

Avaliação dos operadores de generalização geométrica simplificação e suavização no processo de comunicação cartográfica: análise da representação hidrográfica nas cartas topográficas

RESUMO

Tulio Alves Santana

tulioalvessantana@hotmail.com
orcid.org/0000-0002-4429-9409
Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil.

Vinícius Ferreira Sales

kdsalesvinicius@gmail.com
orcid.org/0000-0002-4492-1886
Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil.

Fernando Luíz de Paula Santil

fernando.santil@ufu.br
orcid.org/0000-0002-1165-2165
Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil.

Rodrigo Bezerra de Araújo Gallis

rodrigogallis@ufu.br
orcid.org/0000-0002-8764-9173
Universidade Federal de Uberlândia (UFU), Monte Carmelo, Minas Gerais, Brasil.

O processo manual de generalização cartográfica ocorre muitas vezes de forma intuitiva e varia de acordo com o profissional que o realiza, sua utilização vem sendo discutida por autores como McMaster e Shea (1992) que propuseram um modelo conceitual para automatizá-lo. Neste modelo, destacam-se dois tipos de transformações de generalização: as transformações espaciais associadas à generalização geométrica, e as por atributos referentes à generalização conceitual. Busca-se analisar a feição e o seu aspecto semântico na carta topográfica. As cartas topográficas utilizadas são referentes às escalas 1:50.000 e 1:100.000 na região do ribeirão Panga, no Município Uberlândia (MG). Para extração das feições lineares contidas na bacia desse rio, utilizaram-se ferramentas do software Quantum GIS e do ArcGIS. Dos processos de transformação descritos por McMaster e Shea (1992), usaram-se os operadores de simplificação e suavização. Para tanto, utilizaram-se os algoritmos de Douglas e Peucker (1973), para simplificar pontos e o de PAEK, orientado a suavização feições lineares, disponibilizados no ArcGIS. Após aplicação desses operadores, realizou-se uma comparação com as cartas do IBGE, e observou-se que os operadores atuaram conforme o proposto em áreas com mudanças de comprimento dos rios e, por outro lado, detectaram-se erros de posicionamento e a supressão da feição.

PALAVRAS-CHAVE: Generalização cartográfica. Cartas topográficas. Simplificação. Suavização.

INTRODUÇÃO

Desde épocas anteriores, a sociedade sempre buscou a melhor forma de descrever o espaço, no intuito de representar os locais de possíveis interesses. Com o passar dos anos, essa forma de apresentação foi evoluindo e adquirindo novas ferramentas de aquisição, tornando-se um forte instrumento de delimitação e retratação da superfície.

Entretanto, para a elaboração de um mapa requer que a superfície terrestre seja representada de maneira reduzida, com o objetivo de informar ao observador as características físicas de uma determinada região. Para que esse aspecto seja atingido, é necessário distinguir os principais objetos que compõem o mapa, e simplificar as formas e estruturas, seguindo critérios de representação. Este processo é conhecido como Generalização Cartográfica que busca adaptar essas características das feições e suas relações em diferentes escalas.

Segundo Tang (1996), apud D'Alge (2007), os objetos que representam o espaço geográfico contêm em si quatro elementos de representação: geometria, propriedades não espaciais, relações topológicas e relações não topológicas. Estes componentes podem ser adaptados conforme escala e nível de informação do mapa, porém segundo McMaster e Shea (1992) essas alterações devem ocorrer de forma que preservem os fatores topológicos, para que se atinja a sua finalidade.

Sá e Vasconcelos (2012) comentam que a Generalização Cartográfica pode ser entendida como uma operação a qual permite a representação cartográfica, por meio de uma seleção criteriosa dos elementos, maior simplicidade, clareza e objetividade. No entanto, a generalização manual é envolvida por um processo de subjetividade tornando a representação de um mapa quase sempre de modo predominantemente intuitivo e criativo, não seguindo um padrão de regras predefinidas.

Além disso, têm-se a generalização automática que é compreendida como a transformação de um conjunto de dados utilizando os meios digitais, porém o meio automático necessita de maior grau de abstração no uso de dados armazenados. Segundo Muller (1995), apud Borborema (2011), a abordagem digital em generalização merece ser avaliada com cuidado, já que não existe teoria que explique qual algoritmo é mais conveniente para um mapa como todo e para feições específicas do mapa.

O processo de generalização como todo envolve a necessidade de análise humana dos dados geográficos, tais como as decisões sobre o que fazer, como generalizar e como resolver conflitos de geometrias, a exemplo. Seria muito difícil falar sobre automatizar totalmente este processo devido à natureza subjetiva dele e a falta de regras definidas para orientar a tomada de decisão. A alternativa para isto é utilizar o quanto possível o apoio do computador (processo automático) e deixar a tomada de decisões para análise humana (processo manual), decisões estas que não são resolvidas por inteligência artificial (ESRI, 2006). Desta forma, o processo de generalização cartográfica na atualidade pode ser visto como um processo semiautomático.

No modelo proposto para generalização por McMaster e Shea (1992), pode-se destacar dois tipos de transformações de generalização: as transformações espaciais e as transformações dos atributos. Nas transformações espaciais é

associada à generalização geométrica, e as transformações dos atributos a generalização conceitual.

O estudo analisou as feições lineares e o seu aspecto semântico na carta topográfica disponibilizada pelo IBGE (Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística) com base no modelo anteriormente citado. Para a realização deste estudo seriam utilizadas as cartas topográficas (analógicas e digitais) que abrangem a bacia hidrográfica do rio Bagagem nas escalas 1: 25000 e 1:50000. Mas devido a falta de cobertura do mapeamento sistemático brasileiro não somente da área e das escalas para o referido estudo, utilizaram-se as cartas que abrangem a micro bacia hidrográfica do ribeirão Panga, que apresenta comportamento similar ao preterido e nas escalas 1:50000 e 1:100000.

Neste sentido, a premissa do estudo é analisar cartas disponibilizadas pelo IBGE no que concerne a mudança de escala, além de realizar o mesmo processo de generalização (mudança de escala) e comparar os resultados. Uma ressalva é que para este estudo somente dois operadores são aplicados e analisados, sendo assim para uma comparação mais abrangente é necessário que se aplique os demais operadores de generalização geométrica que podem ser vistos em (MCMaster; Shea, 1992), (Li, 2006), (Balboa, 2006), entre outros.

O estudo se justifica pelo fato de que o processo de produção cartográfica, no âmbito essencialmente das cartas topográficas, requer cuidado com o resultado final. Isto é, o produto cartográfico gerado visa atender ao uso e as necessidades daqueles que se valem dele para desenvolver uma determinada atividade. Este processo conhecido por comunicação cartográfica é pouco ou quase nulo nos estudos, em particular, da carta topográfica.

Essa lacuna torna-se um campo a ser explorado pelos pesquisadores, pois a prática usada pelos órgãos oficiais, no caso o IBGE, não faz uso das discussões presentes na literatura. É importante ressaltar que os equívocos resultantes da má “ação” no processo da generalização cartográfica comprometerá o produto, pois a legislação pertinente ao tema não está atualizada para essa discussão. Além disso, a análise do comportamento do fenômeno ficará condicionada a subjetividade executada por quem a generalizou. Evidentemente estes aspectos precisam de estudos porque a carta topográfica tem por finalidade atender as necessidades da sociedade, como se estabelece na legislação cartográfica.

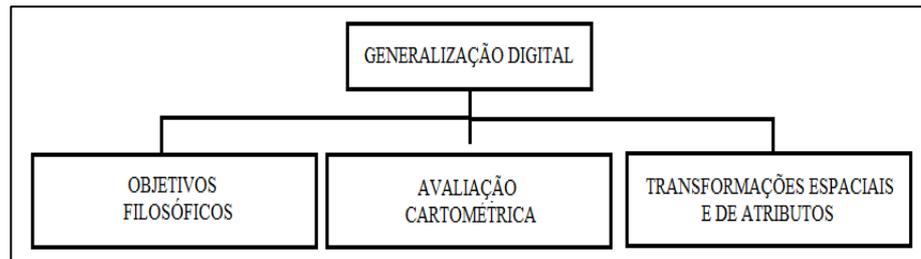
FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

GENERALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

As representações de fenômenos geográficos podem ser encontradas em diversas escalas, já que o fator escala é ligado à finalidade do produto cartográfico gerado. É neste contexto que se apresenta a generalização cartográfica como um processo que envolve a manipulação das feições representadas (MCMaster; Shea, 1992). Segundo Dent (1985), a generalização é a atribuição de características representacionais aos objetos abstraídos. Ou seja, a generalização cartográfica por ser vista como o processo de redução de escala que vislumbra a melhor representação do objeto abstraído.

A fim de apoiar uma maior variedade de tarefas entre usuários e mapas, torna-se imprescindível compreender como formalizar e aplicar o conhecimento cartográfico no processo de generalização (VASCONCELOS, 2012). McMaster e Shea (1992) propõem um modelo conceitual para generalização em ambiente digital, sendo este resultado de discussões acerca de modelos propostos anteriormente por Ratajski (1967), Morrison (1974), Brassel e Weibel (1988) e Nickerson e Freeman (1986). A Figura 1 apresenta os aspectos operacionais da generalização cartográfica.

Figura 1 – Esquema conceitual para generalização digital



Fonte: McMaster e Shea (1992, p.27).

A primeira componente do modelo conceitual de McMaster e Shea (1992) consiste nos objetivos filosóficos que engloba três elementos e cuja proposta é responder porquê de se realizar a generalização:

- a) um estudo geral e intuitivo dos aspectos conceituais da cartografia (elementos teóricos);
- b) compreensão de aspectos específicos ligados aos problemas existentes no processo de generalização (elementos relativos a aplicação);
- c) considerações acerca da existência de aparatos tecnológicos (elementos computacionais).

Na avaliação cartométrica é possível verificar quando a mudança de escala do mapa apresenta alguma imperfeição dada a sua finalidade. Para tanto, surgem três aspectos que auxiliam a responder quando se deve generalizar:

- a) condições geométricas, que norteiam para quais caminhos seguir durante o processo de generalização;
- b) medidas espaciais e holísticas, para caracterização da carta e dos dados;
- c) controle das operações técnicas utilizadas durante o processo de generalização.

Na terceira componente do modelo ocorrem as ações de generalizações propriamente ditas, ou seja, é efetuado o processo de redução de escala. O como generalizar é mais associado aos operadores utilizados nesta fase. Estes operadores foram construídos por emulação das práticas cartográficas manuais, e do desenvolvimento das técnicas baseadas tão somente em esforços matemáticos (MCMASTER; SHEA, 1992).

Para Kraak e Ormeling (1998) dentre os modelos conceituais apresentados este é o mais aceito. Tal assertiva está no trabalho proposto por Balboa (2006) que o avaliou e trouxe reflexões com relação à prática e o seu uso em outras áreas do conhecimento.

O modelo de McMaster e Shea (1992) pode ser aplicado em duas diferentes bases de dados. Uma delas é quando a base de dados é vetorial e pode ser classificada como ponto, linha ou polígono. Operadores tais como simplificação, suavização, deslocamento, exagero e omissão podem ser utilizados para esta base de dados. Já em uma base de dados raster os operadores podem ser os mesmos, mas somente a componente de atributo é generalizada, tendo em vista que em dados raster não é visto feição, e sim pixel.

Uma vez que um objeto ou um atributo seja inicialmente selecionado, o processo de generalização continua pela aplicação de transformações espaciais ou de atributo, respectivamente, como visto na terceira componente do modelo (MCMASTER; SHEA, 1992). O processo de generalização cartográfica é um dos mais complexos na cartografia. A Figura 2 ilustra alguns operadores de generalização de feições lineares.

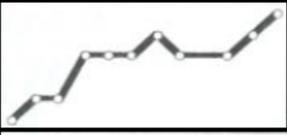
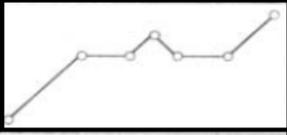
Figura 2 – Operadores de transformações de feições lineares

OPERADORES		ESCALA GRANDE	ESCALA PEQUENA
Deslocamento			
Eliminação			
Scale-Driven			
Modificação Parcial			
Redução de Ponto			
Suavização	Ajuste de Curva		
	Filtragem		
Tipificação			

Fonte: Li (2006) apud Vasconcelos (2012, p.23).

Dentre os operados apresentados por Li (2006), houve destaque apenas para o operador redução de pontos (simplificação) por ser afeto a esta pesquisa. A feição linear quando objeto de generalização possui uma grande quantidade de pontos, assim ao aplicar o operador é mantido somente aqueles pontos que melhor a representa (Figura 3), os demais são descartados. Isto objetiva em essência a obtenção de um traçado mais simples, para se continuar o processo de redução de escala.

Figura 3 – Operador simplificação

SIMPLIFICAÇÃO	
Mapa Original	Mapa Generalizado
Mapa na escala original	
	
Redução da escala em 50%	
	

Fonte: McMaster e Shea (1992, p. 56).

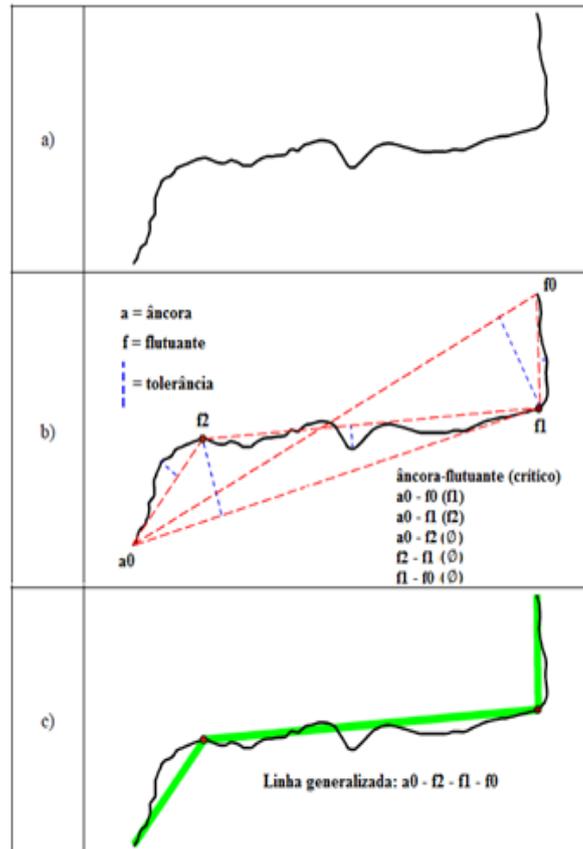
A partir do processo de discussões e mudanças, que se iniciaram entre as décadas de 1970 e 1980, de generalização manual e digital surgiram muitos algoritmos que desempenham a função de simplificar feições lineares. Anteriormente, a grande dificuldade era a falta de recursos tecnológicos, e atualmente consiste no conceito de simplificação, uma vez que é necessário adaptar o objeto generalizado às condições de análise do conteúdo semântico da informação.

Balboa (2006) sugere que estes algoritmos recebam a designação de “algoritmos de eliminação de pontos”, pois o que de fato ocorre é a eliminação de pontos no processo. Um desses algoritmos é o de Douglas-Peucker, que está indicado na Figura 4.

Apresentado por Douglas e Peucker, em 1973, o algoritmo seleciona os possíveis pontos críticos na linha original (a), eles são os que têm maior distância perpendicular da linha base. A primeira linha base é definida pelo primeiro ponto chamado de âncora e o último da linha original chamado de flutuante. Se nenhuma distância perpendicular superar a tolerância o processo finaliza e os dois pontos serão considerados críticos (b). Caso exista algum ponto que exceda a tolerância este será visto como novo ponto crítico, que subdividirá a linha em duas e o processo se repetirá até chegar ao final da mesma, ao final é “tido” a linha simplificada (c).

O algoritmo Douglas-Peucker é um dos mais utilizados e está implementado na ferramenta “generalize” do ARC/INFO. Apesar disso, *“o grande problema deste algoritmo, e com a maioria dos algoritmos de eliminação de pontos, não pode ser utilizado para mudanças para grandes escalas. Os resultados não são satisfatórios”* (BALBOA, 2006, p. 78).

Figura 4 – Exemplo do funcionamento do algoritmo Douglas-Peucker (Douglas e Peucker, 1973): a) linha original, b) aplicação do algoritmo e c) linha simplificada



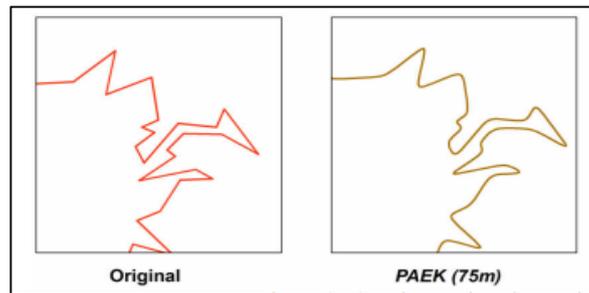
Fonte: Balboa (2006, p. 80).

Segundo Lopes (2005) os algoritmos de eliminação de pontos proporcionam as feições lineares um aspecto de maior angularidade nos seus vértices, tornando-as com uma estética não agradável porque o princípio da boa continuidade estabelecido pela Gestalt não se interrompe no processo de leitura da feição linear. Em contrapartida, o operador de suavização garante uma melhora na aparência das linhas, tornando-a mais suave à representação.

Bravo (2011) afirma que o operador de suavização possibilita uma mudança estética nas feições suavizando perturbações em pequenas distâncias predefinidas por uma tolerância a qual está diretamente relacionada à acuidade visual. Os algoritmos de suavização de feições lineares que, são geralmente encontrados em trabalhos, buscam trazer uma melhoria ao fator visual como é o caso dos algoritmos de PAEK e BEZIER INTERPOLATION.

O algoritmo de BEZIER consiste em interpolação linear na qual os seus pontos interpolados não sofrem alterações. Diferente de BEZIER, o algoritmo de PAEK estima os seus valores utilizando polinômio de segundo grau mantendo a sua extremidade, como pode ser visto na Figura 5 (VASCONCELOS, 2012). Esses operadores são encontrados em ferramentas como ARC/INFO e o *Quantum GIS*, e são utilizadas para suavizar feições após a ocorrência da redução de pontos.

Figura 5 – Exemplo do funcionamento do algoritmo PAEK



Fonte: Vasconcelos (2012, p. 7).

ATUALIZAÇÃO CARTOGRÁFICA

As cartas topográficas são produtos utilizados por diversos profissionais de diversas áreas do conhecimento, tais como: geógrafos, geólogos, agrimensores, cartógrafos, agrônomos, engenheiros civis, entre outros. Isso é visto porque são instrumentos básicos para o planejamento de um lugar, da cidade e do país porque deve atender a sociedade em geral.

No Brasil, as cartas topográficas existentes recobrem porções do território equivalentes aos seguintes percentuais de cobertura sistemática: 81% (1:250.000), 75% (1:100.000), 14% (1:50.000) e 1% (1:25.000) (CONCAR, 2008). Em consonância, vazios cartográficos nas diversas escalas, atrelados à desatualização existente das folhas topográficas, correspondem às lacunas na representação do território nacional, incluindo aspectos culturais e físicos (MENDONÇA; SLUTER, 2011).

Camboim et al. (2008) afirmam que o mapeamento topográfico nacional falha nos objetivos, pelo não cumprimento do Art. 8º do Decreto-Lei nº 243 de 28 de fevereiro de 1967, que rege a pretensão de representações com cartas gerais, contínuas, homogêneas e articuladas nas seguintes escalas padrão: 1:1.000.000, 1:500.000, 1:250.000, 1:100.000, 1:50.000 e 1:25.000. Soma-se ainda o fato de não existir uma política de atualização progressiva, apesar de sua previsão na legislação.

A falta de atualização do mapeamento sistemático brasileiro é um problema para os gestores públicos, principalmente para as tarefas de controle de locais que são potenciais de risco para população urbana, estrutura fundiária, análise ambiental, entre outros.

COMUNICAÇÃO CARTOGRÁFICA

Queiroz (1994) informa que Kolacny (1969), Bertin (1971), Ratajski (1973), Morrison (1976), Salichtchev (1970), Robinson e Petchenik (1976), Guelke (1977) e Board (1977) buscaram a sistematização do estudo no processo de Comunicação Cartográfica, ou seja, procuraram compreender como se dá o processo de leitura do mapa pelo usuário. No entanto, a autora enfatiza os trabalhos de Christopher Board e Antonin Kolacny. Ela ressalta que apesar dos esforços dos demais autores, Board foi um dos primeiros a propor destaque na etapa pertencente à “leitura de mapas” que, por sua vez, representa para

Kolacny a junção entre a “criação” e a “utilização” do mapa, ou seja, dizer que compõe “um único processo” com o intuito de se gerar um mapa eficiente.

O mapa, ao ser considerado como um veículo no processo de comunicação cartográfica, deve sempre ser legível, expressivo com leituras claras, simples e objetivas (QUEIROZ, 1994). De forma sucinta, é possível analisar o processo de comunicação como o quão eficiente é a compreensão pelo leitor do mapa, por conseguinte o quão eficiente foi o trabalho realizado pelo produtor.

Kolacny (1977) comenta que na prática os processos de produção e uso do mapa são feitos de forma autônoma. Com isto, ele sugere o conceito de Comunicação da Informação Cartográfica que seria a união dos processos ditos anteriormente. Existem sete fatores que agem neste processo: realidade, vista pelo cartógrafo; o sujeito que representa a realidade, ou seja, o cartógrafo; linguagem cartográfica como um sistema de símbolos e regras para o seu uso; o produto da cartografia, isto é o mapa; o sujeito que utiliza o mapa, isto é o usuário/leitor do mapa e a realidade vista pelo usuário do mapa.

METODOLOGIA

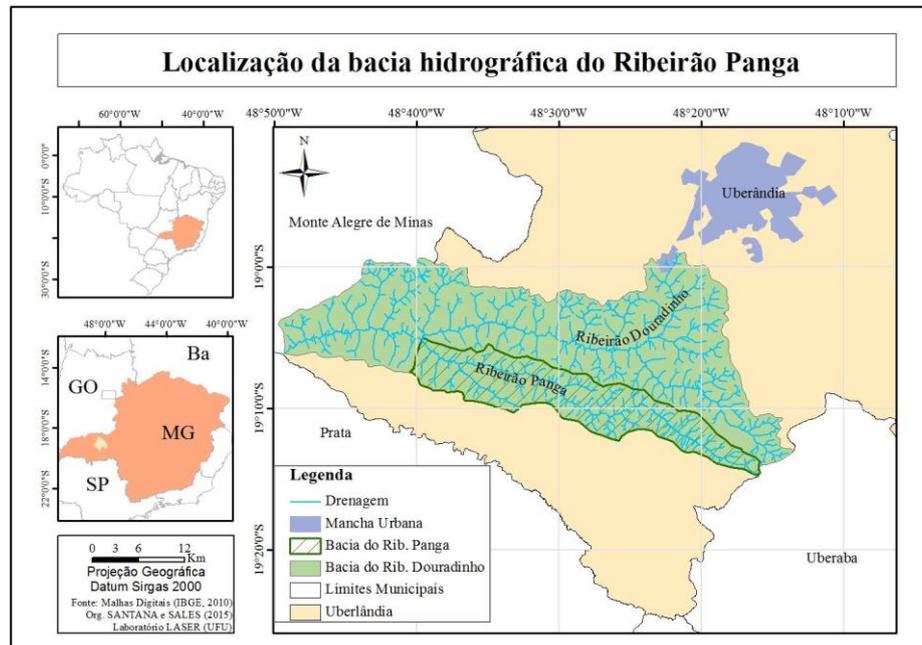
ÁREA DE ESTUDO

A escolha da área de estudo foi promovida a partir das variações do comprimento que os cursos d'água apresentassem, sendo essas feições hídricas encontradas via download das cartas topográficas (analógica e digital) do sítio do IBGE. Escolheu-se a bacia hidrográfica do ribeirão Panga localizada entre as coordenadas (19°05'S, 48°42'W) e (19°15'S, 48° 14'W), no município de Uberlândia, Estado de Minas Gerais (Figura 6).

Localizada a 30 km ao sul do centro da cidade de Uberlândia está contida na bacia hidrográfica do ribeirão do Panga a Estação Ecológica do Panga (ECP) que é uma Reserva Particular do Patrimônio Natural (Portaria IBAMA nº 072/97 de 4 de junho de 1997) e foi criada em 1986 pela Universidade Federal de Uberlândia (UFU), para a realização de pesquisas em ambientes naturais preservados (CARDOSO et al., 2009, MORENO; CARDOSO, 2005).

A bacia é um afluente da bacia hidrográfica do ribeirão Douradinho, cuja região está inserida no contexto de uso da terra voltado para os sistemas agrosilvipastoris de grande escala de produção. Em relação à vegetação, a mesma é definida pelo bioma Cerrado, apresentando onze tipos principais de fitofisionomias (SOUZA et al., 2014).

Figura 6 – Localização da bacia hidrográfica do Ribeirão Panga



Fonte: Autoria própria (2017).

MATERIAIS

Para extração das feições lineares contidas na bacia hidrográfica utilizaram-se ferramentas do software Quantum GIS 2.6.0, de domínio público. Nos estudos apresentados por Spekken et al. (2014), Macedo et al. (2015), Turchetto (2014), Ferreira e Ferreira(2013) e Nanni e Chaves (2011) trazem que esse software é útil e viável para diversas aplicações em geociências.

Um destaque maior pode ser dado para o estudo realizado por Ferreira e Ferreira (2013) que utilizou o plugin Open Layers (mesmo utilizado neste estudo) do Quantum GIS 2.6.0 para visualização dos dados - uma característica do plugin é utilizar a base do Google como “data set”. As imagens georreferenciadas são levadas diretamente para o ambiente de trabalho do Quantum GIS, permitindo utilizar as ferramentas de edição do GIS nas imagens e bases vetoriais do Google Earth/Maps assim como outras bases de dados, tais como Bing Maps e OpenStreetMaps.

Foram utilizados os softwares ArcGIS e SPRING. O ArcGIS foi disponibilizado no Laboratório de SIG e Geoprocessamento (SIGEO) do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica, no campus de Monte Carmelo, da Universidade Federal de Uberlândia. Esse software dispõe dos algoritmos para simplificação e de suavização, respectivamente, o de Douglas e Peucker (1973) e o PAEK, que foram testados por Spinola (2010) e Vasconcelos (2012). Com relação ao SPRING 5.3 que é um software gratuito disponibilizado pelo INPE, foi utilizado para correção de erros de topologia.

MÉTODOS

Para a digitalização da bacia hidrográfica foi fixada a escala de 1:50.000. Após o término da digitalização, os erros de topologia com parâmetros descritos na Tabela 1 foram corrigidos pelo software SPRING 5.3 (INPE, 2015).

Tabela 1 – Características dos parâmetros para correção dos erros de topologia

Modo	Topologia	Fator de digitalização	Tolerância (m)
Contínuo	Automática	0,50	0,10

Fonte: Autoria própria (2017).

A partir dos dados vetoriais digitalizados e corrigidos foram aplicados os operadores de generalização cartográfica simplificação e suavização. Segundo McMaster e Shea (1992, p. 56), o operador de generalização simplificação reduz as características de uma linha, onde existem muitos pontos, ele indicará pontos redundantes para que seja avaliada a necessidade de se reter ou rejeitar aquele trecho de caracteres da linha. Isso implica em uma “simplificação” daquela feição. Essa simplificação, se ocorrer de maneira planejada, pode ser pouco marcante quando houver a generalização: a simplificação, nesse caso, não suprimiu características importantes da feição, diminuindo o tamanho do arquivo a ser trabalhado, o que permite menor taxa de armazenamento em memória.

Ainda em McMaster e Shea (1992), o operador de generalização suavização pode ser caracterizado pela mudança de lugar de pontos na tentativa de suavizar perturbações em pequenas distâncias seguindo, apenas, as tendências mais significativas da linha. Esse operador produziu mudanças estéticas nas feições, deixando-as mais agradáveis à percepção.

Após o processo, os dados vetoriais foram comparados com as cartas topográficas disponibilizadas pelo IBGE, com objetivo de analisar possíveis interferências no processo de leitura do mapa.

RESULTADOS E DISCUSSÕES

ANÁLISE DAS CARTAS TOPOGRÁFICAS DISPONIBILIZADAS PELO IBGE

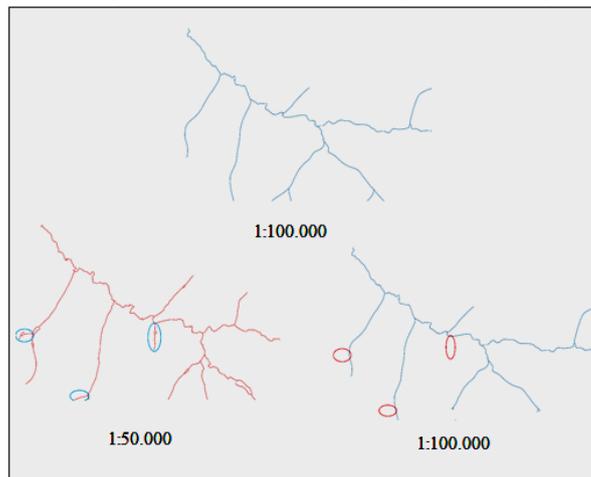
Entende-se por mapeamento a aplicação do processo cartográfico sobre uma coleção de dados ou informações, com vistas à obtenção de uma representação gráfica da realidade perceptível, comunicada a partir da associação de símbolos e outros recursos gráficos que caracterizam a linguagem cartográfica (IBGE, 2015).

Durante o mapeamento omissões significativas do objeto são inerentes. A decisão do que deve ser representado ou eliminado cabe ao produtor do mapa, tal decisão muitas vezes não segue nenhum procedimento pré-estabelecido. No Brasil, a exemplo, não existe normas específicas para este processo denominado de Generalização Cartográfica.

Nas cartas topográficas nas escalas de 1:50.000 e 1:100.000 disponibilizadas pelo IBGE foram retiradas as drenagens e desconsideradas as barragens, considerando apenas os cursos d' água (rios). Na análise visual do processo de

mudança de escala feita nas cartas da bacia do ribeirão do Panga, consideraram-se os aspectos da Comunicação Cartográfica. Visualmente alguns cursos d'água que são representativos para escala de 1:100.000 foram eliminados. A Figura 7 ilustra alguns dos 34 rios que foram desconsiderados pelo processo de mudança de escala: mostra a rede de drenagem em escalas distintas além de ressaltar alguns dos rios que desapareceram no processo.

Figura 7 – Representação dos rios eliminados no processo de generalização

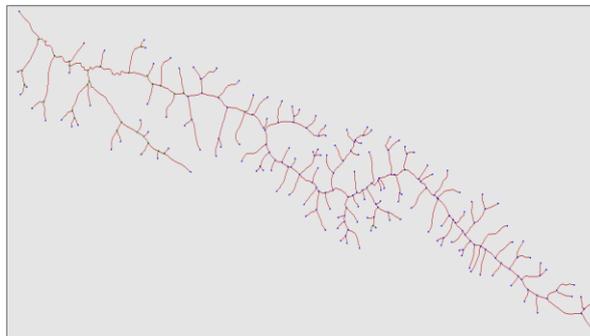


Fonte: Autoria própria (2017).

DIGITALIZAÇÃO DAS FEIÇÕES LINEARES

O processo de digitalização se sucedeu utilizando o *plugin open layer* do QGIS com escala fixada em 1:50.000. Foram verificados os seguintes problemas: pontos que não se reuniam num só nó e pontos que não foram quebrados. Desta forma, foram necessárias correções e a Figura 8 mostra uma representação do instante de correção, o qual as linhas vermelhas visualizadas compõem os dados vetoriais extraídos, os pontos em verde são os erros corrigidos e aqueles pontos apresentados em azul são pontos com erros que devem passar por correção, este procedimento foi realizado com suporte do software SPRING.

Figura 8 – Processo de correção dos erros de topologia



Fonte: Autoria própria (2017).

APLICAÇÃO DO ALGORITMO DE SIMPLIFICAÇÃO

Depois da digitalização das feições na escala de 1:50.000 foi feita a simplificação dos pontos com o objetivo de chegar em uma escala final de 1:100.000, originalmente haviam 2012 pontos depois da simplificação por meio do algoritmo de Douglas-Peucker estes foram reduzidos para 591 pontos (Tabela 2).

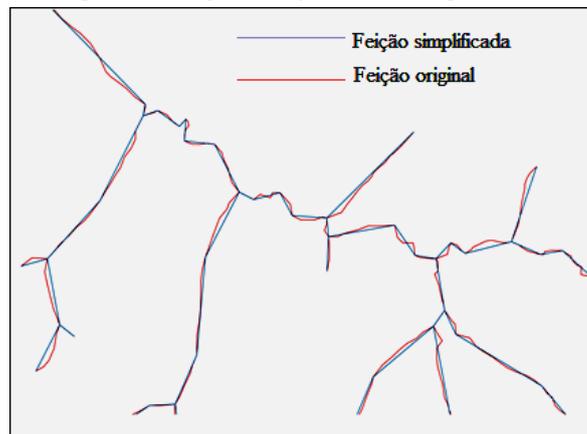
Para Vasconcelos (2012), um obstáculo na etapa de simplificação de linhas é a falta de regras no estabelecimento dos valores de tolerância em função da mudança de escala, já que o valor da tolerância determina o grau da generalização devendo ser definidos valores iguais ou superiores ao limiar de separação entre os elementos. A tolerância de 85 metros foi definida por meio de testes visuais de forma que a sua visualização ficasse na escala de 1:100.000, visualmente não há erros inerentes a aplicação do algoritmo (Figura 9).

Tabela 2 – Quantidade de pontos originais e simplificados

Pontos	Quantidades	Algoritmo	Tolerância (m)
Originais	2012	-----	-----
Simplificados	591	Douglas-Peucker	85

Fonte: Autoria própria (2017).

Figura 9 – Feições simplificada e original

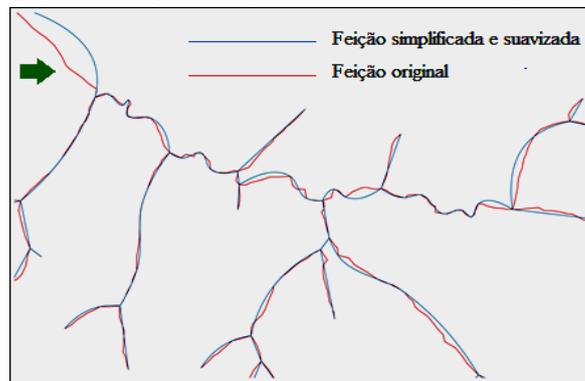


Fonte: Autoria própria (2017).

APLICAÇÃO DO ALGORITMO DE SUAUIZAÇÃO

Após a aplicação do algoritmo de simplificação, aplicou-se o algoritmo de suavização. Com tolerância de um metro, o algoritmo foi eficiente em suavizar a linha e deixar a representação mais condizente com a carta topográfica. Sabe-se que o operador suavização altera as feições com intuito de melhor representá-las, no entanto o operador se apresenta de forma ineficiente no trecho à jusante da bacia, indicado pela seta verde (Figura 10).

Figura 10 – Feições simplificada/suavizada e original



Fonte: Autoria própria (2017).

CONCLUSÃO

Um produto cartográfico é gerado com aplicações e utilizações bem específicas. Desta forma, informações sobre a finalidade do produto são essenciais a sua eficiência. É sabido que durante o processo existem abstrações, ou seja, omissão de objetos. Nesta tarefa a grande dificuldade é a análise de quais elementos devem ser eliminados no processo de mudança de escala.

Em ambiente digital, a tomada de decisão na geração dos produtos cartográficos é instaurada de forma automática, e pelo que se sabe não há consentimento sobre a melhor tolerância ou limiar para que o processo ocorra, em contra partida existe uma padronização na confecção que antes era manual, por conseguinte, variável.

Neste contexto, o estudo realizado seguiu o modelo de Generalização em Cartografia Digital proposto por McMaster e Shea (1992) com validação somente visual na análise das tolerâncias dos algoritmos de simplificação e suavização. Este tipo de validação caracteriza subjetividade de forma que para cada operador o valor pode variar e, neste sentido, se comprova que um tratamento padronizado acarretaria em um produto mais confiável.

Nesta forma, foi notado que em termos de detalhes específicos ligados aos cursos dos rios as cartas apresentadas pelo IBGE apresentam eliminação de informações menores, qualificado um maior número de informação e apresenta sinuosidades melhores definidas. Ao passo que se tratando da rede de drenagem como um todo existem rios que são eliminados sem justificativas aparentes nas cartas disponibilizadas pelo IBGE.

Evaluation of geometric generalization operators simplification and smoothing in the process of cartographic communication: analysis of hydrographic representations in topographic maps

ABSTRACT

The manual process of cartographic generalization occurs many times intuitively and varies according with the professional that execute it, very subjective, its utilization has been discussed by authors as McMaster and Sea (1992) which proposed a conceptual model to automate it. Two types of generalization transformation stand out in this model: spatial and attributes. In the spatial transformation it is associated with the geometric generalization and in the attributes with the conceptual generalization. It seeks to analyze the linear feature and its semantics aspect in the topographic map. The topographic maps used are related to scales 1: 50 000 and 1: 100 000 in the area of Ribeirão Panga in the municipality of Uberlândia (MG). For the extraction of linear features contained in the basin of this river tools of the software Quantum Gis, of public domain, and ArcGis were used. From the transformation process described by McMaster and Sea (1992) the operator for simplifying and smoothing was used. For this purpose, were used the algorithms of Douglas and Peucker (1973), created to simplify points and the PAEK oriented smoothing of linear features provided on the tool "generalize" of the ArcGis. After applying these operators a comparison was made with maps provided by IBGE and it was observed that the operators acted according to the expected in areas where there are changes in the length of the rivers. However, on the other hand, positioning errors and the suppression of the linear feature were detected.

KEYWORDS: cartographic generalization. topographic maps. simplifying. smoothing.

AGRADECIMENTO

Os autores agradecem ao CNPq pela bolsa de iniciação científica concedida para execução desta pesquisa.

REFERÊNCIAS

BALBOA, J. L.G. **Automatización de los procesos de segmentación y clasificación de vías de comunicación em generalización cartográfica**. Tese, Universidade de Jaén, Departamento de Ingeniería Cartográfica, Geodésica y Fotogrametría. Espanha, 2006. 345 p.

BERTIN, J. Les constantes de la cartographie. **International Yearbook of Cartography**. p. 182-187. 1971.

BOARD, C. The Geographer's Contribution to Evaluating Maps as Vehicles for Communicating Information. **International Yearbook of Cartography**. p. 47-59, 1977.

BORBOREMA, A.C. Generalização Cartográfica em Ambientes SIG. **XXV Congresso Brasileiro de Cartografia**. 2011. Disponível em: <http://www.cartografia.org.br/cbc/trabalhos/6/738/CT06-121_1404434129.pdf>. Acesso em: 24 jan 2015.

BRASSEL, K. E; WEIBEL, R. A review and conceptual framework of automated map generalization. **International Journal of Geographical Information Systems**, v.2, n. 3, p. 229-244, 1988.

BRAVO, J. V. M. **Os operadores de generalização geométrica suavização, simplificação, deslocamento e refinamento aplicados ás cartas topográficas da bacia do rio Marumbi (PR) e suas implicações na variação dos índices morfológicos**. 2011. 93 f. Monografia - Curso de Geografia, Universidade Estadual de Maringá, Maringá, 2011. Disponível em: <[http://www.dge.uem.br/gavich/downloads/TCC Bravo.pdf](http://www.dge.uem.br/gavich/downloads/TCC%20Bravo.pdf)>. Acesso em: 9 jul. 2015.

CAMBOIM, S. P et al. Mapeamento sistemático: a base para as infraestruturas nacionais de dados espaciais. **II Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**, Recife, 2008.

CARDOSO, E. et al. Mudanças fitofisionômicas no cerrado: 18 anos de sucessão ecológica na estação ecológica do Panga, Uberlândia - MG. **Caminhos de Geografia, Uberlândia**, v. 10, n. 32, p.254-268, dez. 2009. Disponível em:

<<http://www.seer.ufu.br/index.php/caminhosdegeografia>>. Acesso em: 04 jul. 2015.

CONCAR, Comissão Nacional de Cartografia. Legislação Cartográfica: Nota Introdutória.<<http://www.concar.ibge.gov.br/indexdca0.html?q=node/21>>. Acesso em: 26 jun. 2008.

D'ALGE, J. C. L. **Generalização cartográfica em sistemas de informação geográfica: aplicação aos mapas de vegetação da Amazônia Brasileira**. 2007.132p. Tese (Doutorado) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. São Paulo, 2007. Disponível em: <http://www.dpi.inpe.br/~julio/arquivos/Tese_JulioDalge.pdf>. Acesso: 23 jan. 2015.

DENT, B. D. **Principles of thematic map design**. Massachusetts: Addison-Wesley, 1978.

DOUGLAS, D. H.; PEUKER, T. K. **Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature**. Canadian Cartographer, 1973.

ESRI, Environmental Systems Research Institute. Automation of Map Generalization. **The Cutting-Edge Technology**. California, 1996.

FERREIRA, M. C.; FERREIRA, M. M. Informações espaciais de cartas antigas visualizadas em imagens digitais atuais: uma contribuição do SIG à arqueologia da paisagem. **Revista do Departamento de Geografia da Universidade de São Paulo**, São Paulo, 2013. p.1-14.

GUELKE, L. Cartographic communication and geographic understanding. **The Nature of Cartography Communication**, University of Toronto. p. 129-145. Toronto, 1977.

INPE. Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais. **SPRING 5.3** . Disponível em:<<http://www.dpi.inpe.br/spring/>>. Acesso em 06 jul. 2015.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhar Digital Vetorial. 1972. Disponível em:<<http://mapas.ibge.gov.br/pt/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/cartas>>. Acesso em 06 jul. 2015.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Malhar Digital Municipal. 2010. Disponível em:< <http://mapas.ibge.gov.br/pt/bases-e-referenciais/bases-cartograficas/malhas-digitais>>. Acesso em 06 jul. 2015.

IBGE. Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Noções Básicas de Cartografia. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/home/geociencias/cartografia/manual_nocoos/processo_cartografico.html>. Acesso em: 10 jul. 2015.

KOLACNY, A. Cartographic information: a fundamental concept and term in modern cartography. **The Canadian Cartographer**. University of Toronto Press, Toronto, 1969. P. 39-45.

KRAAK, M. J.; ORMELING, F. J. **Cartography visualization os spatial data**. London: Longman, 1998.

LI, Z. **Algorithmic Foundations of Multi-Scale Spatial Representation**. Boca Raton: CRC Press, 2006.

LOPES, J. **Generalização Cartográfica**. Lisboa, 2005. Dissertação (Mestrado) – Universidade de Lisboa. Disponível em<http://enggeoespacial.fc.ul.pt/ficheiros/teses/tese_jose_lopes.pdf>. Acesso em: 23 jan. 2015.

MACEDO, G. Z., MASSON, D. deS., PEREIRA, J. G. Caracterização do diagnóstico ambiental do Parque Estadual do Prosa. **Anais XVII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**, João Pessoa, 2015.

McMASTER, R. B.; SHEA, K. S. **Generalization in Digital Cartography**. 1.ed. Washington: Association of American Geographers, 1992.

MENDONÇA, A. L. A. de; SLUTER, C. R. Análise da relação entre ensino e pesquisa em ciências geodésicas e a cobertura do mapeamento sistemático no Brasil. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 63, 2011.

MORENO, M. I. C.; CARDOSO, E. Utilização do método twinspace na delimitação de formações vegetacionais do cerrado. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 16, n. 16, p.108-116, out. 2005. Disponível em: <<http://www.ig.ufu.br/revista/caminhos.html>>. Acesso em: 04 jul. 2015.

MORRISON, J. L. A theoretical framework for cartographic generalization with emphasis on the process of symbolization. **International Yearbook of Cartography**, n.14, p.115-127, 1974.

MÜLLER, J. C. et al. **Generalization: State of the Art and Issues**. In: Müller, J. C.; Lagrange, J. P.; Weibel, R. (eds.) **GIS and Generalization – Methodology and Practice**, London, Taylor & Francis, 1995.

NANNI, A. S.; CHAVES, A. O. Uso de aplicativos computacionais livres em disciplinas de mapeamento geológico. **RevistaGeoFocus** (Informes y comentarios), 2011.nº 11 , p.55-65.

NICKERSON, B. G.; FREEMAN, H. R. Desenvolvimento de rule-based system for automatic map generalization. Proceedings, **Second International Symposium on Spatial Data Handling**, Seattle, Washington. Williamsville, N.Y.: International Geographical Union Commission on Geographical Data Sensing and Processing, 1986.

QUEIROZ, D.R.E. **O Mapa e seu papel de comunicação** – Ensaio Metodológico de Cartografia Temática em Maringá –PR. São Paulo, 1994. (Master's Thesis in Geography) - Faculdade de Filosofia, Letras e Ciências Humanas, Universidade de São Paulo

RATAJSTKI, L. Phenomenes des points generalization. **International Yearbook of Cartography**, n. 7, p. 143-151, 1967.

_____. The Research Structure of Theoretical Cartography. **The Canadian Cartographer**. University of Toronto Press. p. 46-57. Toronto, 1977.

ROBINSON, A. H.; PETCHENIK, B. B. The map as a communication system. **The Nature of Cartographic Communication**, University of Toronto. p. 92 -100. Toronto, 1997.

SÁ, L A. C. M. de; VASCONCELOS, T. L. Generalização cartográfica de feições lineares. **Anais do IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. 2012. Disponível em:<https://www.ufpe.br/cgtg/SIMGEOIV/CD/artigos/Todos_Artigos/173_2.pdf> . Acesso em: 25 jan. 2015.

SALICHTCHEV, K. A. The subject and method of cartography: contemporary views. **The Canadian Cartographer**, University of Toronto Press. p. 77-87. Toronto, 1970.

SOUZA, J. dos R. de; REIS, L. N. G. dos; PEDROSA, A. S. Caracterização e susceptibilidade ecológica dos fragmentos florestais nas bacias do Ribeirão Douradinho e Ribeirão Estiva - Minas Gerais. **Caminhos de Geografia**, Uberlândia, v. 51, n. 15, p.85-94, set. 2014.

SPEKKEN, M.;BRUIN, S. de;MOLIN, J. P. Ferramentas para sistematização de percursos de máquinasagrícolas sobre relevo declivoso. **Congresso Brasileiro de Agricultura de Precisão**, São Paulo, 2014.

SPINOLA, D. N. **Generalização cartográfica em SIG aplicada a um mapa de uso e cobertura do solo em formato vetorial e matricial**. 2010. 133 f. TCC (Graduação) - Curso de Geografia, Departamento de Geografia, Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010.

TANG, A.Y.; ADAMS T.M.; E.L. Usery, **A spatialdata model design for feature-based geographical information systems**, INT.J.Geographical Information Systems, 1996, Vol.10, No.5, pages 643-659.

TURCHETTO, N. L. et al. O uso do quantum GIS (QGIS) para caracterização e delimitação de área degradada por atividade de mineração de basalto no município de Tentente Portela (RS). **Reget**, Santa Maria, v. 18, n. 2, p.719-726, 31 ago. 2014. Universidade Federal de Santa Maria. DOI: 10.5902/2236117013101.

VASCONCELOS, T. L. **Generalização Cartográfica para feições lineares em ambiente digital**. 2012. 103 f. Dissertação (Mestrado) - Mestrado em Ciências Geodésicas e Tecnologias de Geoinformação, Engenharia Cartográfica, Universidade Federal de Pernambuco, Recife, 2012.

Recebido: 16 out. 2016

Aprovado: 29 ago. 2017

DOI: 10.3895/rbgeo.v5n4.5512

Como citar: SANTANA, T. A.; SALES, V. F.; SANTIL, F. L. P.; GALLIS, R. B. A. Avaliação dos operadores de generalização geométrica simplificação e suavização no processo de comunicação cartográfica: análise da representação hidrográfica nas cartas topográficas. **R. bras. Geom.**, Curitiba, v. 5, n. 4, p. 484-503, out/dez. 2017. Disponível em: <<https://periodicos.utfpr.edu.br/rbgeo>>. Acesso em: XXX.

Correspondência:

Tulio Alves Santana

Rua Inês Francisca de Melo, 14, CEP 38600-000, Paracatu, Minas Gerais, Brasil.

Direito autoral: Este artigo está licenciado sob os termos da Licença Creative Commons-Atribuição 4.0 Internacional.

