistical Association**, v.99 p. 262–278, 2004.

STRAHLER, A.N. Quantitative analysis of watershed geomorphology. **Transaction of American Geophysical Union**, v. 38, p. 913-920, 1957.

THEOBALD, D.M.; STEVENS, D.L.; WHITE, JR., D.; URQUHART, N.S.; OLSEN, A.R.; NORMAN, J.B. Using GIS to generate spatially-balanced random survey designs for natural resource applications. Environmental Management, v. 40 p. 134-146, 2007.

VEGI, L.F. M.; LISBOA, J.; SOUZA, WD.; LAMAS, J.P.C.; COSTA, G.L.S.; OLIVEIRA, W.M.; CARRASCO, R.S.; FERREIRA, T.G.; BAIA, J. Uma infraestrutura de dados espaciais para o Projeto GeoMINAS. In: GEOINFO, XII, 2011, Campos do Jordão. **Anais**... São José dos Campos: INPE, 2011. p. 105-110. Disponível em: <http:// http://mtc-m18.sid.inpe.br/col/sid.inpe.br/mtc-m18/2011/12.13.16.02/doc/lucas.pdf>. Acesso em: 07 ago. 2012.