



# Influência da densidade de vértices nos métodos Distância de *Hausdorff* e Influência do Vértice

Influence of the density of vertices on the Hausdorff Distance and Vertex Influence methods

*Youlia Kamei Saito*<sup>1</sup>

*Lucas José Ferreira Viana*<sup>1</sup>

*Sidmar Rodrigo da Silva*<sup>1</sup>

*Iann Gomes Rodrigues da Fonseca*<sup>1</sup>

*Afonso de Paula dos Santos*<sup>1,22</sup>

Recebido em agosto de 2018.  
Aprovado em junho de 2019.

## RESUMO

A utilização de feições lineares para controle de qualidade cartográfica é benéfica devido ao fato destas representarem a maioria dos dados em uma base cartográfica e apresentarem boa cobertura espacial. Entretanto, a aplicação de alguns métodos de controle de qualidade utilizando feições lineares a partir do cálculo de discrepâncias posicionais entre linhas homólogas pode não traduzir resultados coerentes, principalmente os métodos que se baseiam nas distâncias entre os vértices de linhas homólogas. Este trabalho visa avaliar as discrepâncias resultantes dos métodos Distância de *Hausdorff* e Influência do Vértice a partir do uso de feições lineares de hidrografia numérica e linhas de cumeada, extraídas de dois Modelos Digitais de Superfície. Para esta análise, adicionaram-se vértices ao longo das feições lineares extraídas (densificação de vértices) e compararam-se os resultados com as feições originais. Notou-se que para o método Distância de *Hausdorff*, as discrepâncias utilizando linhas densificadas foram menores que as discrepâncias obtidas utilizando-se as feições originais: a média e o RMS da amostra utilizando feições foram 19,9 m e 20,7 m e, para as feições densificadas, foram 18,6 m e 19,5 m respectivamente. Já para o método Influência do Vértice, os valores apresentaram diferenças mínimas: a média e o RMS utilizando feições originais foram 16,8 m e 17,8 m e, para as feições densificadas, foram 16,7

---

<sup>1</sup> Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, Área de Concentração em Informações Espaciais, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa-MG, Brasil.  
E-mail: youlia.saito@ufv.br; lucas.jose@ufv.br; sidmarph@hotmail.com; iann.fonseca@ufv.br

<sup>2</sup> Setor de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica – EAM, Departamento de Engenharia Civil, Universidade Federal de Viçosa – UFV, Viçosa-MG, Brasil.  
E-mail: afonso.santos@ufv.br

m e 17,7 m respectivamente. Este resultado está diretamente relacionado com o desenvolvimento matemático dos próprios métodos sendo recomendada a densificação das feições lineares ao se aplicar os métodos citados.

**PALAVRAS-CHAVE:** Controle de Qualidade Cartográfica. Feições Lineares. Distância de *Hausdorff*. Influência do Vértice.

#### **ABSTRACT**

Using linear features for cartographic quality control is advantageous because they represent the majority of the data in a cartographic base and are spatially well distributed over it. However, the application of some linear feature methods from the calculation of positional discrepancies between homologous lines may not translate the true geometry of these lines, mainly the methods that are based on the distances between the vertices of homologous lines. This work aims at evaluating the discrepancies obtained from the Hausdorff Distance and Vertex Influence methods using densified linear features of numerical hydrography and watershed lines, extracted from two Digital Surface Models. For this analysis, vertices were added along the extracted linear features (vertex densification) and the results were compared with the original features. For the Hausdorff Distance method, the discrepancies using densified linear features were relatively lower than the discrepancies obtained using unaltered features: the average and the RMS of the sample using features were 19.9 m and 20.7 m and, for the densified features, were 18.6 m and 19.5 m respectively. In the other hand, for the Vertex Influence method, the discrepancies showed minimal differences: the average and the RMS of the sample using unaltered features were 16.8 m and 17.8 m and, for the densified features, were 16.7 m and 17.7 m respectively. This result is directly related to the mathematical development of the methods themselves. Finally, the densification of linear features is recommended when applying the Hausdorff Distance and Vertex Influence methods to classify a cartographic product.

**KEYWORDS:** Cartographic Quality Control. Linear Features. Hausdorff Distance. Vertex Influence.

\* \* \*

## **Introdução**

O avanço tecnológico possibilitou a diminuição de custo de equipamentos e softwares capazes de obter e processar dados geoespaciais, o que acarretou na facilidade com que produtos cartográficos pudessem ser adquiridos. Conseqüentemente, vários profissionais, muitos sem os devidos conhecimentos na área, passaram a ingressar neste campo, levando à

necessidade de se analisar a qualidade dos produtos gerados (GALO e CAMARGO, 1994; SANTOS et al., 2015).

Neste contexto, vale ressaltar o termo qualidade que é definido pelo conjunto de características e ações que um produto ou serviço apresenta, proporcionando confiança e satisfação ao usuário (ATKINSON e ARIZA, 2002). Quando aplicado à cartografia, a qualidade torna-se um requisito básico a ser analisado (MOZAS e ARIZA, 2011). Evidentemente, o controle de qualidade cartográfica deve ser normatizado para garantir a padronização da qualidade dos produtos cartográficos.

As normas nacionais atualmente vigentes que estabelecem e descrevem regras sobre a qualidade cartográfica (em meio terrestre) são: Decreto nº 89.817 de 1984; NBR-13.133 de 1994; ET-CQDG da INDE em 2016; Manual do IBGE de 2017 e; a Norma de Execução nº 02 do INCRA de 2018. Todas essas normas citadas consideram apenas feições pontuais para avaliação da acurácia posicional. O elemento de controle de qualidade cartográfico comumente avaliado por esses normativos é a acurácia posicional, sendo que a INDE também engloba os elementos acurácia temática, temporalidade, consistência lógica e completude através da ET-CQDG (Especificação Técnica para o Controle de Qualidade dos Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais).

Segundo a DSG (2016), acurácia posicional pode ser classificada em relativa ou interna, quando existe discrepância “entre as posições relativas dos objetos e as posições relativas reais ou aceitadas como certas”, ou seja, aquelas tomadas como referência, e em absoluta, quando existe discrepância entre as coordenadas das feições avaliadas e as coordenadas das feições tomadas como referência, as quais possuem maior precisão.

Entretanto, de acordo com Mozas e Ariza (2011), deve-se atentar ao fato de que cerca de 80% dos dados presentes em uma base cartográfica tem estrutura linear e que usualmente as feições lineares apresentam boa distribuição espacial, como redes de rodovias e hidrografia, além de apresentarem diversas informações geométricas como vértices, segmentos e

orientação. Neste contexto, surgem métodos que utilizam feições lineares para comparação entre linhas homólogas do produto de teste em relação aos dados de referência. Estes métodos consideram medidas geométricas das feições em si, como o comprimento de seus segmentos e o número de vértices, além de medidas de interação entre feições distintas, como percentual de inclusão de um segmento em outro (LUGNANI, 1980; LUGNANI, 1986; FERREIRA e CINTRA, 1999; DAL POZ, GALO e FERREIRA, 2001; SANTOS et al., 2015).

Dentre os métodos de avaliação da acurácia posicional planimétrica através de feições lineares podem-se destacar os métodos determinísticos que realizam análises geométricas: a Distância de *Hausdorff* e a Influência do Vértice. Estes métodos consideram informações dos vértices dos segmentos das feições lineares para o cálculo de um valor de discrepância média entre as linhas homólogas. Ambos os métodos descritos e detalhados em Ariza et al. (2011) e em Mozas e Ariza (2011), são sintetizados e adaptados aos padrões nacionais em Santos et al. (2015).

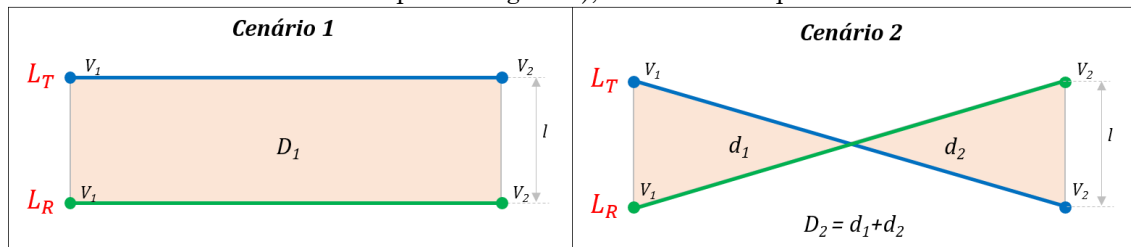
Segundo Santos et al. (2015), o método da Distância de *Hausdorff*, desenvolvido por Abbas (1994), é utilizado para recuperar informações e analisar a similaridade entre objetos vetoriais ou imagens. A métrica da distância de *Hausdorff* consiste em obter o valor máximo das menores distâncias entre duas linhas homólogas. Já no método da Influência do Vértice, desenvolvido por Mozas e Ariza (2011), obtém-se uma medida de discrepância a partir dos valores das distâncias euclidianas entre os vértices da linha de referência para os vértices da linha teste, ponderando-as em relação aos comprimentos dos segmentos adjacentes dos vértices da linha de referência.

Contudo, pode-se pontuar uma incoerência na aplicação destes métodos, a qual está relacionada com a posição de uma linha em relação à sua homóloga. Por exemplo, se considerado um par de segmentos de linha (um de teste e um de referência) com dois vértices extremos cada, ambos com o mesmo comprimento, e dois cenários diferentes, como exemplificado

na Figura 1: o primeiro (Cenário 1) considerando os pares de linhas paralelos entre si, e o segundo (Cenário 2), considerando os pares de linhas concorrentes entre si, mas mantendo a distância ( $l$ ) entres os vértices extremos de uma linha à sua homóloga. Como já explanado, os métodos Distância de *Hausdorff* e Influência do Vértice considerariam apenas a distância entre os vértices do segmento de linha de teste e seu homólogo, independentemente do comportamento de tais linhas entre os seus respectivos vértices.

Dessa forma, devido à geometria destas feições lineares, a discrepância posicional no Cenário 1 seria maior do que no Cenário 2, como pode ser evidenciado na Figura 1. Porém, aplicando os métodos Distância de *Hausdorff* e Influência do Vértice, não seria possível a identificação dessa diferença. Apenas se verificaria o mesmo valor de discrepância em ambas as situações, fato esse inverídico.

Figura 1 – Cenários envolvendo um par de segmentos de linha (um de teste  $L_T$  e um de referência  $L_R$ ) e a as áreas entre os seguimentos em cada cenário ( $D_1$  para o primeiro cenário e  $D_2$  para o segundo), onde nota-se que  $D_1 > D_2$



Fonte: Elaborada pelos autores.

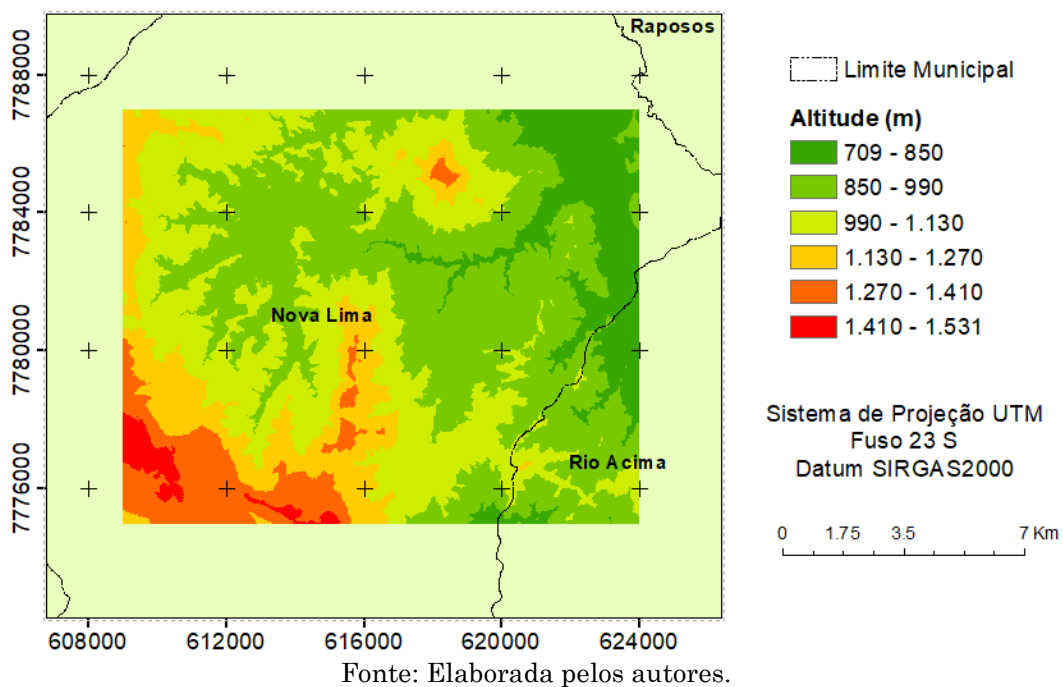
Visando contornar esse problema, sugere-se adicionar vértices ao longo das feições lineares consideradas (densificação de vértices nas feições) e aplicar os métodos de avaliação de acurácia posicional planimétrica para feições lineares supracitados em sequência. Este trabalho objetiva, portanto, avaliar a acurácia posicional planimétrica de um produto cartográfico a partir da aplicação dos métodos Distância de *Hausdorff* e a Influência do Vértice utilizando feições lineares densificadas.

## 1 Materiais e Métodos

### 1.1 Área de Estudo

A área de estudo deste trabalho corresponde a região da Bacia do Ribeirão dos Macacos no município de Nova Lima - MG, abrangendo ainda uma pequena parte do município de Rio Acima - MG (Figura 2). A região estudada é predominantemente montanhosa, com altitudes variando de 709 m a 1531 m, e possui uma área de aproximadamente 180 km<sup>2</sup>, delimitada pelas latitudes 20°00'38"S e 20°07'05"S e longitudes 43°57'28"W a 43°48'49"W. A região se destaca pela extração de minério e pela urbanização acelerada.

Figura 2 – Área de Estudo: Bacia do Ribeirão dos Macacos localizada no município de Nova Lima – MG



### 1.2 Materiais

Para a realização do presente estudo foram utilizados dois Modelos Digitais de Superfície (MDS), um a ser avaliado e outro usado como modelo

de referência. Este último é mais acurado que o produto avaliado em concordância com as especificações do Decreto 89.817 aliado à ET-CQDG. São estes:

- a) Um MDS SRTM (*Shuttle Radar Topographic Mission*), banda X, com resolução espacial de 30 metros, obtido gratuitamente através da Agência Aeroespacial Alemã DLR (*Deutschen Zentrums für Luft- und Raumfahrt*) e utilizado por Santos et al. (2016). O produto adquirido está referenciado ao sistema de projeção UTM, Fuso 23S, Datum SIRGAS2000;
- b) Um MDS utilizado por Santos (2015), com resolução espacial de 1,2 metros obtido por aerofotogrametria digital e cedido pelo Instituto de Geoinformação e Tecnologia do Estado de Minas Gerais (IGTEC). O produto adquirido está referenciado ao sistema de projeção UTM, Fuso 23S, Datum SIRGAS2000.

Além disso, para aplicação das ferramentas e o processamento dos dados foi utilizado o software ArcGIS 10.5.

### 1.3 Metodologia

A priori, adotou-se uma escala de trabalho de 1:100.000 para o produto cartográfico avaliado em questão. Para a realização do estudo, foram necessárias três etapas para o processamento: extração das feições lineares de interesse, amostragem e a aplicação dos métodos de feições lineares.

#### 1.3.1 Extração das Feições Lineares

As feições lineares extraídas dos MDS correspondem às linhas de cumeada da região e à hidrografia numérica, termo utilizado para se referir à uma rede de drenagem obtida automaticamente a partir de um Modelo

Digital de Elevação – MDE. A metodologia aplicada é a mesma utilizada e apresentada detalhadamente por Santos et al. (2016).

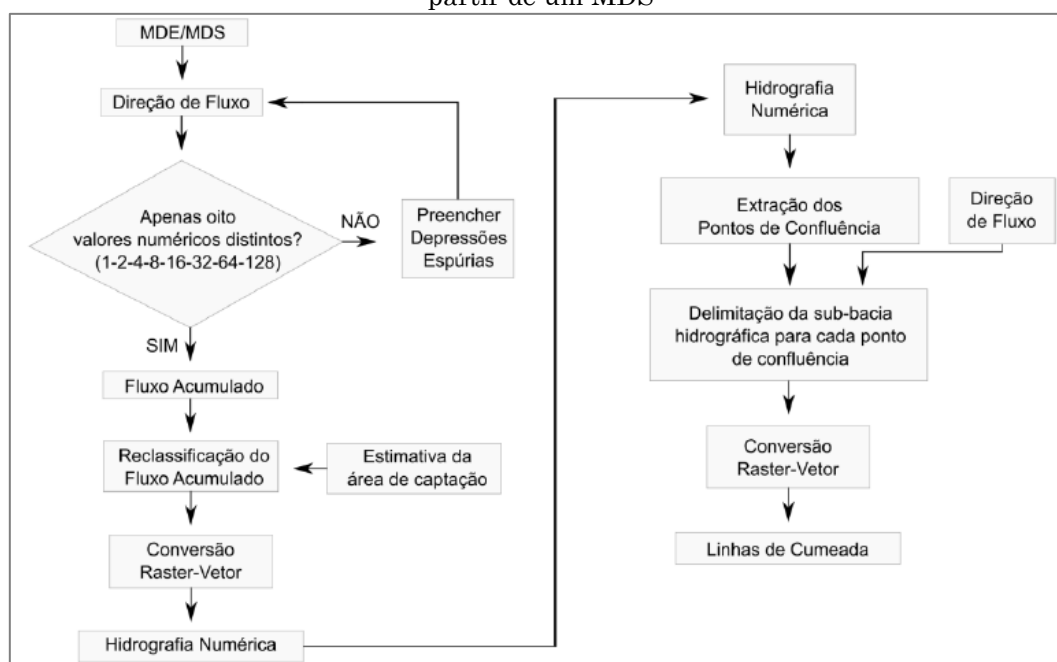
Primeiramente, obtêm-se a direção de fluxo do MDE através do algoritmo determinístico das Oito Direções (D8). Este se baseia no conceito de que o escoamento a partir de cada célula do MDE possui no máximo oito direções possíveis, correspondentes às oito células vizinhas circundantes. O fluxo de escoamento se dá então na direção da maior declividade. Caso a célula em análise apresente células vizinhas cujas elevações sejam, verifica-se que o modelo está inconsistente e há depressões espúrias (SARMENTO et al., 2011). Daí surge a necessidade de correção do modelo, preenchendo todas as depressões espúrias de modo que o fluxo em qualquer localização do MDE consiga atingir a foz da bacia hidrográfica. Com o novo modelo, extrai-se novamente a direção de fluxo. A seguir, cria-se o mapa de fluxo acumulado em que cada célula apresenta um valor numérico correspondente à quantidade de células a montante que contribuiriam com o escoamento que passa por esta célula em análise (SANTOS et al., 2016).

Segundo Fernández et al. (2012), o método mais comum para a extração da hidrografia numérica é a estimativa da área de captação, definida pela somatória das áreas superficiais de todas as células, cujo escoamento contribui para o ponto em questão. O valor adotado como estimativa da área de captação para a região de estudo foi de 10 ha. Após a conversão das células consideradas como cursos d'água para o formato vetorial, desconsiderando qualquer processo de simplificação geométrica, obtém-se a hidrografia numérica.

A seguir, extraem-se os pontos de confluência da rede hidrográfica, que são os últimos vértices de cada trecho (feição) da hidrografia. Calcula-se então a área de captação para cada confluência e convertem-se as delimitações dessas áreas para o formato vetorial em polígonos. A linha de cumeada é a delimitação de divisa entre os polígonos das bacias de acumulação geradas para cada ponto de confluência (SANTOS et al., 2016). O fluxograma da exemplifica o processo utilizado.



Figura 3 – Fluxograma para extração das linhas de cumeada e da hidrografia numérica a partir de um MDS



Fonte: SANTOS et al. (2016).

### 1.3.2 Amostragem

De posse das feições lineares, partiu-se para a etapa da definição do tamanho amostral utilizado na avaliação da acurácia posicional.

Santos et al. (2016) relata a falta de pesquisas e de consenso em relação ao número de elementos, principalmente quando se trabalha com feições lineares. Neste estudo, utilizou-se a definição do tamanho amostral utilizando as normas ISO 2859-1 e ISO 2859-2, recomendadas pelo Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE) em seu manual de controle de qualidade cartográfica publicado em 2017 e a ET-CQDG de 2016 (DSG, 2016; IBGE, 2017).

Como o presente estudo trata-se da análise de um produto cartográfico isolado, o tamanho da amostra (n) dependerá do nível de inspeção e da Qualidade Limite (QL). O nível de inspeção fixa a relação entre o tamanho do lote (N) – unidade mínima em que os procedimentos de qualidade podem ser aplicados – e o tamanho da amostra. Já a QL é a probabilidade de aceitação de um lote de má qualidade.

Primeiramente, define-se a QL em porcentagem a partir do nível de inspeção e do tamanho do lote. No presente trabalho, utilizou-se a inspeção amostral orientada por feição geográfica, conforme recomendado por IBGE (2017). No processo de extração de feições do item 3.1 foram totalizados 2049 linhas (entre hidrografia numérica e linhas de cumeada), que foram adotados como sendo o tamanho do lote. De posse do tamanho do lote e um nível de inspeção normal (II) (IBGE, 2017), obtém-se uma QL igual a 12,5%.

Posteriormente, define-se o tamanho da amostra (n) segundo a QL e o tamanho do lote. Para uma QL igual a 12,5% e um lote de tamanho igual a 2049, obtém-se uma amostra de tamanho igual a 50 ( $n = 50$ ).

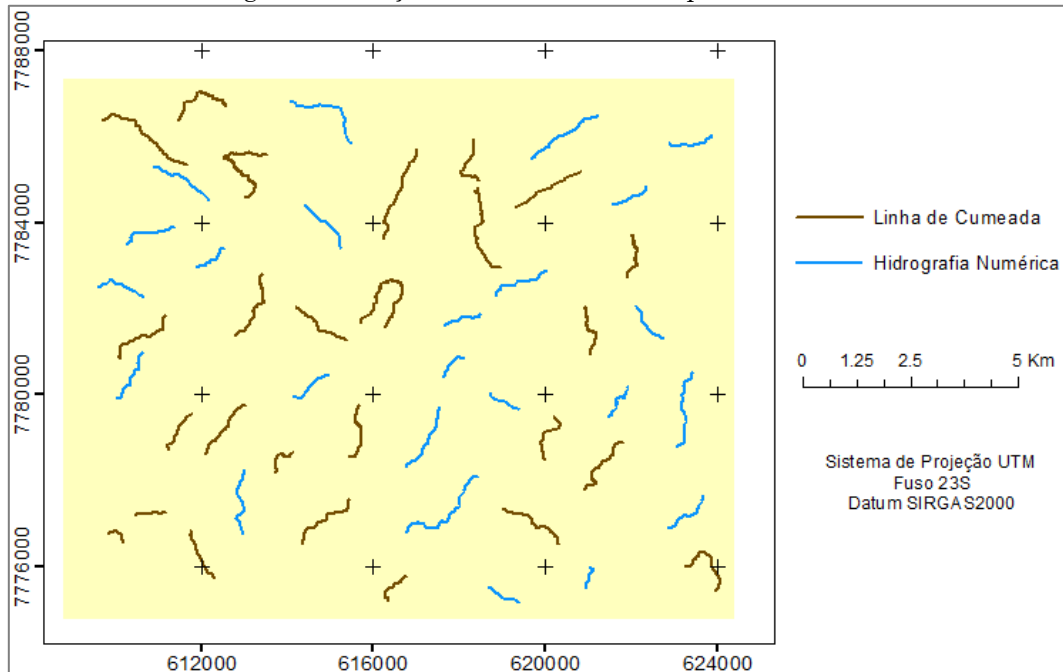
Com o tamanho da amostra definida, foi realizada uma amostragem aleatória, intercalando entre a seleção de linhas de hidrografia numérica e de linhas de cumeada, de acordo com a disponibilidade e boa definição das feições. Objetivou-se obter uma boa cobertura e distribuição espacial das feições selecionadas na área de estudo.

Adotaram-se ainda, as recomendações apresentadas por Santos et al. (2016) para a escolha de trechos de linhas de cumeada e de hidrografia numérica. Tratam-se de estratégias que proporcionam uma análise mais representativa e, portanto, mais confiável. São elas:

- a) Desconsiderar trechos de nascente, objetivando “[...] não influenciar a diferença entre as áreas de acumulação da linha de referência e da linha de teste”;
- b) Incluir trechos bem definidos correspondentes às interseções de linhas de cumeado e de hidrografia (confluências);
- c) Rejeitar trechos que possuem massas d’água; e
- d) Variar o comprimento dos trechos selecionados.

Ao final, foram coletadas 26 feições de linhas de cumeada e 24 feições de hidrografia numérica (Figura 4).

Figura 4 – Feições lineares utilizadas para a análise



Fonte: Elaborada pelos autores.

### 1.3.3 Aplicação dos Métodos

Como já mencionado, o método da Distância de *Hausdorff* consiste na obtenção do valor máximo entre as menores distâncias euclidianas entre duas linhas. Esta medida pode ser usada para análise de discrepâncias e consequentemente, para a análise da acurácia posicional de um produto (ARIZA et al., 2011; SANTOS, 2015).

Para a aplicação do método, primeiramente, deve-se obter a menor distância de cada vértice da linha teste  $i$  em relação a qualquer segmento da linha de referência homóloga e a menor distância de cada vértice da linha de referência homóloga em relação a qualquer segmento da linha teste  $i$ . Então, calcular a média de todas as menores distâncias calculadas da linha de teste em relação a linha de referência ( $d_1$ ) e a média de todas as menores distâncias calculadas da linha de referência em relação a linha de teste ( $d_2$ ). A Distância de Hausdorff ( $d_h$ ) para cada linha  $i$  será o maior valor entre  $d_1$  e  $d_2$  (Equação 1) (SANTOS, 2015).

$$d_h = \max[d_1, d_2] \quad (1)$$

Para a classificação de um produto cartográfico segundo o Decreto Lei 89.817/ET-CQDG, o valor de  $d_h$  é usado como uma medida de discrepância. Assim, caso 90% das linhas testadas apresentarem valores de  $d_h$  menores ou iguais ao valor do PEC-PCD e se a Raiz da discrepância Quadrática Média (RMS) da amostra de  $d_h$  (Equação 2) for menor ou igual ao valor do EP para a classe e escala adotadas, classifica-se o dado espacial como acurado para aquela classe e escala. Caso não atenda às condições, deve-se testar outra classe ou escala (SANTOS et al., 2015).

$$RMS = \sqrt{\sum \frac{d_h^2}{n}} \quad (2)$$

O método da Influência do Vértice se baseia na determinação da distância euclidiana a partir dos vértices da linha de referência ( $L_R$ ) para a linha de teste ( $L_T$ ). Para um par de linhas homólogas de teste ( $L_T$ ) e de referência ( $L_R$ ), deve-se calcular o comprimento ( $CL_{R_i}$ ) e extrair os vértices da linha de referência. Então, calcula-se a menor distância ( $dh_k$ ) para cada vértice  $k$  da linha referência em relação a qualquer segmento da linha teste e obtém-se os valores dos comprimentos dos segmentos de retas anteriores ( $l_k^{k-1}$ ) e posteriores ( $l_k^{k+1}$ ) aos vértices  $k$  da linha referência. A discrepância média ( $D_i$ ) para cada linha  $i$  é calculada pela equação (Equação 3) (MOZAS e ARIZAS, 2011; SANTOS, 2015):

$$D_i = \frac{[\sum_{k=1}^m (dh_k (l_k^{k-1} + l_k^{k+1}))]}{2 \cdot CL_{R_i}} \quad (3)$$

Para a classificação de um dado espacial segundo o Decreto-lei n° 89.817/ET-CQDG, o valor de  $D$  é usado como discrepância. Assim, Santos et

al. (2015) sugerem caso 90% das linhas testadas apresentarem valores de  $D$  menores ou iguais ao valor do PEC-PCD e se o RMS da amostra de  $D$  for menor ou igual ao valor do EP para a classe e escala adotadas, classifica-se o dado espacial como acurado para aquela classe e escala. Caso não atenda às condições, deve-se testar outra classe ou escala.

De posse da amostra com um conjunto de linhas homólogas nos produtos de teste e de referência, aplicaram-se os métodos Distância de *Hausdorff* e Influência do Vértice, considerando as feições lineares com seus vértices de origem e também criando vários vértices ao longo das linhas da amostra, ou seja, densificando-as. Para as feições do produto avaliado, foram criados vértices a cada 30 m; já para as feições do produto de referência, foram criados vértices a cada 1,2 m, valores os quais estão em conformidade com a resolução espacial de cada produto cartográfico.

Antes da densificação, as feições do produto de teste possuíam 1.791 vértices, enquanto que as feições do produto de referência possuíam 4.673 vértices. Após o processo de densificação, obteve-se um total de 32.382 vértices para o produto de teste e 102.650 vértices para o produto de referência.

Utilizaram-se ferramentas implementadas no ArcGIS para a aplicação dos métodos. Obtiveram-se assim, um conjunto de discrepâncias para cada método aplicado: Distância de *Hausdorff* (DH), Distância de *Hausdorff* com linhas densificadas (DH\_dens), Influência do Vértice (IV) e Influência do Vértice com linhas densificadas (IV\_dens).

Por fim, visando identificar uma possível mudança na classificação do produto ao se considerar feições densificadas, foi realizada a classificação do produto cartográfico teste com relação à acurácia posicional planimétrica, com base no PEC-PCD e no EP apresentado no Decreto nº 89.817, aliado às especificações da ET-CQDG, para a escala de referência de 1:100.000. A Tabela 1 mostra os limiares das classes para a escala de referência adotada neste trabalho.

Tabela 1 – Valores limites de PEC e EP para a escala de 1:100.000 segundo o Decreto nº 89.817, aliado às especificações da ET-ADGV

Classe PEC	Classe PEC-PCD	Escala 1:100.000	
		PEC (m)	EP (m)
-	A	28,0	17,0
A	B	50,0	30,0
B	C	80,0	50,0
C	D	100,0	60,0

Fonte: Elaborada pelos autores.

## 2 Resultados e Discussão

Após a aplicação dos métodos, os conjuntos de discrepâncias posicionais foram obtidos. Na Tabela encontram-se os valores de algumas variáveis estatísticas para cada método. Os valores de discrepâncias de cada conjunto de dados foram plotados em um gráfico (Figura 5).

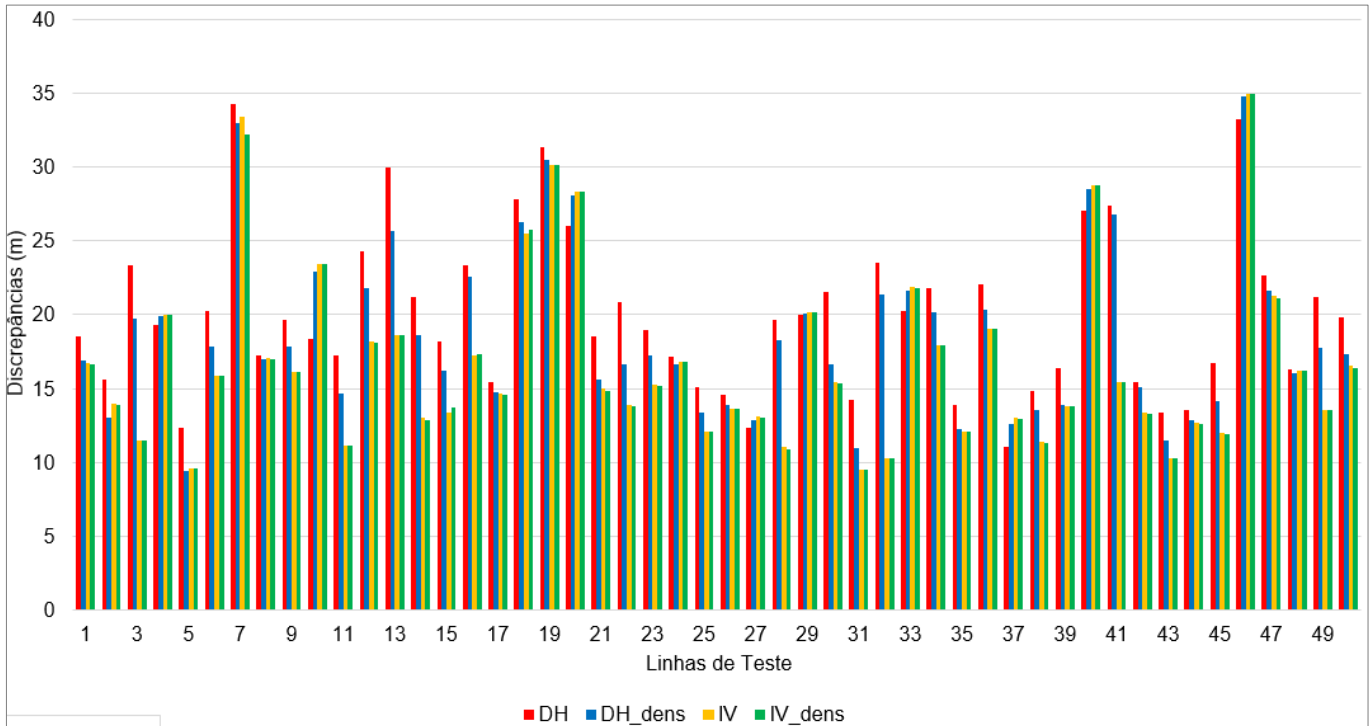
Tabela 2 – Estatística Descritiva dos conjuntos de discrepâncias para os métodos empregados

	DH	DH_dens	IV	IV_dens
Mínimo (m)	11,1	9,4	9,5	9,5
Máximo (m)	34,3	34,8	35,0	34,9
Média (m)	19,9	18,6	16,8	16,7
Mediana (m)	19,5	17,3	15,3	15,3
Desvio Padrão (m)	5,4	5,7	6,0	5,9
RMS (m)	20,7	19,5	17,8	17,7

Fonte: Elaborada pelos autores.

Santos et al. (2015) avaliaram uma ortoimagem Ikonos utilizando feições lineares e feições pontuais identificadas na imagem e coletadas em campo. Foram aplicados diferentes métodos de feições lineares, incluindo os métodos da Distância de *Hausdorff* e Influência do Vértice, já devidamente explanados. Comparando os resultados obtidos a partir dos métodos Distância de *Hausdorff* e Influência do Vértice, não houve diferença significativa entre os valores de discrepância. De acordo com os autores, devido ao fato destes métodos considerarem toda a linha ou todos os vértices da linha para o cálculo da discrepância média, a ocorrência de diferenças significativas em uma linha é minimizada.

Figura 5 – Gráfico das discrepâncias dos métodos aplicados



Fonte: Elaborada pelos autores.

Porém, analisando os dados da Figura 5 e analisando os valores de média e RMS dos conjuntos de discrepâncias, percebe-se que no geral, os métodos DH e DH\_dens, com médias 19,9 m e 18,6 m respectivamente, e RMS's 20,7 m e 19,5 m respectivamente, geraram discrepâncias maiores em relação aos IV e IV\_dens, que possuem médias de discrepâncias 16,8 m e 16,7 m respectivamente, e RMS's 17,8 m e 17,7 m respectivamente. Outra observação interessante foi o fato de que, considerando as feições lineares originais, o método da Distância de *Hausdorff*, com média 19,9 m e RMS 20,7 m, também gerou discrepâncias relativamente maiores para a grande maioria dos elementos da amostra, comparado com o método Influência do Vértice, com média 16,8 m e RMS 17,8 m.

Com relação aos resultados a partir da densificação das feições lineares da amostra, nota-se que houve uma perceptível diferença para o método da Distância de *Hausdorff*. Ao se densificar as feições lineares, obteve-se discrepâncias menores para a grande maioria dos elementos, o que pode ser evidenciado ao se comparar a média e o RMS das amostras de

discrepância: a média e o RMS do método DH foram 19,9 m e 20,7 m respectivamente, enquanto que a média e o RMS de DH\_dens foram 18,6 m e 19,5 m respectivamente. Já para o método da Influência do Vértice, quase não houve diferença entre se densificar as feições lineares e mantê-las inalteradas (feições originais): a média e o RMS do método IV foram 16,8 m e 17,8 m respectivamente, enquanto que a média e o RMS de IV\_dens foram 16,7 m e 17,7 m respectivamente.

Salienta-se que tais conclusões estão coerentes com a hipótese ilustrada na Figura 1 e previamente abordada neste trabalho, em que se destaca a possibilidade de os métodos analisados superestimarem a discrepância posicional quando são consideradas as feições lineares não densificadas para a análise.

Contudo, vale ressaltar que, apesar da maioria dos elementos das amostras apresentarem discrepâncias menores após aplicar a metodologia de densificação, tanto para o método da Distância de *Hausdorff* quanto para a Influência do Vértice, algumas linhas apresentaram discrepância maior ao se utilizar a metodologia de densificação.

Essa diferença entre as discrepâncias após a densificação das feições lineares, a qual é maior para a Distância de *Hausdorff* que para a Influência do Vértice, pode ser explicada pela própria proposição destes métodos. A Distância de *Hausdorff* aplicada ao controle de qualidade cartográfica segundo recomendações de Mozas e Ariza (2011) e Ariza et al. (2011), e sintetizado em Santos et al. (2015) é o maior valor entre duas distâncias médias calculadas: a primeira é a média das menores distâncias de cada vértice da linha de teste em relação a linha de referência; a segunda é a média das menores distâncias de cada vértice da linha de referência em relação à linha de teste. Já a discrepância média calculada a partir da Influência do Vértice pode ser entendida como uma média aritmética ponderada cujos pesos são os comprimentos das linhas: são medidas distâncias euclidianas a partir dos vértices da linha de referência para a



linha teste, ponderando-as de acordo com o tamanho dos segmentos adjacentes ao vértice aplicado.

Portanto, ao se densificar ambas as linhas de teste e de referência, o valor de discrepância média será mais afetado para o caso da Distância de *Hausdorff* pelo fato deste método considerar tanto os valores de distâncias a partir da linha de teste para a linha de referência e vice-versa. Para o caso da Influência do Vértice, a influência do processo de densificação das feições lineares será menor, pois este método considera apenas os valores de distâncias a partir da linha de referência para a linha de teste. Como o produto de referência deve ser obrigatoriamente mais acurado que o produto de teste, a densificação das feições lineares na amostra de referência pouco afetará os resultados, pois os segmentos de linhas destas feições serão certamente menos extensos, mais suaves e sem mudanças bruscas de direção.

Com base nos valores das discrepâncias para os quatro métodos considerados, a classe à qual 90% das discrepâncias foram menores ou iguais ao valor do PEC-PCD para todos os métodos, foi a classe B (PEC-PCD). Além disso, os valores de RMS obtidos para os quatro métodos são todos menores que o valor de EP também da classe B (PEC-PCD), o qual é 30,0 metros, conforme Tabela 01.

Sendo assim, o produto foi classificado na classe B para a escala de referência 1:100.000 para todos os métodos considerados. Ou seja, obteve-se a mesma classificação utilizando feições lineares inalteradas e feições lineares densificadas tanto para o método Distância de *Hausdorff* quanto para o método Influência do Vértice.

Entretanto, apesar de obter-se a mesma classificação usando feições densificadas e inalteradas para o estudo de caso deste trabalho, destaca-se a real possibilidade de obtenção de classificações distintas em outros casos, principalmente quando se usa a Distância de *Hausdorff*. Isso pode ser evidenciado pelos valores distintos de RMS e diferenças consideráveis nos valores de discrepâncias, conforme Tabela 2 e Figura 5 respectivamente.

### 3 Conclusões

Observando as discrepâncias obtidas a partir dos produtos cartográficos utilizados, nota-se que, para o método Distância de *Hausdorff*, as discrepâncias utilizando linhas densificadas foram relativamente menores que as discrepâncias obtidas utilizando-se feições originais. Já para o método Influência do Vértice, os valores de discrepâncias obtidos apresentaram diferenças mínimas. Este resultado está diretamente relacionado com o desenvolvimento matemático dos próprios métodos.

Quanto à classificação do produto cartográfico utilizando feições densificadas, obteve-se a mesma classificação obtida utilizando feições inalteradas. Todavia, devido às grandes diferenças entre os valores de RMS e discrepâncias observadas neste estudo após a densificação, é muito provável que se obtenha classificações distintas em outros estudos de caso, principalmente quando se usa a Distância de *Hausdorff*.

Recomenda-se a densificação das feições lineares ao se aplicar os métodos Distância de *Hausdorff* e Influência do Vértice em concordância com a resolução espacial dos produtos cartográficos usados, principalmente quando o primeiro método for utilizado e quando se obtém as feições lineares de interesse a partir da extração automática nos produtos. Isto porque a diferença entre as discrepâncias para a Distância de *Hausdorff*, entre se densificar e não se densificar as feições lineares, pode afetar a classificação da acurácia posicional de um produto.

Ao se desenvolver o presente estudo, ficou evidente a necessidade da existência de uma norma brasileira específica para a análise da acurácia posicional de um produto cartográfico utilizando feições lineares. Assim, é necessário que se busque a elaboração de uma norma que determine diretrizes e metodologias para a análise da acurácia de um produto a partir de feições lineares.

Recomenda-se para futuros trabalhos considerar outros métodos de avaliação de acurácia posicional que utilizam os vértices de feições lineares

como base de cálculo de discrepâncias posicionais e a realização de outros estudos de casos, principalmente utilizando dados de regiões com características físicas diferentes da área de estudo utilizada neste estudo.

### **Contribuição dos autores**

A autora Youlia Kamei Saito contribuiu em todo o processo, o que incluiu, basicamente, a elaboração da ideia principal do artigo, o estabelecimento da metodologia, a seleção e organização dos dados, o processamento dos mesmos, a escrita e a formatação do corpo do texto, assim como o autor Lucas José Ferreira Viana, o qual ainda realizou a submissão do artigo, sendo o contato principal. O autor Sidmar Rodrigo da Silva contribuiu na seleção e organização dos dados, no processamento dos mesmos e na escrita do texto. O autor Iann Gomes Rodrigues da Fonseca contribuiu na elaboração da ideia principal do artigo, no estabelecimento da metodologia, na seleção e organização dos dados e no processamento dos mesmos. Já o autor Afonso de Paula dos Santos supervisionou e orientou todo o processo de elaboração do artigo, desde a concepção da ideia principal às correções necessárias para submissão.

### **Referências**

- ABBAS, I. **Base de Données Vectorielles et Erreur Cartographique. Problèmes Posés Par Le Controle Ponctuel. Une Méthode Alternative Fondée Sur La Distance de Hausdorff: Le Controle Linéaire.** Thèse de Doctorat en Informatique. Université Denis – Diderot, Paris, France, 1994.
- ARIZA, F. J. et al. Influence of sample size on line-based positional assessment methods for road data. **ISPRS journal of photogrammetry and remote sensing**, vol. 66, n. 5, 2011. pp. 708-719
- ATKINSON, A. D. J. e ARIZA, F. J. L. Nuevo Enfoque Para El Análisis de La Calidad Posicional En Cartografía Mediante Estudios Basados En La

- Geometría Lineal. **Anais do XIV Congresso Internacional de Ingeniería Gráfica**. Santander, Spain, 2002.
- BRASIL. Decreto N° 89817, de 20 de junho de 1984. Estabelece as Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Brasília, **Diário Oficial da União**, 20 de junho de 1984.
- DAL POZ, A. P.; GALO, M.; FERREIRA, F. M. Metodologias para a avaliação geométrica de feições cartográficas. **Anais do II Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas**. Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2001.
- DRESCH, G.; SANTOS, D. R. Avaliação automática da acurácia relativa de dados LiDAR aerotransportados. **Boletim de Ciências Geodésicas**, vol. 21, n. 4, 2015. pp. 730-749
- DSG, Diretoria de Serviço Geográfico. PORTARIA N° 031 – DCT, de 02 de maio de 2016. Aprova a Norma da Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV). 2ª ed. **Boletim do Exército**, n. 18, 02 de maio de 2016.
- DSG, Diretoria de Serviço Geográfico. PORTARIA N° 009 – DCT, de 16 de fevereiro de 2016. Aprova a Norma da Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET – CQDG). 1ª ed. **Boletim do Exército**, n. 7, 16 de fevereiro de 2016.
- FERNÁNDEZ, D. C. J. et al. Extração automática de redes de drenagem a partir de modelos digitais de elevação. **Revista Brasileira de Cartografia**. vol. 64, n. 3, 2012. pp. 619-634
- FERREIRA, L. F.; CINTRA, J. P. Quantificação de discrepâncias entre feições lineares por retângulos equivalentes. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 51, 1999. pp. 1-8
- GALO, M.; CAMARGO, P. O. O Uso do GPS no Controle de Qualidade de Cartas. **Anais do 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário**, Florianópolis, 1994.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Avaliação da Qualidade de Dados Geoespaciais. **Manuais Técnicos em Geociências**, n. 13, 2017. 96p. Site <<https://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101152.pdf>>, acessado em novembro de 2017.

- LUGNANI, J. B. Using digital entities as control. Phd Thesis. University of New Brunswick, Department of Surveying Engineering, Fredericton, Canada, 1980. 159p.
- LUGNANI, J. B. Estimativa de qualidade para feições digitalizadas: um novo método. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 39, 1986. pp. 26-29
- MOZAS, A. T.; ARIZA, F. J. New method for positional quality control in cartography based on lines. A comparative study of methodologies. **International Journal of Geographical Information Science**, vol. 25, n. 10, 2011. pp. 1681-1695
- SANTOS, A. P. et al. Controle de Qualidade Posicional Em Dados Espaciais Utilizando Feições Lineares. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 21, n. 2, 2015. pp. 233-250
- SANTOS, A. P. **Controle de qualidade cartográfica: metodologias para avaliação da acurácia posicional em dados espaciais**. Tese de doutoramento. Universidade Federal de Viçosa, Programa Pós-Graduação *Stricto Sensu* em Engenharia Civil, Viçosa, 2015. 172p.
- SANTOS, A. P. et al. Avaliação da acurácia posicional planimétrica em modelos digitais de superfície com o uso de feições lineares. **Boletim de Ciências Geodésicas**, vol. 22, n. 1, 2016. pp. 157-174
- SARMENTO, A. P.; WANDERLEY, H.; DA CRUZ, P. P. N. Geração do MDEHC da Bacia Hidrográfica do Rio Forqueta e Determinação das Características Físicas da Bacia. **Anais do VII Congresso de pesquisa, Ensino e Extensão do Campus Catalão (CONPEEC)**, Catalão, 2011. pp. 225-231