



Proposta de um Método de Avaliação da Acurácia Posicional Baseado na Modificação do *Buffer Simple*s

Proposal of a Method of Evaluating Positional Accuracy Based on the Modification of the Simple Buffer Method

*Marconi Martins Cunha*¹
*Guilherme Zavatti Secatto*²
*José Roberto Fernandes Galindo*³
*Afonso de Paula dos Santos*⁴

Recebido em junho de 2019.
Aprovado em setembro de 2019.

RESUMO

Classicamente, o controle da qualidade baseado na acurácia posicional de um documento cartográfico é realizado pela comparação estatística entre as coordenadas horizontais e/ou verticais de pontos bem identificáveis na carta, com as respectivas coordenadas de pontos homólogos obtidas em um produto mais confiável ou por método de levantamento em campo mais acurado que o da carta analisada. Uma alternativa a utilização de feições pontuais é usar feições lineares, tais como segmentos de reta ou curvas. Algumas vantagens dos métodos de feições lineares em comparação com o método tradicional por pontos encontram-se na grande quantidade e na boa distribuição espacial que as feições lineares geralmente apresentam nas bases cartográficas, além de apresentar mais informações geométricas que os pontos. Este trabalho teve como finalidade propor uma metodologia baseada na modificação do método do *Buffer Simple*s, para que seja possível obter valores de discrepâncias posicionais planimétricas, em unidades métricas, entre as linhas homólogas de teste e de referência. Utilizando como padrão o Decreto nº 89.817 e a ET-CQDG, os resultados obtidos com a metodologia proposta foram confrontados com os métodos do *Buffer Simple*s, *Buffer Duplo* e *Influência do Vértice*. Na avaliação da acurácia posicional planimétrica de uma ortomagem Ikonos utilizando a escala de 1:10.000, os resultados obtidos mostraram que o método do *Buffer Simple*s Modificado foi o método mais restritivo e rigoroso, sendo vantajoso para obtenção de um valor de

¹Universidade Federal de Viçosa -UFV. Programa de Pós-graduação em Eng. Civil, Área de concentração em Informações Espaciais, Brasil. E-mail: marconi.cunha@ufv.br

²Universidade Federal de Viçosa -UFV. Programa de Pós-graduação em Eng. Civil, Área de concentração em Informações Espaciais, Brasil. E-mail: guilherme.secatto@ufv.br

³Universidade Federal de Viçosa -UFV. Programa de Pós-graduação em Eng. Civil, Área de concentração em Informações Espaciais, Brasil. E-mail: robertogalindo@gmail.com

⁴Universidade Federal de Viçosa -UFV. Programa de Pós-graduação em Eng. Civil, Área de concentração em Informações Espaciais, Brasil. E-mail: afonso.santos@ufv.br

discrepância métrica, permitindo realizar a detecção de outliers e tendência a posteriori.

PALAVRAS-CHAVE: Controle de Qualidade Cartográfica. Feições Lineares. *Buffer* Simples Modificado.

ABSTRACT

Classically, the quality control based on the positional accuracy of a cartographic document is performed by the statistical comparison between the horizontal and/or vertical coordinates of well identifiable points on the chart, with the respective coordinates of homologous points obtained on a more reliable product or by method of field survey more accurate than that of the analyzed chart. An alternative to using point features is by using linear features, such as line segments or curves. Some advantages of linear features methods compared to the traditional point method are the large amount and good spatial distribution that linear features generally have in cartographic bases and have more geometric information than points. This work aimed to propose a methodology based on the modification of the Simple Buffer method, to enable it possible to obtain values of planimetric positional discrepancies, in metric units, between the homologous test and reference lines. Using Decree No. 89.817 and ET-CQDG as standard, the results obtained with the proposed methodology were compared with the Simple Buffer, Double Buffer and Vertex Influence methods. In the evaluation of the planimetric positional accuracy of an Ikonos orthoimaging using the 1: 10,000 scale, the results obtained showed that the Modified Simple Buffer method was the most restrictive and rigorous method, being advantageous to obtain a metric discrepancy value, allowing to perform the detection of outliers and tendency *a posteriori*.

KEYWORDS: Cartographic Quality Control. Linear Features. Modified Single Buffer.

* * *

1 Introdução

No mundo atual a qualidade é um requisito básico e relevante para os usuários de um determinado produto, sendo, cada vez mais, exigida de quem usufrui e um elemento diferenciado de quem produz.

Diante da grande variedade de produtos ofertados, as pessoas buscam atender suas demandas junto a produtores que ofereçam produtos e serviços de melhor qualidade. Neste contexto, os produtos cartográficos também devem estar em conformidade com essa necessidade, onde os componentes básicos da qualidade a serem observados e avaliados nos dados cartográficos são completude, consistência lógica, acurácia posicional, acurácia temporal,

acurácia temática e usabilidade (MOZAS e ARIZA, 2011; ISO, 2013; DSG, 2016). De forma já consagrada na ciência cartográfica, a acurácia posicional é o principal componente de qualidade em um produto cartográfico.

O processo de produção de documentos cartográficos já foi considerado, em sua essência, bastante complexo. Nele, consistia procedimentos e métodos específicos, utilizando instrumentos sofisticados e precisos, com necessidade de pessoal altamente qualificado para operá-los (NOGUEIRA JR. et al., 2004). Entretanto, com a demanda cada vez maior por informações espaciais, o que se observa nas últimas décadas é uma crescente disponibilidade gratuita de dados espaciais, equipamentos de medição de fácil utilização e *softwares* com interfaces cada vez mais amistosas. Diante de todo este aparato, tornou-se facilitada a manipulação e geração da informação geográfica, o que possibilita que usuários ou empresas, ainda que não detentores de formação técnica especializada em produção cartográfica, exerçam tal atividade (SANTOS et al., 2015).

Em face dessa facilidade e da natureza do produto cartográfico final obtido, torna-se necessária a adoção de métodos de controle que garantam sua qualidade. O tema ‘controle de qualidade de produtos cartográficos’, voltado principalmente para a componente posicional de seus dados, é objeto de estudo de muitos pesquisadores no Brasil e no mundo (LUGNANI, 1980, 1986; GALO e CAMARGO, 1994; FERREIRA e CINTRA, 1999; DAL POZ et al., 2001; GALO et al., 2001; VIEIRA et al., 2002; NOGUEIRA JR. et al., 2004; CINTRA e NERO, 2005a, 2005b; TACHIBANA, 2008; MOZAS e ARIZA, 2010, 2011; TONG et al., 2013; CINTRA e NERO, 2015; SANTOS et al., 2015, 2016a, 2016b; ZANETTI et al., 2017, 2018; NERO et al., 2017; GUNTEL, 2018).

Segundo Galo et al. (2001) o controle de qualidade de produtos cartográficos é um tema relevante e amplo. Relevante pois, embora exista no Brasil uma legislação específica que trata do tema, conforme Decreto nº. 89.817 (BRASIL, 1984), Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais - ET-CQDG (DSG, 2016) e o Manual de Avaliação da Qualidade de Dados Geoespaciais do Instituto Brasileiro de Geografia e

Estatística (IBGE, 2017), nem todos os produtos cartográficos apresentam explicitamente um indicador da qualidade. Amplo pois, a rigor, deve-se avaliar não apenas os aspectos de acurácia posicional, mas também a acurácia da consistência lógica, da completude, além de aspectos temporais, temáticos e de usabilidade, o que torna esta análise um tanto quanto complexa.

Classicamente, o controle da qualidade baseado na acurácia posicional de um documento cartográfico é realizado pela comparação estatística entre as coordenadas horizontais e/ou verticais de pontos bem identificáveis na carta, com as respectivas coordenadas de pontos homólogos obtidas em um produto mais confiável ou por método de levantamento em campo mais acurado que o da carta analisada. Uma vez disponíveis estas coordenadas pode-se obter as discrepâncias posicionais, calcular as estatísticas e realizar a análise de qualidade da carta.

No entanto, alguns autores propõem metodologias que possibilitam desenvolver este controle usando feições lineares ao invés de pontos (ABBAS et al., 1995, GOODCHILD e HUNTER, 1997, TVEITE e LANGAAS, 1999; FERREIRA e CINTRA, 1999; GALO et al., 2001; DAL POZ et al., 2001; VIEIRA et al., 2002; MOZAS e ARIZA, 2011; SANTOS et al., 2015, 2016b).

Dentre os métodos que utilizam feições lineares para avaliar a qualidade de produtos cartográficos pode-se citar os métodos do *Buffer* Simples, *Buffer* Duplo, Banda Épsilon (Método das Áreas), Distância de Hausdorff e Influência do Vértice.

Esses métodos de avaliação com o uso de feições lineares são baseados na determinação de deslocamentos e discrepâncias entre linhas homólogas, derivadas do documento cartográfico a ser testado e dos dados de referência. Essa alternativa supõe que as linhas tenham geometria mais complexa do que pontos, portanto, não podem ser tratadas da mesma maneira. Esta comparação analisa aspectos como: razão entre comprimentos e quantidade de vértices, angularidade, razão de segmentos curvilíneos, distância entre os vértices, percentual de inclusão em uma área de influência, entre outros (SANTOS et al., 2015; MOZAS e ARIZA, 2011).

Segundo Mozas e Ariza (2011) e Santos et al. (2015), o uso de um método baseado em feições lineares em oposição a um método baseado em pontos é justificado devido: (i) aproximadamente 80% dos elementos presentes em uma base cartográfica são compostos de feições lineares; (ii) as feições lineares geralmente têm boa distribuição espacial nas bases cartográfica (por exemplo, rodovias e hidrografia); (iii) os elementos lineares apresentam uma grande quantidade de informação geométrica como vértices, segmentos, orientação, entre outros; (iv) o uso de feições lineares é atrativo, já que feições retas são mais fáceis de serem identificadas e extraídas na imagem, tanto visualmente, quanto automaticamente e; (v) atualmente tem-se a possibilidade de obter o conjunto de elementos de controle de forma simples através de um levantamento GNSS (*Global Navigation Satellite System*) cinemático.

Apesar de utilizar linhas, que é uma primitiva geométrica que fornece mais informações posicionais do que os pontos, alguns destes métodos apresentam limitações. Por exemplo, no método do *Buffer* Simples, cuja metodologia se baseia na geração de um *buffer* na linha de referência e, em seguida, avalia-se a porcentagem de inclusão da linha testada dentro deste *buffer*, Santos et al. (2015) apontam como uma desvantagem de sua utilização a impossibilidade de detecção de erros sistemáticos na linha de teste. Já Santos (2015), afirma que somente após a aplicação de uma análise geométrica é possível determinar em qual lado a linha de teste está em relação a linha de referência. Entretanto, esta análise não soluciona o problema da impossibilidade de se estimar os erros sistemáticos quando o *Buffer* Simples é aplicado.

Esta limitação está ligada a impossibilidade de se estimar discrepâncias métricas. Diferente dos demais métodos de feições lineares, o método do *Buffer* Simples tem como medida de discrepância a porcentagem de inclusão da linha de teste, o que impossibilita a análise de erros sistemáticos.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo propor uma metodologia baseada na modificação do método do *Buffer* Simples, para que seja possível obter valores de discrepâncias posicionais planimétricas, em unidades métricas, entre as linhas homólogas de teste e de referência. Utilizando como padrão o Decreto nº 89.817 e a ET-CQDG. Os resultados obtidos com a metodologia proposta foram confrontados com os métodos do *Buffer* Simples, do *Buffer* Duplo e da Influência do Vértice.

2 Métodos de Feições Lineares

Nas últimas duas décadas, o uso de feições lineares tem sido frequentemente investigado no controle de qualidade cartográfica, sendo que diversos métodos foram propostos para avaliação da acurácia posicional, como se pode observar em GOODCHILD e HUNTER, 1997, TVEITE e LANGAAS, 1999; FERREIRA e CINTRA, 1999; GALO et al., 2001; DAL POZ et al., 2001; VIEIRA et al., 2002; MOZAS e ARIZA, 2011; SANTOS et al., 2016b, entre outros. Santos et al. (2015) citaram diversos trabalhos que utilizaram e compararam métodos de controle de qualidade cartográfica por feições lineares, muito embora não sejam frequentes sua divulgação e estudos mais aprofundados no Brasil. A maioria destas avaliações consiste na comparação de duas linhas homólogas.

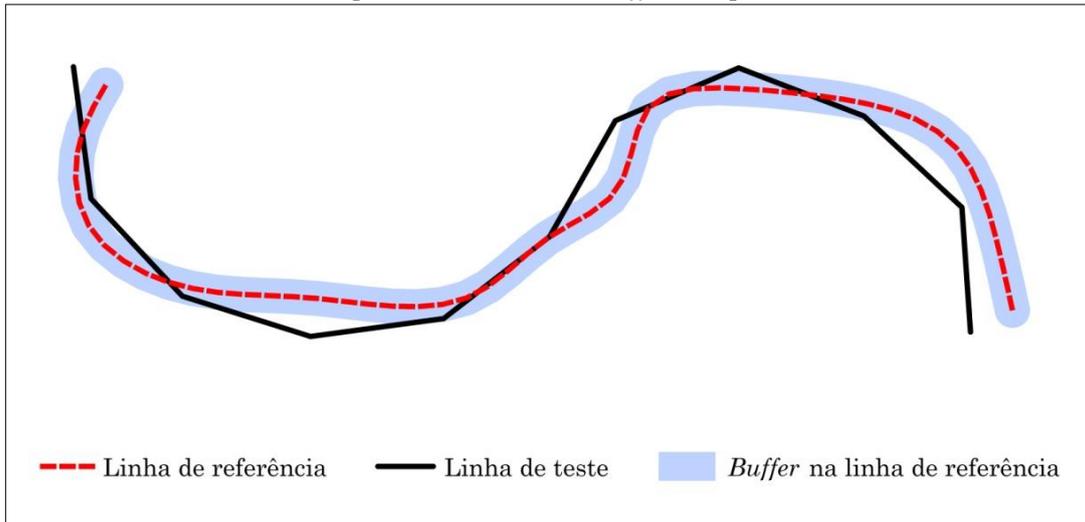
Será descrito metodologicamente a aplicação dos métodos do *Buffer* Simples, *Buffer* Duplo e Influência do Vértice para avaliação da acurácia posicional planimétrica a partir de feições lineares.

2.1 *Buffer* Simples

Este método é baseado nos estudos desenvolvidos por Goodchild e Hunter (1997), que elaboraram uma forma de determinar a largura da faixa de incerteza. Consiste na geração de *buffers* em torno de uma linha de referência (fonte de maior precisão), determinando a porcentagem de

comprimento da linha de teste que se encontra dentro do *buffer* (Figura 1) (GOODCHILD e HUNTER, 1997; ARIZA et al., 2011; SANTOS et al., 2015). Esta porcentagem de inclusão é utilizada como uma medida de discrepância entre as duas linhas.

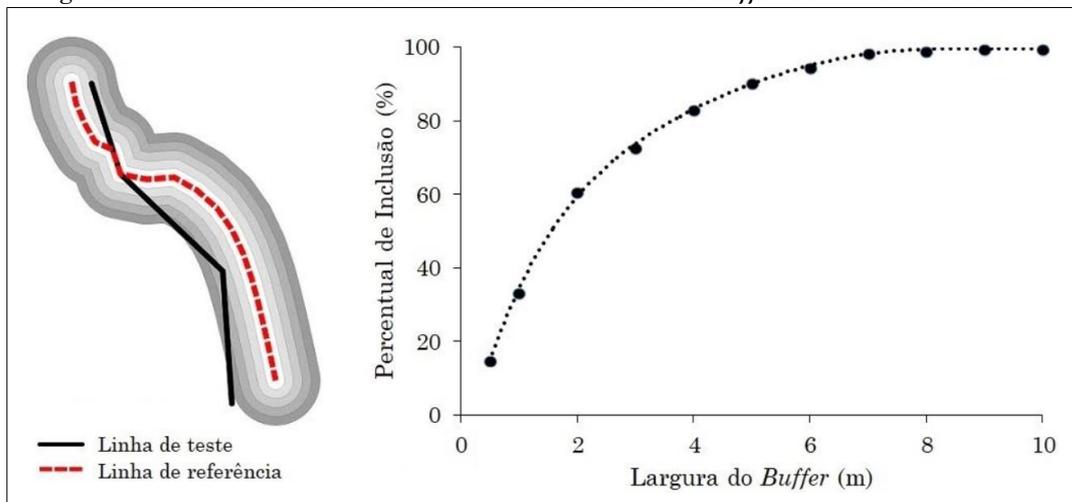
Figura 1 – Método do *Buffer* Simples



Fonte: Adaptada de Santos et al. (2015).

Ao aumentar a largura do *buffer*, pode-se obter uma distribuição de probabilidade de inclusão da linha de teste no *buffer* da linha de referência (Figura 2).

Figura 2 – Percentual de inclusão da linha de teste no *buffer* da linha de referência



Fonte: Adaptada de Ariza e Mozas (2005).

Santos et al. (2015) sugeriram utilizar as seguintes etapas para aplicação do método do *Buffer* Simples, e posterior classificação das discrepâncias posicionais de acordo com o Decreto 89.817/ET-CQDG:

- a) Selecionar uma amostra de n linhas homólogas de teste (L_T) e de referência (L_R);
- b) Calcular o comprimento (em metros) de cada linha i da amostra de teste (CL_T);
- c) Criar um *buffer* de tamanho x , em metros, para cada linha i da amostra de referência. Para a aplicação do Decreto nº 89.817/ET-CQDG, utiliza-se como tamanho do *buffer* o valor do PEC (Padrão de Exatidão Cartográfica) para a escala e a classe utilizada no processo de avaliação;
- d) Fazer uma interseção entre as linhas homólogas de teste e os polígonos gerados, pelo *buffer* x , nas linhas de referências;
- e) Calcular o comprimento, em metros, para cada linha teste resultante da interseção (CL_x);
- f) Calcular o percentual ($p(x)$) de inclusão de cada linha teste dentro da área do *buffer* x correspondente. O percentual é calculado através da razão entre o comprimento da linha inclusa e o comprimento total da linha testada;

$$p(x)_i = \frac{CL_{x_i}}{CL_{T_i}} \quad (1)$$

- g) Para análise do Decreto nº 89.817/ET-CQDG, verifica-se a independência e normalidade da amostra de discrepâncias e, caso afirmativo, faz-se a análise se 90% das linhas testadas apresentam percentual maior ou igual a 0,9 (90%), classificando o dado espacial de acordo com a classe e a escala trabalhada.

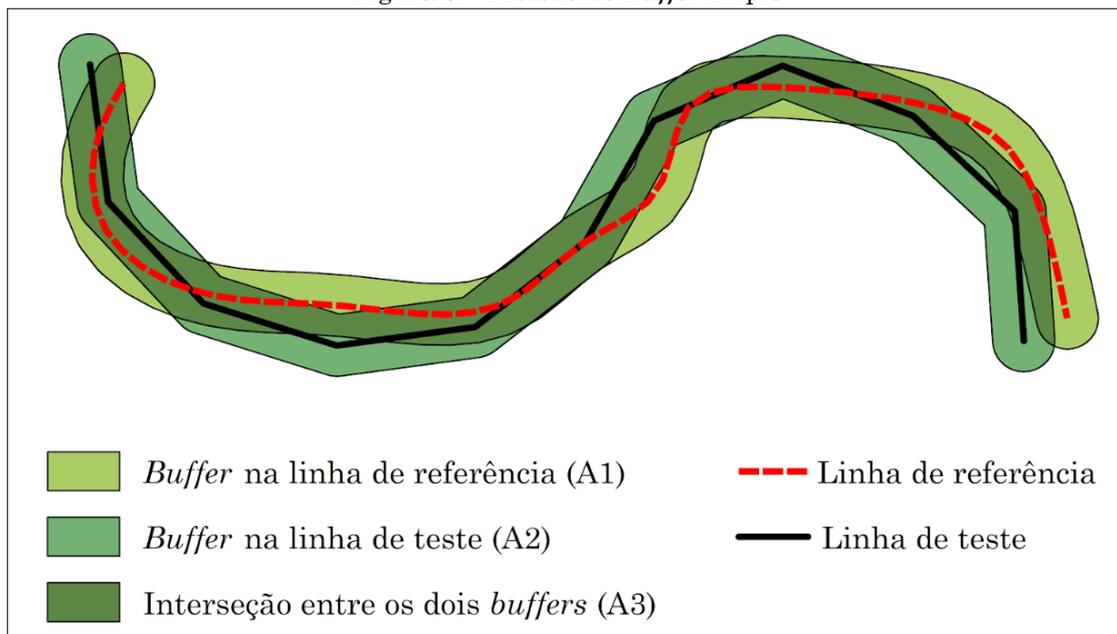
Segundo Atkinson e Ariza (2002), esse método é de fácil implementação em Sistemas de Informações Geográficas. No entanto, os autores reconhecem

que uma de suas limitações é o fato de não ser possível determinar em qual lado da linha de referência a linha testada está. Esta limitação, somada ao fato deste método não gerar uma medida métrica, faz com que não seja possível detectar possíveis outliers e erros sistemáticos utilizando o método do *Buffer Simples*.

2.2 *Buffer Duplo*

Tveite e Langaas (1999) propuseram o método do *Buffer Duplo*, chamado pelos autores de *Buffer Overlay Statistics*, como um avanço do método do *Buffer Simples*. Esta técnica consiste em aplicar o modelo de faixa de incerteza tanto na linha de referência (L_R) quanto na linha a ser testada (L_T). Assim, aplica-se um *buffer* em ambas as linhas e, em seguida, realiza-se uma interseção entre os polígonos resultantes dos *buffers* (Figura 3), de modo a obter uma medida de discrepância média entre as feições lineares. Tal procedimento torna possível avaliar posicionalmente a acurácia do dado espacial em teste.

Figura 3 – Método do *Buffer Duplo*



Fonte: Adaptada de Santos et al. (2015).

Atkinson e Ariza (2002) afirmam que o método é similar ao método do *Buffer* Simples, embora haja alguns ganhos nas análises de resultados. Exemplo disso é o cálculo de uma medida de discrepância que pode ser aplicada a um teste de tendência para a verificação de erros sistemáticos. A Equação 2 descreve o modelo matemático utilizado para o cálculo da discrepância (dm), que pode ser obtida multiplicando-se o valor de pi (π) pela largura do *buffer* (x) e pelo somatório da área do *buffer* da linha de referência que não faz interseção com o *buffer* da linha de teste ($A1-A3$), dividido pelo valor da área formada pelo *buffer* da linha teste ($A2$).

$$dm = \pi \cdot x \cdot \frac{\Sigma(A1-A3)}{A2} \quad (2)$$

Segundo Santos et al. (2015), para aplicação do método do *Buffer* Duplo, e posterior classificação das discrepâncias posicionais de acordo com o Decreto 89.817/ET-CQDG, sugere-se seguir os passos:

- a) Selecionar uma amostra de n linhas homólogas de teste (L_T) e de referência (L_R);
- b) Aplicar um *buffer* de largura x em cada linha i da amostra de linhas homólogas de teste e referência. Para o emprego do Decreto n° 89.817/ET-CQDG, utiliza-se como largura x do *buffer* o valor do PEC para a escala e a classe utilizada no processo de avaliação;
- c) Calcular a área $A2$ gerada pela operação de *buffer* em cada linha de teste.
- d) Fazer uma sobreposição entre os polígonos gerados pelos *buffers* da linha teste e da linha de referência e calcular o valor de ($A1-A3$), referente a área do polígono de referência que não faz interseção ao polígono teste;
- e) Calcular a discrepância média (dm) pela Equação 2, para cada linha teste i ;
- f) Para análise do Decreto 89.817 / ET-CQDG, faz-se a análise se (i) 90% das linhas testadas apresentam discrepância média (dm)

menor ou igual ao valor do PEC (da classe e escala utilizadas para gerar o *buffer x*), e ainda, (ii) o *Root Mean Square* (RMS) das discrepâncias dm ser menor ou igual ao valor do EP (idem ao PEC). Se as duas condições forem aceitas, classifica-se o dado espacial de acordo com a classe e escala trabalhadas.

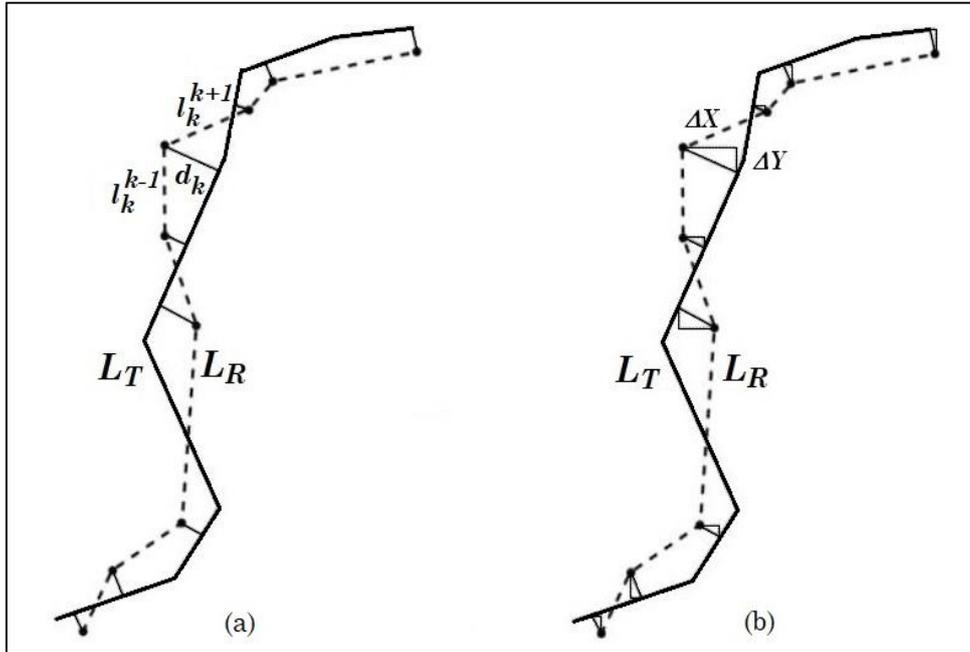
2.3 Influência do Vértice

Este método foi proposto por Mozas e Ariza (2011) e inclui algumas métricas para medir os deslocamentos entre as linhas para avaliar a precisão posicional das bases de dados cartográficas. Segundo os autores, em uma feição linear cada vértice de uma linha determina a posição (alinhamento) dos dois segmentos de retas adjacentes.

O método baseia-se na determinação da distância euclidiana a partir dos vértices da linha de referência (L_R) para a linha de teste (L_T). Estas distâncias são ponderadas em função do comprimento dos segmentos adjacentes ao vértice aplicado. Assim, obtém-se o valor ponderado das distâncias entre os vértices da linha de referência para a linha de teste (SANTOS et al., 2015).

Logo, para o conjunto completo de linhas propõe-se o cálculo da média aritmética ponderada usando o comprimento das linhas (peso), para obter o valor da discrepância média (D) entre as duas linhas, conforme Equação 3 e Figura 4a.

Figura 4 – Método da Influência do Vértice



Fonte: Adaptada de Mozas e Ariza (2011).

Sendo,

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

onde:

m : número de vértices da linha de referência;

d_k : distância horizontal mínima entre o vértice k de L_r para L_t ;

l^{k-1} e l^{k+1} : comprimento dos seguimentos adjacentes ao vértice k em L_r ;

CL_R : comprimento da feição linear de referência;

Segundo Santos et al. (2015), para aplicação do método da Influência do Vértice, e posterior classificação das discrepâncias posicionais de acordo com o Decreto 89.817/ET-CQDG, sugere-se seguir os passos:

- a) Selecionar uma amostra de n linhas homólogas de teste (L_T) e de referência (L_R);
- b) Calcular o comprimento (CL_R) e extrair os vértices de cada linha i de referência;
- c) Calcular a menor distância (d_k) para cada vértice k da linha referência em relação a qualquer segmento da linha teste;

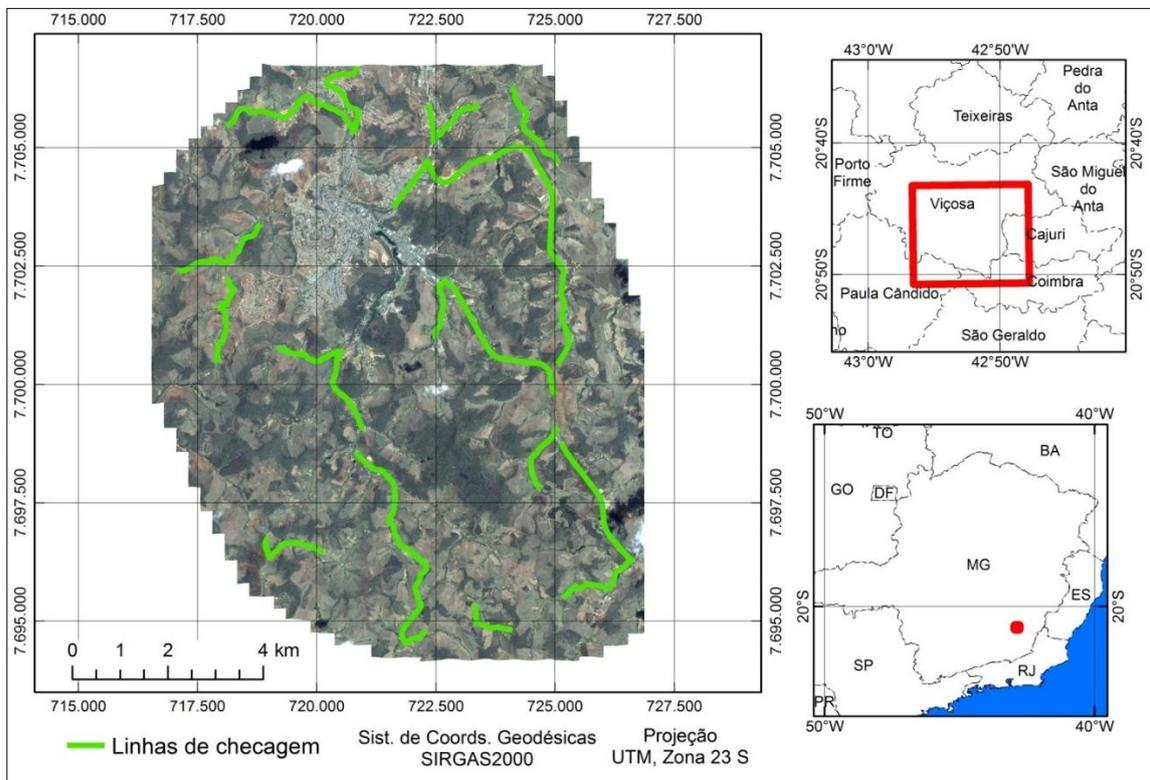
- d) Obter os valores dos comprimentos dos segmentos de retas anteriores (l^{k-1}) e posteriores (l^{k+1}) aos vértices k da linha i de referência;
- e) Calcular a discrepância média (D), de acordo com a Equação 3, para cada linha i de referência;
- f) Para o dado espacial ser classificado de acordo com o Decreto nº 89.817/ET-CQDG deve-se atender duas condições: (i) pelo menos 90% de D tem que ser menor ou igual que o valor do PEC e; (ii) o RMS de D tem que ser menor ou igual ao valor do EP, para a classe e escala empregadas no processo de avaliação da acurácia posicional.

3 Metodologia

3.1 Área de estudo

A área de estudo utilizada neste trabalho, representada na Figura 6, compreende parte do município de Viçosa, Minas Gerais. Delimitada pelas latitudes 20,73°S e 20,84°S e pelas longitudes 42,82°W e 42,92°W, esta região possui aproximadamente 110 km².

Figura 6 – Área de Estudo



Fonte: Elaborada pelos autores.

3.2 Método do *Buffer* Simples Modificado, proposto pelos autores.

Assim como o método do *Buffer* Simples, o método proposto também é baseado na porcentagem de inclusão da linha de teste (L_T) no *buffer*, ou banda de erro, gerado a partir da linha de referência (L_R). Entretanto, diferentemente do método precedente, que utiliza a porcentagem de inclusão como medida de discrepância, o método do *Buffer* Simples Modificado utiliza como medida de discrepância a largura do *buffer* gerado a partir da linha de referência que garanta a sobreposição mínima de 90% da linha de teste.

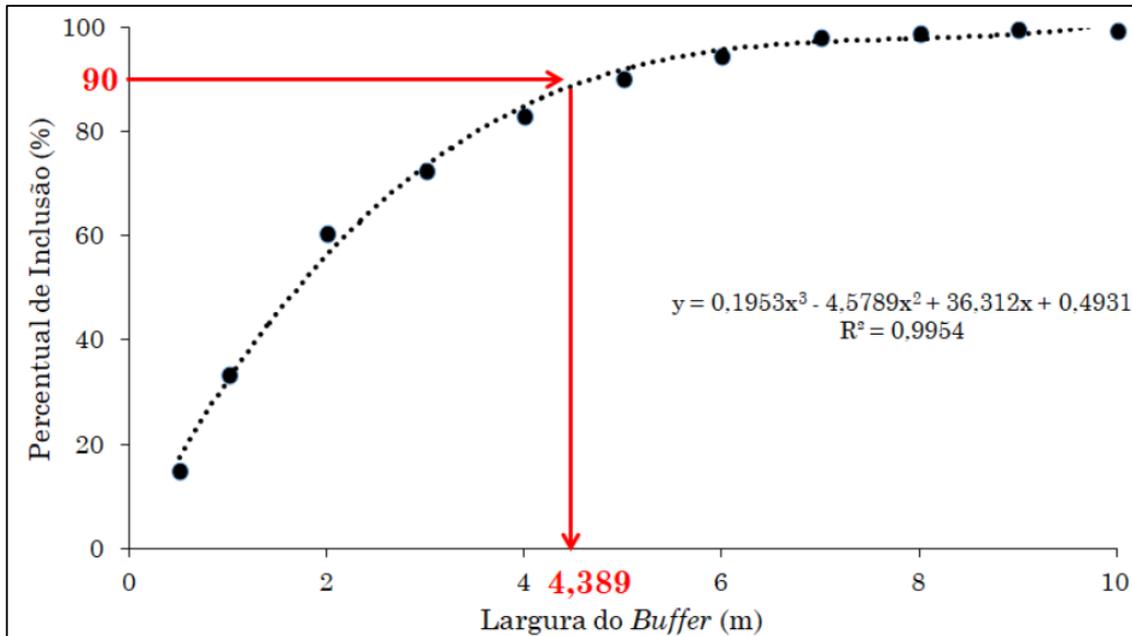
Para a aplicação do método do *Buffer* Simples Modificado e posterior classificação do produto avaliado segundo o Decreto nº 89.817 e a ET-CQDG, propõe-se seguir a metodologia descrita pelas seguintes etapas:

- a) Selecionar uma amostra de n linhas homólogas de teste (L_T) e de referência (L_R);

- b) Gerar, a partir de cada linha de referência, um *buffer* de largura x . Recomenda-se que esta largura inicial seja pequena, para que a sobreposição na linha de referência também seja pequena e possa ser aumentada posteriormente. Neste trabalho adotou-se 1 m para a largura inicial do *buffer*;
- c) Calcular, para cada par homólogo, a porcentagem de inclusão da linha de teste no *buffer* da linha de referência;
- d) Repetir os passos 2 e 3 incrementando a cada passo o valor da largura do *buffer* até que a porcentagem de inclusão seja igual a 100%. Neste trabalho, a cada repetição do passo 2 a largura do *buffer* foi aumentada em 1 m;
- e) Com os valores de porcentagem de inclusão da linha de teste em função da largura do *buffer* da linha de referência, deve-se ajustar uma curva polinomial de 3º grau e obter a sua equação, como exemplificado na Figura 5. Como se pode observar na figura, independente do conjunto de dados, a relação entre a porcentagem de inclusão e a largura do *buffer* da linha de referência irá se estabilizar ao se aproximar de 100% de inclusão. A função polinomial de 3º grau foi escolhida pois contempla essa característica em um conjunto de dados. Isso porque o seu ponto de inflexão se adequa satisfatoriamente à região onde a porcentagem de inclusão se estabiliza. O mesmo raciocínio poderia ser aplicado à uma função polinomial de 2º grau. Entretanto, geralmente, o coeficiente de correlação entre os dados e a curva ajustada costuma ser menor. Funções polinomiais de ordem superiores também poderiam ser adotadas. Contudo, apesar do aumento de complexidade, o uso dessas funções não refletiu em um aumento significativo na correlação entre o modelo e os dados. Portanto, a função polinomial de 3º grau é função mais simples e que melhor se

ajusta aos dados nessa situação, motivo pelo qual foi escolhida pelos autores.

Figura 5 – Exemplo de aplicação do método proposto



Fonte: Elaborada pelos autores.

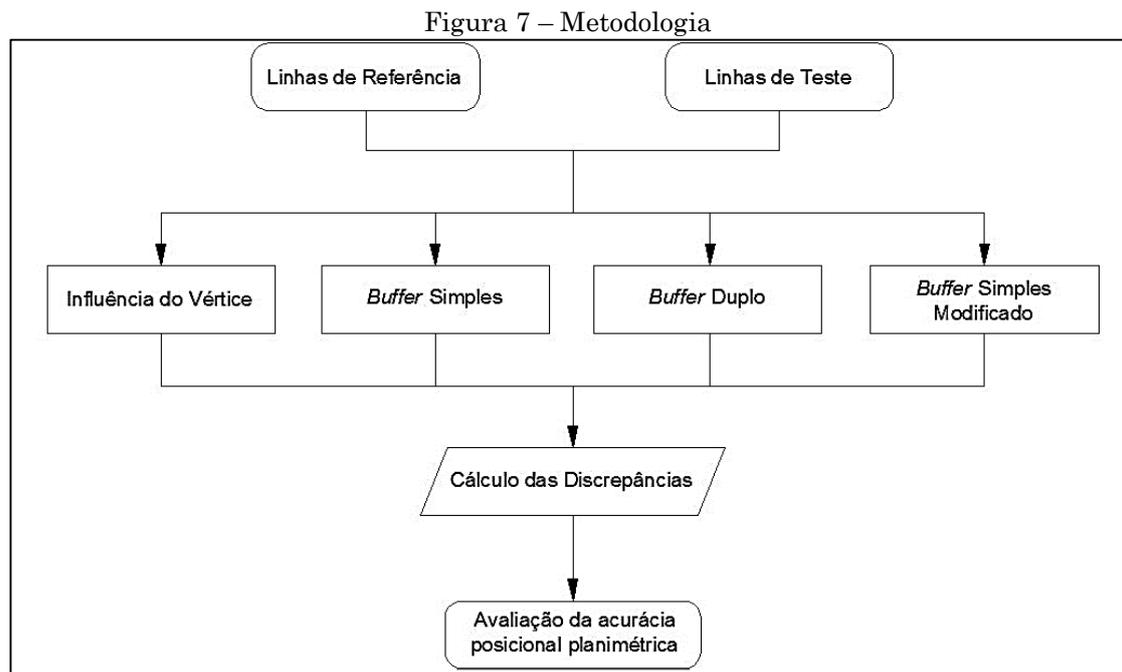
- f) Seguindo as etapas anteriores, será gerada uma equação de 3º grau para cada par de linhas homólogas. A partir de cada equação, deve-se determinar a largura do *buffer* correspondente a 90% (0,90). Esta medida de largura será adotada como a discrepância posicional da linha em análise.
- g) Para classificar o produto de acordo com o Decreto nº89.817/ET-CQDG dois critérios devem ser atendidos: (i) pelo menos 90% das discrepâncias devem ser menor ou igual ao valor do PEC e; (ii) o RMS das discrepâncias deve ser menor ou igual ao valor do EP, para a classe e escala testadas.

3.3 Materiais e Métodos

Para avaliar a ortoimagem e comparar os métodos que empregam feições lineares para o controle de qualidade cartográfica foram utilizadas 14 estradas. A ortoimagem analisada é proveniente do satélite Ikonos II com um metro de resolução espacial nominal e nível de processamento Geo Ortho Kit pan-sharpened (SANTOS et al., 2012).

As feições lineares utilizadas na avaliação da acurácia posicional planimétrica dessa imagem foram as mesmas empregadas em Santos et al. (2015) e cedidas pelos autores.

Com estes dados, pôde-se aplicar as seguintes etapas do fluxograma representado na Figura 7.



Fonte: Elaborada pelos autores

Foram aplicados os métodos da Influência do Vértice, *Buffer Simples*, *Buffer Duplo* e o *Buffer Simples Modificado*. A implementação de cada um destes métodos foi desenvolvida no ambiente *Model Builder* do software ArcGIS.

Em todos os métodos avaliados, para o cálculo das discrepâncias posicionais são necessárias as linhas de testes e as de referência. As linhas de referência foram coletadas utilizando-se receptores GNSS (*Global Navigation Satellite System*) de dupla frequência, sendo escolhido o método relativo cinemático como método de processamento (SANTOS et al., 2015). Já as feições homólogas de teste foram obtidas a partir de uma monorestituição no *software* ArcGIS sobre as ortofotos.

Obtidas as linhas de teste e de referência pôde-se aplicar os métodos descritos no item 2 e, assim, obter o conjunto de discrepâncias associado a cada método. Em seguida, com estas discrepâncias foi realizada a avaliação da acurácia posicional planimétrica da ortoimagem.

Realizando essa avaliação segundo o Decreto 89.817 e a ET-CQDG, inicialmente deve-se obter os valores de PEC e EP (Tabela 1) de acordo com a escala e a classe avaliadas. Estes valores serão comparados com as discrepâncias posicionais de cada método.

Tabela 1 – Valores de PEC e EP para a planimetria

Classes		Planimetria	
Decreto nº89.817/84	ET-CQDG	PEC	EP
-	A	0,28 mm x escala	0,17 mm x escala
A	B	0,50 mm x escala	0,30 mm x escala
B	C	0,80 mm x escala	0,50 mm x escala
C	D	1,00 mm x escala	0,60 mm x escala

Fonte: Brasil (1984) e DSG (2016).

Portanto, o primeiro passo para realizar a avaliação da acurácia posicional é determinar a escala e a classe a serem testadas.

Machado e Silva (2007) afirma que imagens Ikonos ortorretificadas podem alcançar acurácia planimétrica compatível com a escala 1:10.000. Portanto, essa escala foi escolhida para iniciar a avaliação da acurácia posicional planimétrica.

Quanto a classe, iniciou-se a avaliação utilizando-se a classe A do PEC (ET-CQDG), de acordo com a Tabela 1. Em seguida, com a escala e a classe definidas, foram calculados os valores de PEC e EP de acordo com a Tabela 1.

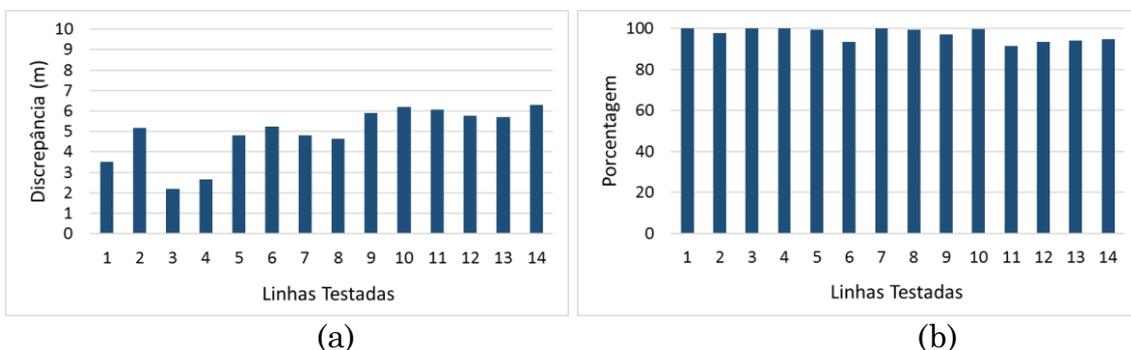
Seguindo os critérios e procedimentos de cada método, presentes no item 2, verificou-se se os valores de PEC e EP calculados para a classe e escala testadas atendiam os critérios. Em caso afirmativo, classifica-se o produto como acurado posicionalmente segundo a classe A do Decreto nº 89.817/ET-CQDG.

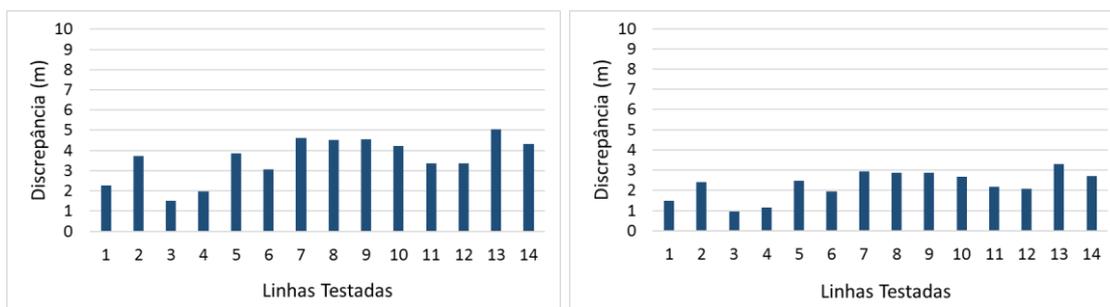
Entretanto, segundo Miranda et al. (2018), se os critérios não foram atendidos, deve-se testar a classe seguinte, ou seja, a classe B. O processo é repetido até o produto se enquadrar em uma classe. Se isso não ocorrer, deve-se diminuir a escala avaliada e reiniciar o processo de avaliação.

4 Resultados e Discussões

Como resultado da aplicação dos métodos que utilizam feições lineares para avaliar a acurácia posicional planimétrica, obteve-se as discrepâncias representadas na Figura 8. Os gráficos abaixo representam as discrepâncias dos métodos.

Figura 8 – Discrepâncias posicionais planimétricas: (a) Buffer Simples Modificado; (b) Buffer Simples; (c) Buffer Duplo e (d) Influência do Vértice





(c)

(d)

Fonte: Elaborada pelos autores.

Analisando a Figura 8 é possível perceber que, com exceção da Figura 8.b, todos os gráficos tem formas semelhantes, ou seja, as linhas com as maiores discrepâncias em um gráfico são as mesmas linhas com as maiores discrepâncias nos demais. O mesmo vale para as linhas com as menores discrepâncias posicionais.

Este fato reflete a sensibilidade de cada método na detecção das discrepâncias.

Como pode ser observado na Figura 8, o método do *Buffer* Simples Modificado foi o mais sensível, pois apresentou as maiores discrepâncias métricas. Em seguida, tem-se o método do *Buffer* Duplo e por último, o método da Influência do Vértice, o que apresentou as menores discrepâncias.

A Tabela 2 traz um resumo das estatísticas das discrepâncias planimétricas de cada método analisado.

Tabela 2 – Estatísticas básicas das discrepâncias

Método	Média (m)	RMS (m)
<i>Buffer</i> Simples Modificado	4,93	5,08
<i>Buffer</i> Simples	---	---
<i>Buffer</i> Duplo	3,60	3,74
Influência do Vértice	2,29	2,39

Fonte: Elaborada pelos autores.

Como mencionado, o método do *Buffer* Simples não fornece uma medida de discrepância que pode ser expressa em metros. Portanto, é impossível trabalhar com as estatísticas das discrepâncias e, por consequência, analisar e compensar erros sistemáticos que, porventura, o produto avaliado apresente.

Por fim, com as discrepâncias posicionais planimétricas e suas principais estatísticas calculadas, pode-se realizar a classificação do produto avaliado.

Para a escala de 1:10.000, utilizando os valores de discrepâncias apresentados na Figura 8 e os critérios de classificação de acordo com cada método do item 2, obteve-se a classificação apresentada no Quadro 1.

Quadro 1 – Resultado da classificação

Método	Escala	Classe (ET-CQDG)
<i>Buffer</i> Simples Modificado	1:10:000	D
<i>Buffer</i> Simples		C
<i>Buffer</i> Duplo		C
Influência do Vértice		B

Fonte: Elaborado pelos autores.

Como já esperava-se, devido ao fato de ter apresentado as maiores discrepâncias, o método do *Buffer* Simples Modificado foi o mais rigoroso, enquadrando o produto avaliado na classe D. Os métodos do *Buffer* Simples e *Buffer* Duplo apresentaram a mesma classificação: classe C. Por fim, o método da Influência do Vértice foi o menos rigoroso, resultando na classe B.

Isso demonstra a viabilidade de utilização do método proposto se comparado aos métodos tradicionais de avaliação da acurácia posicional por feições lineares.

5 Conclusão

Verificou-se que a partir do exposto de propor a metodologia do *Buffer* Simples Modificado tornou-se possível obter os valores de discrepâncias posicionais planimétricas ente as linhas homólogas de teste e de referência.

Os resultados obtidos mostraram que o método do *Buffer* Simples Modificado foi mais restritivo e rigoroso quando comparado ao *Buffer* Duplo, sendo vantajoso também na questão de possuir um valor de discrepância métrica, ou seja, permitindo realizar a detecção de tendência a posteriori.

Analisando a pesquisa de Santos et al. (2015), que utilizou os mesmos materiais deste trabalho, observa-se que o método proposto foi ainda mais sensível às discrepâncias posicionais que o método tradicional por pontos, que apresentou 3,40 m e 4,04 m como média e RMS das discrepâncias posicionais, respectivamente; sendo a ortoimagem enquadrada na classe C (Decreto n°89.817/ET-CQDG).

Recomenda-se, para trabalhos futuros, ampliar a comparação do método do *Buffer* Simples Modificado com os outros métodos de feições lineares já existentes, tais como a distância de Hausdorff e Banda Épsilon, e também da comparação com o tradicional método de feições pontuais, assim como a validação em outros produtos cartográficos, em diferentes resoluções e escalas.

Além disso, aconselha-se aprofundar o estudo do *Buffer* Simples Modificado utilizando outras funções para ajustar o modelo a fim de determinar as discrepâncias posicionais planimétricas.

Agradecimentos

Esta pesquisa teve o incentivo da Universidade Federal de Viçosa por meio do Departamento de Engenharia Civil, curso de Pós-Graduação em Engenharia Civil/Informações Espaciais que disponibilizaram seus equipamentos, instalações e aplicativos computacionais.

O presente trabalho foi realizado com o apoio financeiro da Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior – Brasil (CAPES) – Código de Financiamento 001.

Contribuição dos autores

O autor Marconi Martins Cunha realizou a investigação e o desenvolvimento da metodologia. José Roberto Fernandes Galindo elaborou a pesquisa bibliográfica referente aos métodos de feição linear. Todos os autores realizaram a análise formal dos dados, gerando os gráficos e tabelas presentes neste artigo. Guilherme Zavatti Secatto fez a análise final.

Todos os autores participaram da administração deste estudo, assim como no processo de redação (revisão e edição) do mesmo. O autor Prof. Dr. Afonso de Paula dos Santos atuou na supervisão, orientação e revisão durante a execução e submissão deste artigo.

Referências

- ABBAS, I.; GRUSSENMEYER, P.; HOTTIER, P. Contrôle de la planimétrie d'une base de données vectorielle: une nouvelle méthode basée sur la distance de Hausdorff: la méthode du contrôle linéaire. **Bulletin SFPT**, vol.1, n.137, 1995. pp. 6–11.
- ARIZA, F. J. **Calidad en la producción cartográfica**. Espanha, Editora: Rama, 2002. 389p.
- BRASIL. Decreto Nº 89.817 de 20 de Junho de 1984. Normas Técnicas Da Cartografia Nacional. **Diário Oficial da União**, Brasília. 20 de Junho de 1984.
- CINTRA, J. P.; NERO, M. A. Metodologia para controle de qualidade de mapeamentos sistemáticos em meio digital. **Anais do XXII Congresso Brasileiro de Cartografia**. Rio de Janeiro, 2005a. pp. 1-14.
- CINTRA, J. P.; NERO, M. A. Considerações sobre o tamanho da amostra no controle qualidade em mapeamentos com diferentes níveis de qualidade. **Anais do XXII Congresso Brasileiro de Cartografia**. Rio de Janeiro, 2005b. pp. 1-6.

- CINTRA, J. P.; NERO, M. A. New method for positional cartographic quality control in digital mapping. **Journal of Surveying Engineering**. vol. 141, n. 3, 2015. pp. 1-10.
- GOODCHILD, M.; HUNTER, G. A simple positional accuracy for linear features. **International Journal Geographical Information Science**. vol. 11, n.3, 1997. pp. 299–306.
- 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**. Curitiba, 2001.
- DSG, Diretoria do Serviço Geográfico. **Especificação Técnica Para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG)**. Brasília, 2016. Site < http://www.geoportal.eb.mil.br/portal/images/PDF/ET_CQDG_1a_edicao_2016.pdf >, acessado em abril de 2019.
- FERREIRA, L. F.; CINTRA, J. P. Quantificação de discrepância entre feições lineares por retângulos equivalentes. **Revista Brasileira de Cartografia, Geodésia, Fotogrametria e Sensoriamento Remoto**. vol. 51, 1999. pp. 1-8.
- GALO, M.; DAL POZ, A. P.; FERREIRA, F. M. O uso de feições no controle de qualidade em cartografia. **Anais do XX Congresso Brasileiro de Cartografia**. Porto Alegre, 2001.
- 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.
- GUNTEL, A.; KARABORK, H.; KARASAKA, L. Accuracy Analysis of Control Point Distribution for Different Terrain Types on Photogrammetric Block. **Technical Gazette**. vol. 25, n. 1, 2018. pp. 66-74.
- ISO 19157: **Geographic information – Data quality**. International Organization for Standardization, 2013.
- IBGE, Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística. Avaliação da qualidade de dados geoespaciais. **Manuais técnicos em geociências**. Rio de Janeiro, 2017. Site < <http://biblioteca.ibge.gov.br/visualizacao/livros/liv101152> >, acessado em abril de 2019.

- LUGNANI, J. B. **Using digital entities as control**. Tese de doutoramento. Universidade de New Brunswick Brasília. Pós-Graduação em Engenharia Civil, Canadá, 1980.
- LUGNANI, J. B. Estimativa de qualidade para feições digitalizadas: Um novo método. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 39, 1986. pp. 26-29.
- MACHADO e SILVA, A. J. F. O Uso de Polinômios Racionais Na Ortorectificação de Imagens de Satélite. **Anais do XIII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto**. Florianópolis, 2007. pp. 1289-1295.
- MIRANDA, G. H. B. ; MEDEIROS, N. G.; SANTOS, A. P.; SANTOS, G. R. Análise de Qualidade de Amostragem e Interpolação na Geração de MDE. **Revista Brasileira de Cartografia**, vol. 70, n. 1, 2018, pp. 226-257.
- 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.
- MOZAS, A. T; ARIZA, F. J. Methodology for Positional Quality Control in Cartography Using Linear Features. **The Cartographic Journal**, vol. 47, n. 4, 2010. pp. 371-378.
- NOGUEIRA JR., J. B.; MONICO, J. F. G.; TACHIBANA, V. M. Tamanho da amostra no controle de qualidade posicional de dados cartográficos. **Boletim Ciências Geodésicas**. ,vol. 10, n. 1, 2004.
- NERO, M. A; CINTRA, J. P; FERREIRA, G. F.; PEREIRA, T. Á. J.; FARIA, T. S. A Computational tool to evaluate the sample size in map positional accuracy. **Boletim de Ciências Geodesicas**, vol. 23, n. 3, 2017. pp. 445-460.
- SANTOS, A. P.; FERREIRA, I. O.; MEDEIROS, N. G.; RODRIGUES, D. D.; GRIPP JÚNIOR, J. Avaliação da acurácia posicional em imagens Ikonos ortorectificadas com o uso de RPCs aliado a pontos de controle. **Anais do IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação**. n. 4, 2012. pp.1-7.
- 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 em Engenharia Civil, Viçosa, 2015. 188p.

- SANTOS, A. P.; MEDEIROS, N. das G.; SANTOS, G. R. dos; RODRIGUES, D. D. Controle de qualidade posicional em dados espaciais utilizando feições lineares. **Boletim de Ciências Geodésicas (Online)**, vol. 21, n. 2, 2015. pp. 233-250..
- SANTOS, A. P.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T.; GRIPP JR, J. Avaliação da acurácia posicional em dados espaciais utilizando técnicas de estatística espacial: proposta de método e exemplo utilizando a norma brasileira. **Boletim de Ciências Geodésicas (Online)**, vol. 22, n. 4, 2016a. pp. 630-650.
- SANTOS, A. P.; MEDEIROS, N. das G.; SANTOS, G. R.; RODRIGUES, D. D. Avaliação da acurácia posicional planimétrica em Modelos Digitais de Superfície com uso de feições lineares. **Boletim Ciências Geodésicas (Online)**, vol. 22, n. 1, 2016b. pp. 157-174.
- TACHIBANA, K.; GRUBER, M. & SHIMAMURA, H. Geometric accuracy investigation of VEXCEL ULTRACAMD. **The International Archives of The Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sceinces**, vol. XXXVIII, Part B1, 2008. pp. 611-615.
- TVEITE, H.; LANGAAS, S. An accuracy assessment meted for geographical line data sets based on buffering. **International Journal Geographical Information Science**, vol. 13, n. 1, 1999. pp. 27-47.
- TONG, X.; SUN, T.; FAN, J.; GOODCHILD, M. F.; SHI, W. A Statistical Simulation Model for Positional Error of Line Features in Geographic Information Systems (GIS). **International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation**, vol. 21, n. 0, 2013. pp. 136–148.
- VIEIRA, C. A. O.; MATHER, P. M.; BORGES, P. A. F. Assessing the positional accuracy of remotely sensed products. **5th International Symposium on Spatial Accuracy Assessment in Natural Resources and Environmental Sciences**, Melbourne, 2002.
- ZANETTI, J.; GRIPP JUNIOR, J.; SANTOS, A. P. Influência do número e distribuição de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por VANT. **Revista Brasileira de Cartografia**, vol. 69, n. 2, 2017. pp. 263-277.
- ZANETTI, J.; BRAGA, F. L. S.; SANTOS, A. P. Comparativo das normas de controle de qualidade posicional de produtos cartográficos do Brasil, da ASPRS e da OTAN. **Revista Brasileira de Cartografia**, vol. 70, n. 1, 2018. pp. 359-390.