

JULIETTE ZANETTI

**MÉTODO TRS: UMA PROPOSTA PARA AVALIAR A TENDÊNCIA EM
PRODUTOS CARTOGRÁFICOS POR MEIO DA ANÁLISE EM FEIÇÕES
LINEARES**

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

Orientador: Afonso de Paula dos Santos

Coorientadores: Júlio César de Oliveira
Nilcilene das Graças Medeiros

**VIÇOSA - MINAS GERAIS
2022**

**Ficha catalográfica elaborada pela Biblioteca Central da Universidade
Federal de Viçosa - Campus Viçosa**

T

Zanetti, Juliette, 1989-

Z28m
2022

Método TRS: uma proposta para avaliar a tendência em produtos cartográficos por meio da análise em feições lineares / Juliette Zanetti. – Viçosa, MG, 2022.

1 tese eletrônica (118 f.)

Orientador: Afonso de Paula dos Santos.

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Viçosa, Departamento de Engenharia Civil, 2022.

Inclui bibliografia.

DOI: <https://doi.org/10.47328/ufvbbt.2022.134>

Modo de acesso: World Wide Web.

1. Cartografia - Controle de Qualidade. 2. Cartografia - Métodos estatísticos. 3. Tendências. 4. Erros. I. Santos, Afonso de Paula dos, 1984-. II. Universidade Federal de Viçosa. Departamento de Engenharia Civil. Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil. III. Título.

CDD 22. ed. 526.8

Bibliotecário(a) responsável: Renata de Fátima Alves CRB6/2578

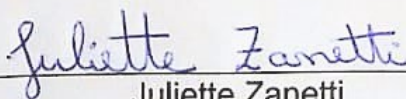
JULIETTE ZANETTI

**MÉTODO TRS: UMA PROPOSTA PARA AVALIAR A TENDÊNCIA EM
PRODUTOS CARTOGRÁFICOS POR MEIO DA ANÁLISE EM FEIÇÕES
LINEARES**

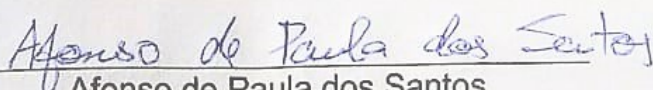
Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil, para obtenção do título de *Doctor Scientiae*.

APROVADA: 18 de fevereiro de 2022.

Assentimento:



Juliette Zanetti
Autora



Afonso de Paula dos Santos
Orientador

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, pela saúde e por ter me proporcionado essa oportunidade.

Ao meu pai José Brás Zanetti e minha mãe Ormi Maria das Graças Mosquem Zanetti, por me encorajarem com amor, paciência e dedicação cada passo da minha vida.

A meu esposo Marciel Mário Degasperi pelo carinho, compreensão e companheirismo em todos os momentos.

Ao meu irmão Juliano Bras Zanetti pelos conselhos e apoio.

Ao professor Afonso de Paula dos Santos pela oportunidade de trabalho, incentivo, atenção, paciência e pela orientação, sem a qual jamais conseguiria concluir meu trabalho.

Aos professores Júlio César de Oliveira e Nilcilene das Graças Medeiros, meus coorientadores, pelos ensinamentos e contribuições indispensáveis para o desenvolvimento deste trabalho.

À banca examinadora, pela disponibilidade em participar e pelas contribuições ao trabalho.

À Universidade Federal de Viçosa e ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil pela estrutura e excelência no ensino.

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

RESUMO

ZANETTI, Juliette, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, fevereiro de 2022. **Método TRS: Uma proposta para avaliar a tendência em produtos cartográficos por meio da análise em feições lineares.** Orientador: Afonso de Paula dos Santos. Coorientadores: Nilcilene das Graças Medeiros e Júlio César de Oliveira.

A utilização de dados tendenciosos em um banco de dados espaciais pode gerar produtos que não condizem com a realidade de campo. A análise de erros sistemáticos em uma base de dados espaciais permite propor ações que possam eliminar ou mitigar esses erros. Este passo é fundamental para garantir a qualidade do produto cartográfico. No entanto, poucos são os métodos para detecção de tendência em feições lineares. O presente trabalho propõe a avaliação de métodos de tendência a partir de feições lineares existentes na literatura, além de desenvolver um novo método. Para isso, iniciou-se o estudo e aplicação de metodologias para análise da acurácia posicional por meio de feições lineares, como: Pontos Finais, Pontos Intermediários, Ponto Gerado, Influência do Vértice, Normalização do *Buffer* Duplo e Fator de *Fuzziness*; utilizando como base o padrão brasileiro de acurácia posicional, o Decreto nº. 89.817/1984, em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016). Para a análise da tendência em produtos cartográficos a partir de feições lineares avaliou-se os métodos existentes na literatura, sendo eles: Fator de *Bias*, *Buffer* Duplo e Influência do Vértice. O resultado desta avaliação mostrou que os métodos não são efetivos para uma análise da tendência. Assim, propôs-se o método *Translation, Rotation e Scale* (TRS) para detecção de erros sistemáticos a partir da análise de translação, rotação e escala em produtos cartográficos, utilizando-se das técnicas de estatísticas e análise vetorial. Os resultados obtidos pelo método proposto apresentaram resultados satisfatórios quando comparados com a metodologia tradicional (por pontos), comprovando assim a eficiência para a análise de tendência em dados cartográficos utilizando feições lineares.

Palavras-chave: Cartografia. Controle de Qualidade Cartográfica. Feição Linear. Erros Sistemáticos. Tendência.

ABSTRACT

ZANETTI, Juliette, D.Sc., Universidade Federal de Viçosa, February, 2022. **TRS Method: A proposal to evaluate the trend in cartographic products through the analysis of linear features.** Adviser: Afonso de Paula dos Santos. Co-advisers: Nilcilene das Graças Medeiros and Júlio César de Oliveira.

The use of biased data in a spatial database can generate products that do not match field reality. The analysis of systematic errors in a spatial database allows proposing actions that can eliminate or mitigate these errors. This step is essential to guarantee the quality of the cartographic product. However, there are few methods for trend detection in linear features. The present work proposes the evaluation of trend methods from linear features existing in the literature, in addition to developing a new method. For this, the study and application of methodologies for the analysis of positional accuracy through linear features began, such as: End Points, Intermediate Points, Generated Point, Vertex Influence, Double Buffer Normalization and Fuzziness Factor; using as a basis the Brazilian standard of positional accuracy, Decree nº. 89.817/1984, together with ET-CQDG (DSG, 2016). For the analysis of the trend in cartographic products from linear features, the existing methods in the literature were evaluated, namely: Bias Factor, Double Buffer and Vertex Influence. The result of this evaluation showed that the methods are not effective for a trend analysis. Thus, the Translation, Rotation and Scale (TRS) method was proposed for the detection of systematic errors from the analysis of translation, rotation and scale in products maps, using statistical techniques and vector analysis. The results obtained by the proposed method showed satisfactory results when compared with the traditional methodology (by points), thus proving the efficiency for trend analysis in cartographic data using linear features.

Keywords: Cartography. Cartographic Quality Control. Linear Feature. Systematic Errors. Trend.

LISTA DE ILUSTRAÇÕES

CAPÍTULO 1

Figura 1- Análise da discrepância pelo método dos Pontos Finais da linha de referência (L_R) e da linha teste (L_T).	28
Figura 2 - Análise do comportamento da linha de referência (L_R) e da linha teste (L_T). Discrepância posicional em $B = 0$ e discrepância posicional em $A \neq 0$	29
Figura 3 - Análise da discrepância pelo método dos Pontos Intermediários da linha de referência (L_R) e da linha teste (L_T).	30
Figura 4 - Análise do comportamento da linha de referência (L_R) e da linha teste (L_T) com diferentes espaçamentos (ε e ε') adotados.	31
Figura 5 - Análise do comportamento da linha de referência (L_R) e da linha teste (L_T) com diferentes comprimentos.	32
Figura 6 - Análise da discrepância pelo método do Ponto Gerado da linha de referência (L_R) e da linha teste (L_T).	33
Figura 7 - Método do Ponto Gerado com as extremidades das feições lineares desordenadas.	34
Figura 8 - Análise da discrepância pelo método do Fator de <i>Fuzziness</i> com separação dos vértices de r e r_s	35
Figura 9 - Método da Influência do Vértice.	37
Figura 10 - Método do <i>Buffer Duplo</i>	38
Figura 11 - Áreas formadas pela sobreposição dos <i>Buffers</i>	40
Figura 12 - Normalização das áreas obtidas por meio da sobreposição dos <i>buffers</i>	41
Figura 13 - Localização das feições lineares (em vermelho) utilizadas no processo de avaliação da acurácia posicional do ortomosaico no município de Viçosa-MG. .	42
Figura 14 - Distribuição dos 8 segmentos enumerados coletados na área de estudo.	44
Figura 15 - Normalização do <i>Buffer Duplo</i> das linhas de teste e de referência para o conjunto de dados testado.	45
Figura 16 - Gráficos das discrepâncias utilizando feições lineares.	48
Figura 17 - Gráfico das discrepâncias utilizando o método da Influência do Vértice.	49

CAPÍTULO 2

Figura 1 – Fator de <i>Bias</i>	62
Figura 2 - <i>Bias</i> entre feições lineares.	63
Figura 3 - Exemplo de <i>outliers</i> e efeito aleatório em feição linear.	64
Figura 4 - Áreas formadas pela sobreposição dos <i>Buffers</i>	64
Figura 5 - Método da Influência do Vértice.	66
Figura 6 - Análise dos vértices da linha de referência (L_R) em relação a linha teste	

(L_T).....	68
Figura 7 - Localização das linhas utilizadas no processo de análise de tendência do ortomosaico no município de Viçosa-MG.	72
Figura 8 - Fluxograma dos principais passos metodológicos.	73
Figura 9 - Resultado do método de Oscilação do <i>Buffer Duplo</i> aplicado aos dados simulados.....	76
Figura 10 - Resultado do método de Oscilação do <i>Buffer Duplo</i> aplicados aos dados reais.	82

CAPÍTULO 3

Figura 1 - Fluxograma de atividades com diagrama de atividades da metodologia proposta.....	93
Figura 2 - Análise dos vértices de teste (L_T) e a linha de referência (L_R) no caso (a) e no caso (b) segmentação de pontos na linha de teste (L_T).	94
Figura 3 - Análise do comportamento da linha de referência (L_R) e da linha teste (L_T) com diferentes performances no caso (a) e (b) segmentação de pontos na linha de teste (L_T).....	95
Figura 4 - Análise de tendência utilizando a Média Direcional e a Variância Circular.	97
Figura 5 – No caso (a) e (b) a Linha Teste (L_T) em relação à Linha de Referência (L_R) não apresenta efeito de escala. Já no caso (c) e (d) Linha Teste (L_T) apresenta efeito de escala em relação a Linha de Referência (L_R).....	99
Figura 6 - Exemplo de um triângulo.	101
Figura 7 - Análise do sinal do seno do ângulo no círculo trigonométrico.....	102
Figura 8 - Localização das linhas utilizadas no processo de análise de tendência do ortomosaico no município de Viçosa-MG.	106

LISTA DE TABELAS

CAPÍTULO 1

Tabela 1 - Tolerâncias utilizadas para avaliação da acurácia posicional utilizando Decreto 89.817 aliado à ET-CQDG (DSG,2016).	27
Tabela 2 - Discrepâncias posicionais para o conjunto de linhas de estudo, segundo Equação 8.....	47
Tabela 3 - Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais planimétricas obtidas pelos métodos de feição linear.	48
Tabela 4 - Resultados obtidos da análise dos métodos do Ponto Gerado e Pontos Intermediários de acordo com as tolerâncias do Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984) em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016).	50
Tabela 5 - Resultados obtidos da análise dos métodos do Fator de <i>Fuziness</i> e Pontos Finais de acordo com as tolerâncias do Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984) em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016).	51
Tabela 6- Classificação da acurácia posicional do ortomosaico, utilizando métodos de feição linear de acordo com Decreto nº 89.817/ET-CQDG (DSG, 2016), para a escala 1:1.000.	52

CAPÍTULO 2

Tabela 1- Conjunto de linhas simuladas de teste e referência.	69
Tabela 2 - Características das linhas de referência e teste no conjunto dos dados simulados.....	71
Tabela 3 - Características das linhas de referência e teste no conjunto dos dados reais.	73
Tabela 4 - Resultados do método do Fator de <i>Bias</i>	75
Tabela 5 - Resultados do método da Influência do Vértice.	79
Tabela 6 - Análise geral dos diferentes métodos avaliados no conjunto de dados simulados.....	79
Tabela 7 - Resultados do método de Fator de <i>Bias</i> no conjunto de amostras.	81
Tabela 8 - Resultados do método da Influência do Vértice no conjunto de amostras.	83
Tabela 9 - Análise geral dos diferentes métodos avaliados no conjunto de dados reais.	84

CAPÍTULO 3

Tabela 1 - Conjunto de linhas de teste e referência que foram simuladas.	103
Tabela 2 - Resultados do método da Média Direcional e Variância Circular.....	107

Tabela 3 - Resultados do método da Análise Vetorial para detecção de efeito de escala.	108
Tabela 4 - Resultados do método da Análise Vetorial para detecção de efeito de rotação.....	109
Tabela 5 - Análise geral do método TRS em feições lineares aplicado nos dados reais.	111
Tabela 6 - Análise geral do método teste t Student em feições pontuais aplicado nos dados reais.	111

LISTA DE SIGLAS E ABREVIATURAS

BD	<i>Buffer Duplo.</i>
EP	Erro Padrão.
ET-CQDG	Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais.
FF	Fator <i>Fuzziness</i> .
GNSS	<i>Global Navigation Satellite System.</i>
IV	Influência do Vértice.
NBD	Normalização do <i>Buffer Duplo</i> .
NTRIP	<i>Networked Transport of RTCM via Internet Protocol.</i>
PEC	Padrão de Exatidão Cartográfica.
PEC-PCD	Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais.
PF	Pontos Finais.
PG	Ponto Gerado.
PI	Pontos Intermediários.
RBMC	Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo dos Sistemas GNSS.
RMS	<i>Root Mean Square.</i>
SCN	Sistema Cartográfico Nacional.
SIG	Sistema de Informação Geográfica.
TRS	<i>Translation, Rotation e Scale.</i>
UTM	<i>Universal Transversa de Mercator.</i>

SUMÁRIO

INTRODUÇÃO GERAL	13
1. HIPÓTESES	17
2. OBJETIVOS.....	17
3. JUSTIFICATIVAS	18
4. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO	19
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	19
CAPÍTULO 1: AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL UTILIZANDO OS MÉTODOS DE FEIÇÃO LINEAR: PONTOS FINAIS, PONTOS INTERMEDIÁRIOS, PONTO GERADO, INFLUÊNCIA DO VÉRTICE, NORMALIZAÇÃO DO <i>BUFFER</i> DUPLO E FATOR DE <i>FUZZINESS</i>	23
1. INTRODUÇÃO.....	24
2. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL QUE UTILIZAM FEIÇÕES LINEARES.....	26
2.1 Pontos Extremos em feições lineares.....	27
2.2 Pontos Intermediários em feições lineares	29
2.3 Ponto Gerado.....	32
2.4 Fator de <i>Fuzziness</i> (adaptação)	34
2.5 Método da Influência do Vértice.....	36
2.6 <i>Buffer</i> Duplo.....	38
2.6.1 Normalização do <i>Buffer</i> Duplo	39
3. EXPERIMENTOS E RESULTADOS.....	41
3.1 Área de estudo.....	42
3.2 Materiais e Métodos.....	42
3.3 Resultados e análises.....	45
4. CONCLUSÃO	53
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	54
CAPÍTULO 2: ESTUDO DA EFICÁCIA DOS MÉTODOS FATOR DE <i>BIAS</i> , OSCILAÇÃO DO <i>BUFFER</i> DUPLO E INFLUÊNCIA DO VÉRTICE NA ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM FEIÇÕES LINEARES.....	58
1. INTRODUÇÃO.....	59
2. ANÁLISE DE TENDÊNCIA NO CONTROLE DE QUALIDADE CARTOGRÁFICA	60
2.1 Fator de <i>Bias</i>	61
2.2 Método do <i>Buffer</i> Duplo	64

2.3	Método da Influência do Vértice.....	65
3.	MATERIAIS E MÉTODOS	68
3.1	Experimento com dados simulados	69
3.2	Experimento com dados reais.....	71
4.	RESULTADOS E ANÁLISES.....	74
4.1	Experimento com dados simulados	74
4.2	Experimento com dados reais.....	81
5.	CONCLUSÕES.....	85
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	86
	CAPÍTULO 3: MÉTODO TRS PARA DETECÇÃO DE TENDÊNCIA EM PRODUTOS CARTOGRÁFICOS UTILIZANDO FEIÇÕES LINEARES	89
1.	INTRODUÇÃO.....	90
2.	O MÉTODO TRS	92
2.1	Segmentação das linhas.....	93
2.2	Efeito de translação a partir da análise Média Direcional e Variância Circular 95	
2.3	Efeito de escala a partir da Análise Vetorial.....	97
2.4	Efeito de Rotação a partir da Análise Vetorial.....	100
3.	EXPERIMENTOS	103
3.1	Dados Simulados.....	103
3.2	Dados Reais	105
4.	RESULTADOS E ANÁLISES.....	106
4.1	Dados Simulados.....	106
4.2	Dados Reais	111
5.	CONCLUSÃO	111
	REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	113
	CONCLUSÕES GERAIS.....	117

INTRODUÇÃO GERAL

Cresce a cada dia a quantidade de dados espaciais disponibilizados, bem como métodos e algoritmos disponíveis voltados ao tratamento, interpretação e análise desses dados. Além disso, softwares e equipamentos cada vez mais amigáveis e com maior facilidade de utilização encontram-se para o uso de todos, aumentando-se proporcionalmente o número de usuários não especialistas em mapeamento (SANTOS, 2015).

O aprimoramento e o desenvolvimento de tecnologias influenciam positivamente várias áreas da representação espacial. A Cartografia Digital, por sua vez, modernizou a cartografia convencional, tornando-se uma tecnologia relevante para estudos geográficos e ambientais, tais como: saúde pública, geologia, silvicultura, transporte, planejamento urbano, dentre outros (MENEZES, FERNANDES, 2013).

A maioria dos usuários de dados espaciais não entende os principais conceitos de informação geográfica e muitos deles não estão cientes da incerteza que os dados digitais podem conter (MORRISON, 1995). Muitas vezes integram-se vários conjuntos de dados com aparência semelhante, sem estar cientes dos riscos potenciais que podem surgir dessas combinações (CURRY, 1998). Logo, se a base cartográfica não atende um padrão de qualidade aceitável, todo o processo seguinte estará comprometido.

Desde a década de 1990, com o início da cartografia digital no Brasil, a preocupação com a qualidade dos dados espaciais é crescente, como relatado por Galo e Camargo (1994). Com a expansão de novas tecnologias para mapeamentos, compartilhamento e a popularização das informações espaciais nos dias atuais, torna-se essencial um controle de qualidade cartográfica nesses dados e produtos.

Para a cartografia, é imprescindível que os dados espaciais representem o mundo real da forma mais fidedigna possível, atendendo o mínimo necessário aos padrões de qualidade exigidos dentro da sua utilização na vida prática. O controle de qualidade é crucial para garantir e especificar a qualidade e acurácia das informações espaciais, garantindo assim maior assertividade nas tomadas de decisões com os mesmos (GOODCHILD, 2010; SANTOS et al., 2016).

Tveite e Langaas (1995) e Burity (1999) destacam que a disponibilidade de informações de qualidade é um pré-requisito para a utilização de conjuntos de dados

geográficos, caso contrário, seu uso pode gerar resultados inadequados.

Na área cartográfica, a norma ISO 19157 (ISO, 2013) aborda seis elementos de qualidade de dados espaciais: completude, consistência lógica, acurácia temática, acurácia temporal, usabilidade e acurácia posicional. Cada um destes elementos descrevem a qualidade dos componentes dos dados espaciais, utilizando um conjunto de critérios estabelecidos.

Segundo a ISO 19157 (ISO, 2013), a completude pode ser definida pela presença e ausência de características, seus atributos e relacionamentos em um conjunto de dados. A consistência lógica é definida pelo grau de aderência às regras lógicas de estruturas, atribuições e relacionamentos dos dados. A acurácia temática diz respeito à correta representação das feições e atributos quantitativos, correção de atributos não quantitativos, classificação das características e seus relacionamentos. Já a acurácia temporal descreve o grau de exatidão das informações dos atributos das feições variantes com o tempo.

De acordo com o Araújo (2016), a usabilidade é um elemento que está ligado aos requisitos específicos do usuário. Este elemento avalia se um determinado produto atende as especificações de um determinado usuário, utilizando-se de indicadores como eficácia, eficiência e satisfação num contexto de uso específico.

Por fim, a acurácia posicional segundo Ariza (2002) e Nogueira Júnior (2003) avalia o quão próximo a posição de um dado espacial está em relação à sua realidade no terreno. Para avaliar a acurácia posicional de dados espaciais utiliza-se da comparação entre as suas informações e medições confiáveis, obtendo-se assim um conjunto de discrepâncias posicionais. Este conjunto de discrepâncias é utilizado para a classificação da acurácia posicional de acordo a norma adotada no país ou por uma instituição. Para Ariza-López e Atkinson-Gordo (2008), a acurácia posicional é um dos elementos que os institutos de mapeamentos mais se preocupam.

Na avaliação da acurácia posicional em dados cartográficos é possível utilizar-se das primitivas gráficas como o ponto, linha e o polígono. Na literatura existem diversos trabalhos fundamentados na comparação entre pontos homólogos, como podem ser vistos em Tveite e Langaas (1995), Ariza-López (2002), Nogueira Júnior (2003), Nero (2005), Santos (2010), Pereira e Nero (2012), Silva e Schuller (2015), entre outros. Contudo, existe um grande esforço da comunidade científica em utilizar métodos de avaliação posicional que utilizam feições lineares (SANTOS et al., 2015).

Segundo Mozas-Calvachi e Ariza-López (2011), em uma base de dados cartográfica, aproximadamente 80% das feições são lineares. A avaliação posicional com feições lineares considera a comparação entre linhas homólogas dos dados de referência em relação aos dados de teste. Além da possibilidade de análises de comprimento, áreas, angularidade, sinuosidade, entre outros, existe a possibilidade da decomposição dos seus elementos à primitiva gráfica do ponto.

O termo acurácia, segundo Monico et al. (2009), é definido como sendo a combinação da precisão e tendência. Dessa forma, para que um dado seja considerado acurado, deve ser preciso e livre de tendência. O termo precisão é vinculado a efeitos aleatórios, ou seja, a dispersão das observações, enquanto que tendência vincula-se a efeitos sistemáticos.

Santos (2010) destaca que no controle de qualidade em dados espaciais é de fundamental importância a análise de tendências. Atualmente, não é fato raro encontrar no mercado de trabalho produtos gerados contendo efeitos sistemáticos, sendo a principal causa a falta de controle nas várias etapas da produção cartográfica. Segundo Santos et al. (2016), ao se utilizar um produto tendencioso, com erros sistemáticos, pode-se gerar análises e decisões que não correspondem com a realidade. A determinação e cálculo de tendência em uma base de dados espaciais permitem sua eliminação ou minimização. Assim, se o efeito sistemático verificado através da análise da acurácia posicional e por testes estatísticos for significativo em relação à acurácia requerida, uma correção pode ser aplicada para compensar o efeito.

Na análise de tendências em dados espaciais a partir da utilização de feições pontuais Merchant (1982), Ariza-López (2002), Nero (2005), Santos (2010), Lima (2012), e Sztutman (2014) utilizam o teste *t* de *Student* na amostra de discrepâncias posicionais. O teste destina-se a verificar se a média das discrepâncias posicionais é estatisticamente igual à zero, inferindo, assim, se o produto avaliado apresenta tendência ou não, à um determinado nível de confiança. Para aplicação deste teste é necessário que a amostra de discrepâncias posicionais tenha distribuição normal.

Porém, podem ocorrer casos em que a amostra de discrepâncias posicionais não siga uma distribuição normal. Santos (2010) propõe a utilização de duas estatísticas espaciais que permitem identificar presença de tendências em dados espaciais representados por feições pontuais: a Média Direcional e a Variância Circular. A Média Direcional tem o objetivo de analisar a tendência central da direção

de um conjunto de vetores de discrepâncias posicionais. Já a Variância Circular tem o propósito de verificar se a Média Direcional é significativa ou não (SANTOS, 2010; WONG e LEE, 2005). Sabe-se que a variância circular varia de 0 a 1, onde valores próximos de zero indicam que os vetores analisados estão na mesma direção indicando a presença de tendência. Já os valores próximos a 1 indicam direções opostas, ou seja, não há tendência (SANTOS et al., 2016).

A análise da acurácia posicional em produtos cartográficos é uma questão importante, não só para determinar o nível de incerteza com a realidade, mas também para determinar as suas causas e minimizá-la. Segundo Lima (2012), a análise de tendência quando detectada pode ser eliminada ou ao menos minimizada. No entanto, estudos de análise de tendência em feições lineares ainda não são aprofundados na área de controle de qualidade cartográfica.

Mozas-Calvachi e Ariza-López (2014) sugerem uma análise gráfica para avaliação e detecção de erros sistemáticos em feições lineares. Segundo os mesmos autores a análise consiste em uma representação espacial da média dos vetores de deslocamento de cada linha. Estes vetores serão representados no centro da sua linha correspondente, a fim de identificar corretamente a linha associada. Em seguida, os autores propõem a análise visual para identificar padrões espaciais no conjunto de vetores de deslocamentos, ou seja, utiliza a orientação, comprimento e distribuição espacial dos vetores de deslocamentos, a fim de estabelecer possíveis padrões de tendência.

Encontram-se na literatura estudos que descrevem métodos para a análise de tendência em feições lineares. Tveite e Langaas (1999) apresentam uma análise através da avaliação da faixa média de oscilação, baseando-se na aplicação de *Buffers* Duplos. Mozas-Calvachi e Ariza-López (2011) fundamentam-se na obtenção da distância euclidiana a partir dos vértices da linha de referência para a linha teste. Já o método do Fator de *Bias*, originalmente proposto por Ramirez (2000), propõe calcular a qualidade posicional entre as feições lineares através da estimativa do deslocamento da linha teste em relação à linha de referência.

Destacam-se trabalhos como de Masry, Gauthier e Lee (1980), Tveite e Langaas (1995), Nogueira (2003), Nero (2005) Lima, Thomaz e Severo (2010), Lima (2012), Sztutman (2014), Silva e Schuller (2015), Silva et al. (2016), dentre outros, baseados em análises estatísticas de tendência entre as coordenadas de referência

e as coordenadas observadas em feições pontuais. Já Tveite e Langaas (1999), Ramirez e Ali (2003), Mozas-Calvachi e Ariza-López (2011), Fonseca Neto et al. (2017), Zanetti, Gripp e Santos (2017), dentre outros, realizaram análise de tendência através dos pontos iniciais e pontos finais das feições lineares aplicando testes estatísticos. Nos trabalhos citados, notam-se apenas estudos constatando a presença ou não de erros sistemáticos (tendência) a um determinado nível de confiança nos pontos extremos das feições lineares.

Observa-se uma carência de estudos relacionados a análise de tendência em dados espaciais utilizando feições lineares, visto que em uma base de dados normalmente encontra-se uma alta frequência de estrutura de linhas, o que justifica o desenvolvimento de pesquisas desta natureza, bem como a criação de uma nova metodologia.

1. HIPÓTESES

Diante do exposto, definem-se como hipóteses deste trabalho:

- i. É viável utilizar os métodos de avaliação da acurácia posicional por feições lineares tais como: Pontos Finais em feições lineares, Pontos Intermediários em feições lineares, Ponto Gerado, Fator de *Fuzziness*; aplicando as tolerâncias do padrão de acurácia posicional brasileiro exposto no Decreto nº 89.817 de 1984.
- ii. A análise de tendência ao longo do segmento linear pode gerar resultados mais eficazes que a análise realizada somente nos pontos finais e iniciais da feição linear.

2. OBJETIVOS

O propósito deste trabalho é o estudo de métodos para detecção de tendências em produtos cartográficos, a partir da utilização de feições lineares, no processo de controle de qualidade cartográfica.

Para atingir o propósito deste trabalho, os seguintes objetivos específicos foram propostos:

- i. Propor metodologias para aplicações dos métodos de Pontos Finais em feições lineares, Pontos Intermediários em feições lineares, Ponto Gerado, Fator de *Fuzziness* para análise da acurácia posicional por meio de feições lineares utilizando as tolerâncias posicionais do padrão brasileiro de acurácia posicional, Decreto nº. 89.817/1984 em conjunto com a ET-CQDG (2016);
- ii. Uso de feições lineares para avaliar a tendência em produtos cartográficos por meio dos métodos: Fator de *Bias*, *Buffer Duplo* e *Influência do Vértice*.
- iii. Proposição de um novo método, chamado TRS, para detecção de tendências em produtos cartográficos, a partir da utilização de feições lineares, investigando os efeitos sistemáticos de translação, rotação e escala.

3. JUSTIFICATIVAS

Segundo Santos et al. (2016) a principal importância no controle de qualidade de um produto cartográfico é informar o nível de sua qualidade e assim, recomendar a destinação do uso da informação (seja posicional, de atributos ou temporal) inerente aos dados espaciais.

Mozas-Calvachi e Ariza-López (2010) recomendam o uso de feições lineares para avaliação, ou ainda a associação entre linhas ou em conjunto com pontos, dependendo das circunstâncias de cada caso. Segundo os mesmos autores, as alternativas de usar feições lineares no controle da acurácia posicional de dados espaciais em vez de feições pontuais são pelas seguintes razões:

- i. Alta frequência de feições lineares contidas nas bases de dados espaciais. Estima-se que 80% dos elementos em uma base cartográfica têm como primitivas gráficas a linha;
- ii. Geralmente as feições lineares têm uma boa distribuição espacial nas bases cartográficas como redes de rodovias, estradas e hidrografia e;
- iii. Os elementos lineares apresentam uma grande quantidade de informações geométricas como vértices, segmentos, orientação, entre outros.

É relevante no controle de qualidade de dados espaciais a determinação, cálculo e análise da tendência, pois constatado o efeito sistemático, mediante a testes estatísticos e análise vetorial, ações devem ser propostas para minimizar ou eliminar a tendência dos dados e conseqüente melhoria na qualidade no produto final. Sendo

assim, neste trabalho, pretende-se explorar metodologias e técnicas baseadas em feições lineares a fim de detectar a presença de tendências em um banco de dados espaciais de forma nortear ou auxiliar demais pesquisas.

4. ESTRUTURAÇÃO DO TRABALHO

O presente trabalho está dividido em cinco tópicos no formato de capítulos, conforme segue:

- Introdução Geral: Apresenta uma introdução geral sobre o controle de qualidade de dados espaciais, as hipóteses, os objetivos gerais e específicos, justificativa e importância do presente estudo.
- Capítulo 1: Tem como objetivo descrever os métodos para avaliação da acurácia planimétrica através de feições lineares como: Pontos Finais, Pontos Intermediários, Ponto Gerado e Fator de *Fuzziness*. Neste capítulo está descrita a metodologia de aplicação de tais métodos, aliada ao padrão o Decreto nº 89.817/1984, em conjunto com a ET-CQDG (2016). Por fim os métodos discutidos no capítulo são comparados com os métodos da Influência do Vértice e *Buffer Duplo*.
- Capítulo 2: Análise de tendência em feições lineares no processo de controle de qualidade posicional em dados espaciais aplicando os métodos: Fator de *Bias*, *Buffer Duplo* e Influência do Vértice.
- Capítulo 3: Propor o método TRS que utiliza análise estatística e vetorial para detecção de erros sistemáticos de translação, rotação e escala, em um conjunto de dados espaciais.
- Conclusões Gerais: Expõem as considerações finais e recomendações para trabalhos futuros.

Nos capítulos 1, 2 e 3 foi utilizada a mesma área de estudo para aplicação e análise das metodologias expostas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARAÚJO, V. O. H. de. **Usabilidade de geoportais: o caso do visualizador da Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais (INDE)**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Defesa) -Instituto Militar de Engenharia - IME, Rio de Janeiro, 172 p., 2016.

ARIZA-LÓPEZ, F.J. **Calidad en la Producción Cartográfica**, RA-MA, Madrid. 389 p., 2002a.

ARIZA-LÓPEZ, F. J. L.; ATKINSON-GORDO, A. D. G. Analysis of some positional accuracy assessment methodologies. **Journal of Surveying Engineering**, v. 134, n. 2, 2008.

BURITY, E. F. **A carta cadastral urbana - Seleção de dados a partir da análise das necessidades dos usuários**. Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia, Engenharia Cartográfica - Rio de Janeiro, RJ, 106 p., 1999.

CURRY, M. R. **Digital places: Living with Geographic Information Technologies**, Routedledge, London e New York, 1998.

GALO, M.; CAMARGO, P. O. **O uso do GPS no controle de qualidade de cartas**. In: 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário, Florianópolis, Santa Catarina, Brasil. p. 41- 48, 1994.

GOODCHILD, M. F. **Principles of Modeling Uncertainties in Spatial Data and Spatial Analyses**. CRC Press, 2010.

ISO 19157. **Geographic information - Data Quality**. ISO- standard and Swedish SIS standard, 2013.

LIMA, E. M.; THOMAZ, T. A. M.; Severo, T. C. **Mapeamento aerofotogramétrico digital utilizando fotografias de médio formato**. Monografia (Graduação em Engenharia Cartográfica) - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

LIMA, E. C. **O Levantamento Pioneiro da SARA Brasil: Histórico, Tecnologia Empregada e Avaliação dos Produtos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil, 212 p., 2012.

MASRY, S. E.; GAUTHIER, J. R. R.; LEE, Y. C. **Accuracy and time comparisons of digital maps**. In: international test, 14th Congress of The International Society of Photogrammetry, Hamburg, vol. 48, 11, p. 494-514, 1980.

MERCHANT, D.C. **Spacial Accuracy for Large Scale Line Maps**. In: Technical Congress of Surveying and Mapping, p. 222–31, 1982.

MENEZES, P. M. L.; FERNANDES, M. C. **Roteiro de Cartografia**. São Paulo: Oficina de Textos, 288 p., 2013.

MONICO, J.F.M.; DAL PÓZ, A.P.; GALO, M.; SANTOS, M.C.; OLIVEIRA, L.C. Acurácia e Precisão: Revendo os conceitos de forma acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 15, p.469-483, 2009.

MORRISON, J. L., In **Elements of spatial data quality** (Ed, inc., E. S.) New York, 202 p., 1995.

MOZAS-CALVACHI, A. T.; ARIZA-LÓPEZ F. J. Methodology for Positional Quality Control in Cartography Using Linear Features. **The Cartographic Journal**, p. 371-378, 2010.

MOZAS-CALVACHI, A. T.; ARIZA-LÓPEZ F. J. New Method for Positional Quality Control in Cartography Based on Lines. A Comparative Study of Methodologies. **International Journal of Geographical Information Science**, Taylor e Francis: p.1681–95, 2011.

MOZAS-CALVACHI, ANTONIO T., ARIZA-LÓPEZ F. J. **Detection of systematic displacements in spatial databases using linear elements**. Cartography and Geographic Information Science, vol.41, n. 4, p. 309-322, 2014.

NERO, M. A. **Proposta para Controle de qualidade de bases cartográficas com ênfase na componente posicional**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São paulo.186 p., 2005.

FONSECA NETO, F., GRIPP JUNIOR, J, BOTELHO. M. F., SANTOS, A.P. NASCIMENTO, L.A, FONSECA, A. L. F. Assessment of positional quality in spatial data generated by VANT using point and linear feature for cadastre applications. **Boletim de Ciências Geodésicas**, p. 134 – 149, 2017.

NOGUEIRA J. J. B. **Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica**. Dissertação (Mestrado) – Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP, Presidente Prudente, 147 p., 2003.

PEREIRA, T. A. J., M. A Nero. **Análises de Normas de Controle de Qualidade Cartográfica Ao Redor Do Mundo: Exemplos Atuais de Alguns Países**. In: IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas E Tecnologias Da Geoinformação. Recife, Brasil, 2012.

RAMIREZ, J.R. ALI, T. **Progress in metrics development to measure positional accuracy of spatial data**. In: Proceedings of the 21st International Cartographic Conference (ICC). Durban, South Africa. p. 10-16, 2003.

SANTOS, A. P.; **Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais com Uso de Estatística Espacial**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa - UFV. Viçosa, 128 p. 2010.

SANTOS, A. P. **Controle de Qualidade Cartográfica: metodologias para avaliação da acurácia posicional em dados espaciais**. Tese (Doutorado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 172 p., 2015.

SANTOS, A. P.; MEDEIROS, N. G.; SANTOS, G. R.; RODRIGUES, D. D. Controle de qualidade posicional em dados espaciais utilizando feições lineares. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 21, p. 233-250, 2015.

SANTOS, A. P.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T.; GRIPP Junior, 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**, v. 22, n. 4, p. 630-650, 2016.

SILVA, M. V.; SCHULLER, C. A. B. Avaliação de dados planimétricos lidar para áreas urbanas: Recife - PE. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, p. 1103-1117, 2015.

SILVA, C. A.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S. SABADIA, J. A. B. Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS E LIDAR. BCG- **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 1, jan-mar, p. 73-94, 2016.

SZTUTMAN, P. **Análise da qualidade posicional das bases do Google Maps, Bing Maps e da Esri para referência espacial em projetos em SIG: aplicação para o município de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil, 182 p., 2014.

TVEITE, H.; LANGAAS, S. **Accuracy assessments of geographical line data sets, the case of the digital chart of the world**. In: Proceedings of the 5th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Systems (ScanGIS'95) (Trondheim: Department of Surveying and Mapping, University of Trondheim), p. 145–154, 1995.

TVEITE, H.; LANGAAS, S. An accuracy assessment method for geographical line data sets based on buffering. **International Journal Geographical Information Science**, vol. 13, n.1, p.27-47, 1999.

WONG, D. W. S.; LEE, J. **Statistical Analysis of Geographic Information with ArcView GIS and ArcGIS**. New York: John Wiley e Sons. 464 p., 2005.

ZANETTI, J.; GRIPP, J. J.; SANTOS, A. P. Influência do número e distribuição de pontos de controle em ortofotos geradas a partir de um levantamento por VANT. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 29, p. 263-277, 2017.

CAPÍTULO 1: AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL UTILIZANDO OS MÉTODOS DE FEIÇÃO LINEAR: PONTOS FINAIS, PONTOS INTERMEDIÁRIOS, PONTO GERADO, INFLUÊNCIA DO VÉRTICE, NORMALIZAÇÃO DO *BUFFER* DUPLO E FATOR DE *FUZZINESS*

Resumo: Nos últimos anos, 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. Neste sentido, o presente trabalho teve como objetivo atrelar as tolerâncias definidas no Decreto nº 89.817 e à Especificação Técnica de Controle de Qualidade de Dados Espaciais (ET-CQDG) (DSG, 2016) nos métodos de feições lineares: Pontos Finais, Pontos Intermediários, Ponto Gerado e em uma adaptação proposta ao método Fator *Fuzziness*. Ao final, tais métodos foram comparados com os métodos de feições lineares já aplicados no Brasil que são: Influência do Vértice e Normalização do *Buffer* Duplo. Para tanto, foi avaliada a acurácia posicional planimétrica de um ortomosaico no município de Viçosa-MG, onde os resultados obtidos mostraram que os métodos do Pontos Finais, Influência do Vértice, Fator de *Fuzziness* e o método de Normalização do *Buffer* Duplo obtiveram classificação planimétrica Classe A para a escala de 1:1.000. Já os métodos Pontos Intermediários e Ponto Gerado apresentaram Classe B na escala 1:1.000.

Palavras-Chave: Discrepância Posicional. Feições Lineares. Controle de Qualidade Cartográfica. Similaridade.

Abstract: In recent years, the use of linear features has been frequently investigated in cartographic quality control, and several methods have been proposed to assess positional accuracy. In this sense, the present work aimed to link the tolerances defined in Decree No. 89.817 and the Technical Specification for Quality Control of Spatial Data (ET-CQDG) (DSG, 2016) in the linear feature methods: End Points, Intermediate Points, Ponto Gerado and in a proposed adaptation to the Fator *Fuzziness* method. In the end, these methods were compared with the methods of linear features already applied in Brazil, which are: Vertex Influence and Double Buffer Normalization. For that, the planimetric positional accuracy of an orthomosaic in the city of Viçosa-MG was evaluated, where the results obtained showed that the Endpoints, Vertex Influence, *Fuzziness* Factor and the Double Buffer Normalization method obtained planimetric classification Class A for the 1:1000 scale. On the other hand, the Intermediate Points and Generated Point methods presented Class B on a 1:1,000 scale.

Keywords: Positional discrepancy. Linear Features. Cartographic Quality Control. Similarity.

1. INTRODUÇÃO

Na cartografia, necessita-se modelar o mundo real de modo que o mesmo possa ser representado o mais fidedignamente possível através de dados espaciais. Goodchild (2010) ressalta a importância do controle de qualidade ao investigar dados espaciais de modo a garantir e especificar a qualidade e acurácia dos mesmos, explicitando discrepâncias, omissões e incertezas, bem como definindo sua finalidade. Assim, quanto maiores as exigências de controle de qualidade em uma base de dados espaciais, provavelmente, maior será o nível de acerto na tomada de decisões utilizando estes dados (SANTOS et al., 2016).

Segundo Tveite e Langaas (1995), a disponibilidade de informações de qualidade é um pré-requisito para a utilização de conjuntos de dados geográficos. No uso de qualquer material cartográfico, recomenda-se o conhecimento prévio de sua acurácia, caso contrário pode ser gerados resultados que fiquem abaixo do esperado (BURITY, 1999).

Na área de Cartografia, a avaliação da qualidade de dados espaciais deve considerar diversos elementos. A norma ISO 19157:2013 aborda seis elementos de qualidade de dados espaciais: completude, acurácia posicional, acurácia temática, acurácia temporal, consistência lógica e usabilidade. Segundo Ariza-López e Atkinson-Gordo (2008), a acurácia posicional é um dos elementos mais relevantes abordados pelos institutos de mapeamentos.

A acurácia posicional refere-se a quão próxima a posição de um dado espacial está em relação à sua realidade no terreno (ARIZA-LÓPEZ, 2002; NOGUEIRA JÚNIOR, 2003). Para avaliar a acurácia posicional de dados espaciais, utiliza-se a comparação entre as suas informações geométricas com as observadas no campo ou um produto com maior acurácia, obtendo-se, assim, um conjunto de discrepâncias posicionais. Estas discrepâncias são utilizadas para a classificação da acurácia posicional do dado espacial de acordo com a norma adotada no país.

Na avaliação da acurácia posicional em dados cartográficos podem-se utilizar as primitivas gráficas: ponto, linha e polígono. Nos trabalhos de Giordano e Veregin (1994), Tveite e Langaas (1995), Ariza-López (2002), Nogueira Júnior (2003), Nero (2005), Ariza-López e Atkinson-Gordo (2008), Santos (2010), Pereira e Nero (2012), Silva e Schuler (2015), entre outros, são observadas metodologias fundamentadas na

comparação entre pontos homólogos pertencentes às diferentes bases cartográficas. Diversos países, têm suas Normas e Leis fundamentadas em feições pontuais, como observado nos trabalhos de Ariza-López (2002), Nogueira Júnior (2003), Nero (2005), Santos (2010), Pereira e Nero (2012), entre outros.

Já nas últimas décadas, métodos de avaliação posicional que utilizam feições lineares têm sido aplicados em pesquisas de Sistemas de Informações Geográficas (SIG), direcionando um grande esforço da comunidade científica para a compreensão do tema e desenvolvimento de diferentes métodos de avaliação (TONG et al., 2013).

Segundo Santos et al. (2015), os métodos de avaliação da acurácia posicional com o uso de feições lineares consideram a comparação entre linhas homólogas dos dados de referência em relação aos dados de teste analisando 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.

Segundo Mozas-Calvachi e Ariza-López (2011), os primeiros estudos analisando as discrepâncias entre feições lineares foram realizados para obter discrepâncias posicionais derivadas do processo de simplificação. McMaster (1986) descreve um conjunto de avaliação para comparar a geometria de uma linha antes e depois do processo de simplificação, assim como apresenta algumas medidas comparativas para analisar a discrepância entre a feição de linha simplificada e a original. A ideia básica por trás da avaliação posicional que utilizam feições lineares é encontrar uma maneira de medir a similaridade entre duas representações de linha, uma vez que as duas linhas representam basicamente a mesma característica (RAMIREZ e ALI, 2003). Mozas-Calvachi (2007) menciona em seu trabalho que a aplicação desses métodos de verificação de acurácia posicional faz sentido hoje graças aos avanços tecnológicos em geral e as técnicas de obtenção dos elementos de referência linear, que podem ser obtidos de forma mais rápida, usando tecnologia de GNSS (*Global Navigation Satellite System* - Sistema de Satélite de Navegação Global) algo que em algumas décadas atrás era impensável.

Entre os métodos existentes que utilizam feições lineares para avaliação da acurácia posicional, podem-se citar: Banda *Épsilon*, *Buffer* Simples, *Buffer* Duplo, Banda-G; Influência do Vértice, Distância de Hausdorff, Modelo de Erro Estatístico de Simulação, Aproximações por *Spline*, Retângulo Equivalente, Completude, RMS

modificado, Ponto Gerado, Pontos Finais em feições lineares, Pontos Intermediários em feições lineares, Fator de *Fuzziness* (MASRY, GAUTHIER e LEE, 1980; LUGNANI, 1980; BLAKEMORE, 1984; LUGNANI, 1986; TVEITE e LANGAAS, 1995; GOODCHILD e HUNTER, 1997; HEIPKE et al., 1997; FERREIRA e CINTRA, 1999; TVEITE e LANGAAS, 1999; SHI e LIU, 2000; GALO, DAL POZ e FRANCE, 2001; DAL POZ, GALO e FERREIRA, 2001; ARIZA-LÓPEZ, 2002; RAMIREZ e ALI, 2003; MOZAS-CALVACHI e ARIZA-LÓPEZ, 2010; 2011; TONG et al., 2013).

Segundo Santos (2015), não é comum no Brasil o uso de feições lineares para controle de qualidade posicional em dados espaciais. Dessa forma, considerando a métrica de feições lineares um questionamento que se apresenta é sua integração com as tolerâncias definidas no Decreto nº 89.817 e à Especificação Técnica de Controle de Qualidade de Dados Espaciais (ET-CQDG) (DSG, 2016).

Neste contexto, o objetivo do presente trabalho é propor metodologicamente vincular as tolerâncias definidas no Decreto nº 89.817 de 1984, em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016) aos métodos de feições lineares Fator *Fuzziness*, Pontos Finais, Pontos Intermediários e Ponto Gerado para avaliação da acurácia posicional planimétrica. Para efeito de análise de eficiência da metodologia proposta, os resultados obtidos serão comparados com os métodos da Influência do Vértice, *Buffer Duplo* e Normalização do *Buffer Duplo*. Para tal, será avaliada a acurácia posicional planimétrica de um ortomosaico, na escala 1:1.000, no município de Viçosa-MG. Vale ressaltar que este estudo sugere uma adaptação ao método Fator *Fuzziness*.

2. MÉTODOS DE AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA POSICIONAL QUE UTILIZAM FEIÇÕES LINEARES

A avaliação da acurácia posicional é realizada com base nas tolerâncias denominadas de Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) e Erro Padrão (EP). A ET-CQDG (DSG, 2016) define a metodologia utilizada ao se avaliar a acurácia posicional em produtos cartográficos, bem como emprega uma classe para produtos digitais com tolerâncias mais exigentes que o Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984). O principal objetivo desta especificação técnica é fornecer uma forma padronizada para avaliar a qualidade dos produtos de conjuntos de dados espaciais integrantes do Sistema Cartográfico Nacional (SCN) do Brasil (DSG, 2016). Utilizando ET-CQDG, devem-se atender dois critérios para avaliar a acurácia posicional: (i) 90% dos pontos bem

definidos, quando testados no terreno, não deverão apresentar discrepâncias superiores a ET-CQDG, para a classe e escala testadas; e (ii) A raiz do valor quadrático médio (RMS) da amostra de discrepâncias seja igual ou inferior ao valor do EP, estabelecido para a escala e classe testadas.

Se as duas condições forem verdadeiras, o produto em análise é aprovado para a escala e classe testadas, mas se alguma das duas condições for falsa, o resultado será reprovado. A Tabela 1 apresenta as tolerâncias utilizadas na avaliação da acurácia posicional utilizando o padrão descrito no Decreto nº 89.817 de 1984, em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016).

Tabela 1 - Tolerâncias utilizadas para avaliação da acurácia posicional utilizando Decreto 89.817 aliado à ET-CQDG (DSG,2016).

Classe PEC	Classe PEC-PCD	Planimetria	
		PEC-PCD(mm)	EP(mm)
	A	0,28 * escala	0,17* escala
A	B	0,50* escala	0,30* escala
B	C	0,80* escala	0,50* escala
C	D	1,00* escala	0,60* escala

Fonte: Os autores (2022).

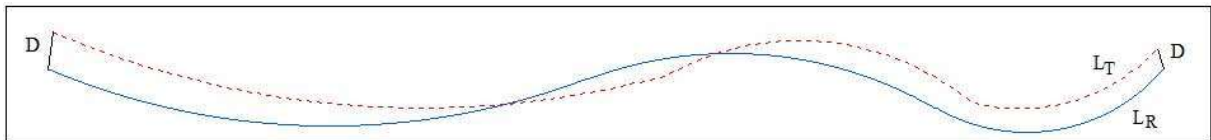
Um dos aspectos importantes é que a avaliação da acurácia posicional de produtos cartográficos geralmente é realizada por meio de técnicas que se baseiam na verificação de feições pontuais homólogas do produto avaliado e o dado de referência. No entanto, existem casos em que o número de pontos não é suficiente, e/ou sua distribuição não é abrangente em toda a extensão geográfica a ser avaliada (SANTOS, 2010). Estes problemas mostram que, embora os métodos usando pontos sejam conhecidos e tenham sido testados, é recomendável estudar alternativas complementares como a utilização de Feições Lineares. A seguir serão apresentados os métodos de feições lineares que foram utilizados neste trabalho: Pontos Extremos em feições lineares, Pontos Intermediários em feições lineares, Ponto Gerado, Fator *Fuzziness*, Influência do Vértice e Normalização do *Buffer* duplo.

2.1 Pontos Extremos em feições lineares

Segundo Tveite e Langaas (1995), os pontos das extremidades das feições lineares podem ser usados para fornecer uma medida de acurácia. Os pontos extremos de tais feições podem ser identificados nos cruzamentos de vias, em uma

rede rodoviária, nos rios, entre outros. Após identificar os pontos extremos correspondentes no conjunto de dados da linha de referência (L_R – linha azul) e no conjunto de dados testado (L_T – linha vermelha), deve-se avaliar a acurácia dos pontos extremos com base nas discrepâncias posicionais observadas (Figura 1).

Figura 1- Análise da discrepância pelo método dos Pontos Finais da linha de referência (L_R) e da linha teste (L_T).



Fonte: Os autores (2022).

Para a aplicação do método dos Pontos Extremos, utilizando como base as tolerâncias do Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984) em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016), propõem-se as seguintes etapas:

1. Selecionar uma amostra contendo n linhas homólogas de teste (L_T) e de referência (L_R);
2. Identificar os pontos extremos (finais e iniciais) das linhas teste (L_T) e de referência (L_R);
3. Calcular as discrepâncias posicionais (D_{2d}) conforme as Equações 1, 2 e 3.

$$D_x = X_T - X_R \quad (1)$$

$$D_y = Y_T - Y_R \quad (2)$$

$$D_{2d} = \sqrt{D_x^2 + D_y^2} \quad (3)$$

sendo:

X_T : Abscissa da linha teste (L_T);

X_R : Abscissa da linha de referência (L_R);

Y_T : Ordenada da linha teste (L_T);

Y_R : Ordenada da linha de referência (L_R);

D_x : Discrepância em x ;

D_y : Discrepância em y ;

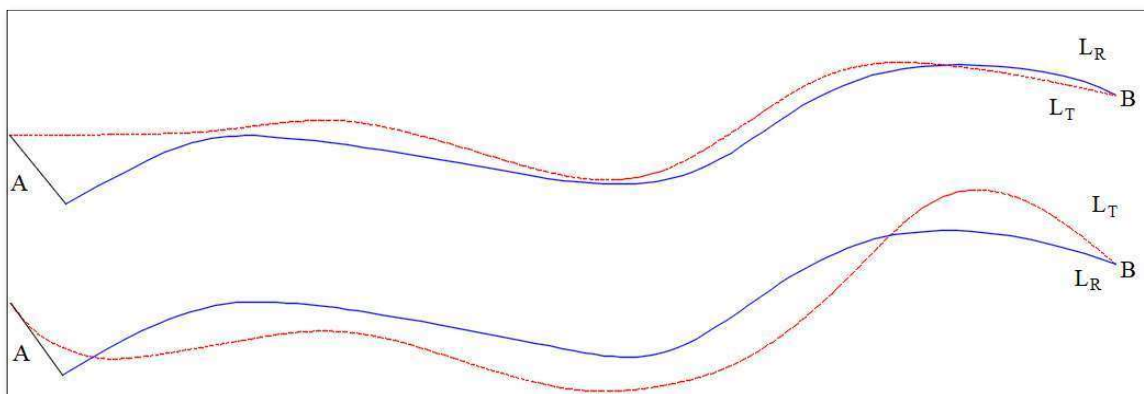
4. Calcular o RMS das discrepâncias dos pontos finais de cada linha, conforme a Equação 4.

$$RMS = \sqrt{\frac{\sum(D_{2d})^2}{n}} \quad (4)$$

5. Para a aplicação do Decreto n° 89.817 (BRASIL, 1984) em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016), deve-se verificar o atendimento de duas condições em cada linha: (i) pelo menos 90% das discrepâncias devem apresentar valor menor ou igual ao valor do PEC para a classe e escala utilizada; (ii) o RMS do conjunto de discrepância deve ser menor ou igual ao valor de EP para a classe e escala utilizada;
6. Para análise do produto como um todo, 90% das linhas testadas devem atender ambas as condições do item 5. Sendo satisfeito essa análise o produto é aprovado na classe e escala testada, caso contrário o produto é reprovado. Assim deve-se retornar ao item 5) e testar uma classe inferior. Caso não haja classificação nas classes disponíveis, deve-se testar uma escala menor.

Uma limitação deste método consiste em considerar somente a discrepância posicional nos pontos extremos das linhas, sem levar em conta seu comportamento geral. Por exemplo, na Figura 2, observa-se que o mesmo vetor de discrepância entre os pontos finais das linhas (discrepância posicional em $B = 0$ e discrepância posicional em $A \neq 0$) ocorre em ambos os exemplos ilustrados, no entanto, verifica-se que as linhas se comportam de maneira diferentes. Dessa forma nota-se que, apesar de realizar as análises em feições lineares, este método se aproxima do método de feições pontuais, similar ao expresso no Decreto 89.817/1984 aliado à ET-CQDG (DSG, 2016).

Figura 2 - Análise do comportamento da linha de referência (L_R) e da linha teste (L_T). Discrepância posicional em $B = 0$ e discrepância posicional em $A \neq 0$.



Fonte: Os autores (2022).

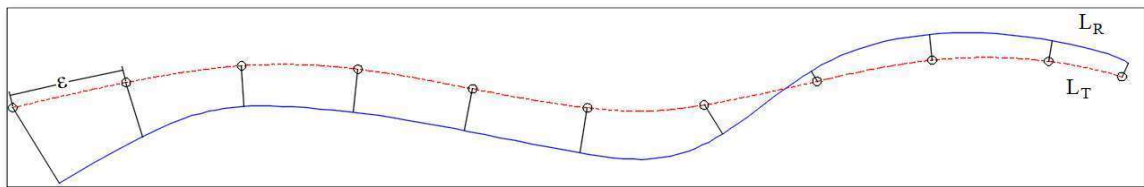
2.2 Pontos Intermediários em feições lineares

Para Tveite e Langaas (1995) uma das formas de determinar a acurácia

posicional de uma linha teste (L_T) em comparação com uma linha de referência (L_R) seria percorrer a linha teste em intervalos regulares (espaçamento ε , por exemplo), extraíndo pontos de amostra. Com base em cada um desses pontos faz-se uma busca pelo ponto mais próximo da linha de referência (Figura 3), obtendo assim a discrepância posicional. Assim, de posse dos pontos obtidos na linha teste e na linha de referência, uma medida geral da acurácia pode ser calculada estatisticamente. Kagawa, Sekimoto e Shibaski (1999) descrevem este método como método de correspondência dos pontos.

Segundo Tveite e Langaas (1995) o método deve ser aplicado em uma amostra de linhas que possuem correspondência no conjunto de dados de referência, obtendo uma medida da acurácia posicional no conjunto de dados.

Figura 3 - Análise da discrepância pelo método dos Pontos Intermediários da linha de referência (L_R) e da linha teste (L_T).



Fonte: Os autores (2022).

Para a aplicação do método do Ponto Intermediário, utilizando como base as tolerâncias do Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984) em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016), propõem-se as seguintes etapas:

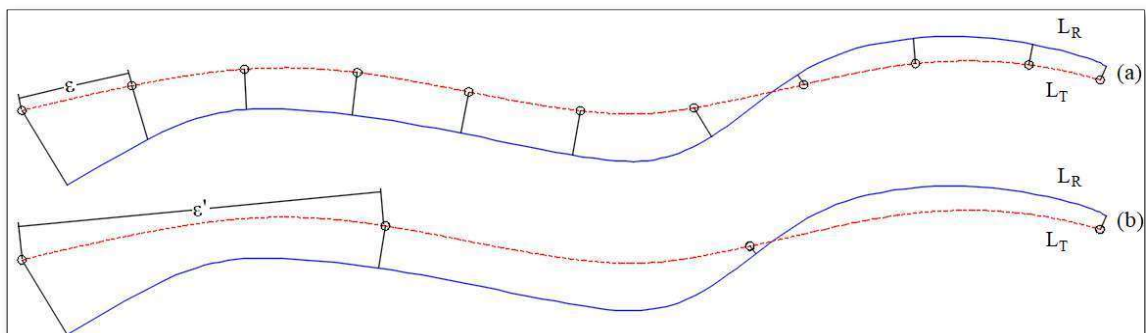
1. Selecionar uma amostra de n linhas homólogas de teste (L_T) e de referência (L_R);
2. Criar pontos de amostra na linha teste (L_T) em intervalos regulares (espaçamento ε). Para a aplicação do Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984) em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016), utiliza-se como tamanho do espaçamento ε , o valor do PEC para a escala e a classe utilizada no processo de avaliação;
3. Com base em cada um desses pontos faz-se uma busca pelo ponto mais próximo da linha de referência (L_R);
4. De posse de coordenadas na linha teste (L_T) e na linha de referência (L_R), deve-se calcular a discrepância posicional baseado nas Equações 1, 2 e 3;
5. Calcular o RMS das discrepâncias dos pontos intermediários de cada linha

baseado na Equação 4;

6. Para a aplicação do Decreto n° 89.817 (BRASIL, 1984) em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016), deve-se verificar se pelo menos 90% do conjunto de discrepâncias de cada linha em análise apresentam valor menor ou igual ao valor do PEC, bem como o RMS de cada linha ser menor ou igual ao valor de EP, para a classe e escala utilizada;
7. Para análise do produto como um todo, 90% das linhas testadas devem atender ambas as condições do item 6. Sendo satisfeito essa análise o produto é aprovado na classe e escala testada, caso contrário o produto é reprovado. Assim deve-se retornar ao item 6) e testar uma classe inferior. Caso não haja classificação nas classes disponíveis, deve-se testar uma escala menor.

Verifica-se que o espaçamento ε irá influenciar diretamente no resultado das discrepâncias. Por exemplo, a Figura 4 ilustra a influência do valor do espaçamento ε para identificação dos pontos a serem analisados entre as linhas teste (L_T) e de referência (L_R).

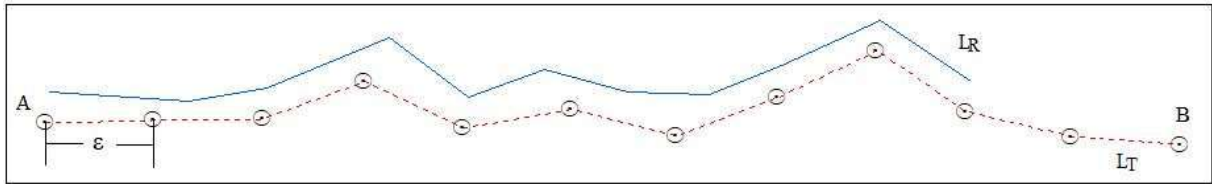
Figura 4 - Análise do comportamento da linha de referência (L_R) e da linha teste (L_T) com diferentes espaçamentos (ε e ε') adotados.



Fonte: Os autores (2022).

Outra característica que influenciará neste método ocorre quando os comprimentos das linhas de referência e teste forem diferentes. Um exemplo pode ser verificado na Figura 5 onde vários pontos finais na linha teste (L_T) terão o mesmo ponto de correspondência na linha de referência (L_R).

Figura 5 - Análise do comportamento da linha de referência (L_R) e da linha teste (L_T) com diferentes comprimentos.



Fonte: Os autores (2022).

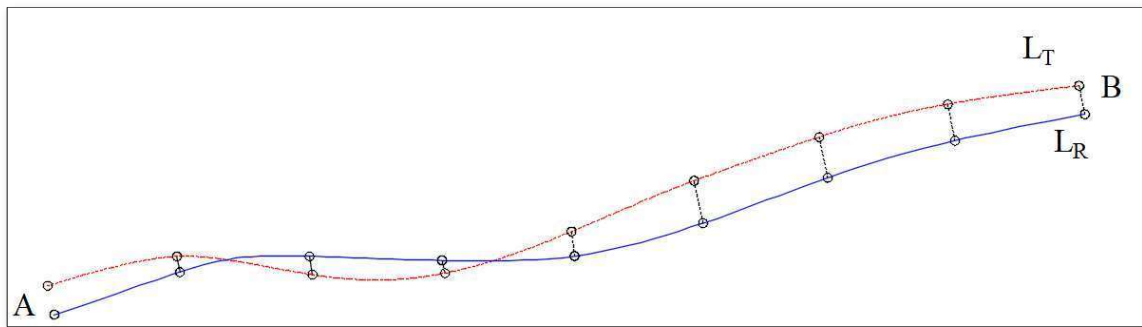
2.3 Ponto Gerado

Masry, Gauthier e Lee (1980) propuseram o método do Ponto Gerado, conhecido também por Schmidley (1996) como método de distorção, onde compara-se pontos gerados na linha teste (L_T) com pontos gerados na linha de referência (L_R). Este método difere do método Pontos Intermediários, pois define espaçamentos ao longo das linhas teste e referência, enquanto o anterior define espaçamentos apenas na linha teste.

Segundo Galo, Dal Poz e France (2001) o número de pontos normalmente é diferente entre duas digitalizações e/ou entre uma digitalização e o levantamento de campo já que o espaçamento entre os pontos consecutivos não é mantido ou definido de forma constante. Uma alternativa é gerar um conjunto de pontos na linha teste (L_T) e na linha de referência (L_R) com mesmo espaçamento, como representado na

Figura 6. Admitindo que os pontos iniciais em cada uma das feições sejam homólogos, pode-se simplesmente comparar as distâncias entre os pontos gerados. Vieira e Mather (2005) aplicaram o método do Ponto Gerado para avaliação posicional em imagens de satélites aplicando o teste do Qui-quadrado aliado com as tolerâncias do Decreto 89.817 (BRASIL, 1984) em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016).

Figura 6 - Análise da discrepância pelo método do Ponto Gerado da linha de referência (L_R) e da linha teste (L_T).



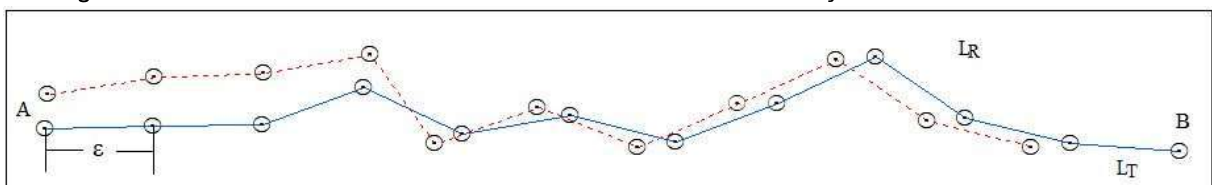
Fonte: Os autores (2022).

Para a aplicação do método do Ponto Gerado, utilizando o padrão de acurácia posicional brasileiro, propõem-se as seguintes etapas:

1. Selecionar uma amostra de n linhas homólogas de teste (L_T) e de referência (L_R);
 2. Criar pontos de amostra na linha teste (L_T) e na linha de referência (L_R) em intervalos regulares (espaçamento ε). Para a aplicação do Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984) em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016), utiliza-se como tamanho do espaçamento ε o valor do PEC para a escala e a classe utilizada no processo de avaliação;
 3. De posse de coordenadas na linha teste (L_T) e na linha de referência (L_R), deve-se calcular a discrepância posicional baseado nas Equações 1, 2 e 3;
 4. Calcular o RMS das discrepâncias dos pontos gerados de cada linha baseado na Equação 4;
 5. Para a aplicação do Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984) em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016), deve-se verificar se pelo menos 90% do conjunto de discrepâncias de cada linha em análise apresentam valor menor ou igual ao valor do PEC, bem como o RMS de cada linha ser menor ou igual ao valor de EP, para a classe e escala utilizada;
 6. Para análise do produto como um todo, 90% das linhas testadas devem atender ambas as condições do item 5). Sendo satisfeito essa análise o produto é aprovado na classe e escala testada, caso contrário o produto é reprovado. Assim deve-se retornar ao item 5 e testar em outra classe e escala inferior.
- No método do Ponto Gerado há a necessidade de se conhecer uma

correspondência inicial entre as feições envolvidas. Além disso é possível que ocorra um acúmulo de erros quando ambas as feições apresentam diferenças significativas em suas formas (LUGNANI, 1986). Como representado na Figura 7, partindo-se do extremo A com espaçamento de ε , por exemplo tanto na linha de referência (L_R) quanto na linha teste (L_T), nota-se que devido as linhas não terem o mesmo comprimento chega-se na extremidade B faltando correspondência no último ponto da linha de referência (L_R).

Figura 7 - Método do Ponto Gerado com as extremidades das feições lineares desordenadas.



Fonte: Os autores (2022).

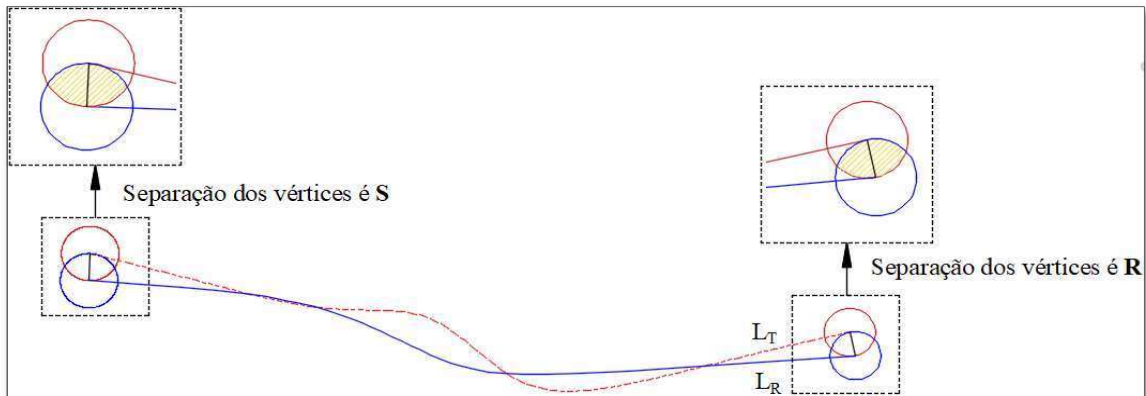
2.4 Fator de *Fuzziness* (adaptação)

Para Ramirez e Ali (2003), *Fuzziness* é o fator relacionado à definição e identificação dos pontos extremos das feições lineares a serem comparados. Sempre que duas representações de características lineares do mesmo objeto são extraídas de diferentes fontes de dados, existe um alto grau de probabilidade de que possam ser diferentes, sendo fundamental considerar e avaliar sua discrepância.

Assim, calcula-se a discrepância dos pontos extremos da feição linear de teste em relação ao ponto homólogo da feição linear de referência. A Figura 8 ilustra a ideia do Fator de *Fuzziness*, representando a variabilidade dos pontos extremos do segmento de linha menos acurada (representada com o círculo de cor vermelha) em relação ao segmento de linha mais acurada (representada com o círculo de cor azul).

O tamanho dos círculos reflete a variabilidade das discrepâncias. Observa-se pela Figura 8 que as distâncias que separam os pontos extremos das duas linhas, representadas por R e S, são usadas para esboçar os raios dos círculos. Em seguida o Fator de *Fuzziness* é calculado como a proporção da área comum (área de sobreposição) dos dois círculos em razão da área do círculo correspondente (RAMIREZ e ALI, 2003).

Figura 8 - Análise da discrepância pelo método do Fator de *Fuzziness* com separação dos vértices de r e r_s .



Fonte: Adaptado de Ramirez e Ali, 2003.

Para a aplicação do Fator de *Fuzziness*, utilizando o padrão de acurácia posicional brasileiro, propõem-se as seguintes etapas:

1. Selecionar uma amostra de n linhas homólogas de teste (L_T) e de referência (L_R);
2. Extrair os vértices dos pontos finais e iniciais do conjunto de amostras;
3. Analisar as distâncias entre os extremos das linhas;
4. Use o valor das distâncias entre os extremos das linhas para criar círculos em torno dos vértices das linhas;
5. Calcular o Fator de *Fuzziness* para cada extremidade da linha, a partir da proporção da área comum (área de sobreposição) dos círculos em relação a área do círculo correspondente, baseado na Equação 5;

$$FF = \frac{\text{área em comum}}{\pi r^2} \quad (5)$$

6. Calcular a discrepância posicional, para cada linha avaliada através da média dos Fatores de *Fuzziness*.
7. Calcular o RMS das discrepâncias posicionais das linhas, com base na Equação 4;
8. Para a aplicação do Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984) em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016), deve-se verificar se pelo menos 90% do conjunto de discrepâncias de cada linha em análise apresentam valor menor ou igual ao valor do PEC, bem como o RMS de cada linha ser menor ou igual ao valor de

EP, para a classe e escala utilizada;

9. Para análise do produto como um todo, 90% das linhas testadas devem atender ambas as condições do item 8. Sendo satisfeito essa análise o produto é aprovado na classe e escala testada, caso contrário o produto é reprovado. O produto sendo reprovado, deve-se retornar ao item 7 e testar uma classe inferior, caso não haja classificação nas classes disponíveis, deve-se testar uma escala menor.

No entanto, utilizando a Equação 5 verifica-se inconsistência do resultado na aplicação do método proposto por Ramirez e Ali (2003), pois retorna sempre um valor constante independentemente do valor do raio. Sabendo-se que o raio do círculo reflete a variabilidade das discrepâncias, o mesmo funcionará como fator de escala. Assim, sugere-se utilizar a Equação 6 para aplicação do Fator de *Fuzziness* permitindo obter medidas de discrepâncias em unidades lineares.

$$FF = \frac{\text{área em comum}}{\pi r^2} \cdot r \quad (6)$$

O método do Fator de *Fuzziness* apresenta como limitação o mesmo problema do método dos Pontos Finais, ou seja, analisa apenas os extremos das feições lineares como ilustrado na Figura 2.

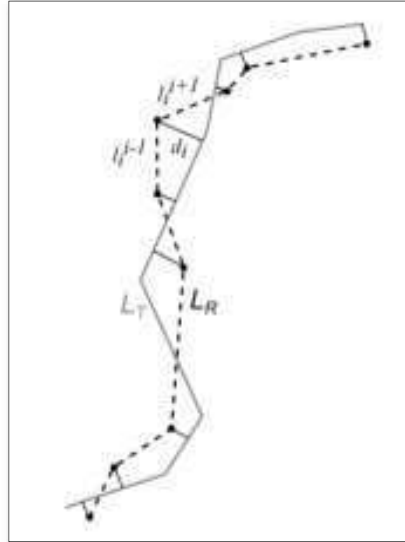
2.5 Método da Influência do Vértice

O método de Mozas-Calvachi e Ariza-López (2011) baseia-se na obtenção da distância euclidiana a partir dos vértices da linha de referência (L_R) para a linha teste (L_T). Estas distâncias são ponderadas em função do comprimento dos segmentos adjacentes ao vértice da L_R , como apresentado na Figura 9. Assim, obtém-se o valor ponderado das distâncias entre os vértices de referência para a linha teste. Segundo os mesmos autores:

- Essas distâncias determinam os vetores de discrepância entre as duas linhas;
- O vetor de discrepância médio para a linha a ser controlada é analisado mediante todos os vetores obtidos através dos vértices, ponderando o comprimento de segmentos adjacentes a um determinado vértice; e

- Os deslocamentos dos vértices perto de segmentos mais longos terão mais influência no valor médio de deslocamento.

Figura 9 - Método da Influência do Vértice.



Fonte: Adaptado de Mozas-Calvachi e Ariza-López, 2011.

Segundo Santos et al. (2015), para a aplicação do método da Influência do Vértice, utilizando o padrão de acurácia posicional brasileiro, utilizam-se as seguintes etapas:

1. Selecionar uma amostra de n linhas homólogas de teste (L_T) e de referência (L_R);
2. Calcular o comprimento (CL_R) e extrair os vértices de cada linha de referência (L_R);
3. Calcular a menor distância (dh_k) para cada vértice k da linha de referência (L_R) em relação a qualquer segmento da linha teste (L_T).
4. 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;
5. Calcular a discrepância média (D_i) para cada linha i de referência baseado na Equação 7;
6. Para o dado espacial ser classificado de acordo com o Decreto n° 89.817 (BRASIL, 1984) em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016), verifica-se se 90% de D_i tem que ser menor ou igual que o valor do PEC e o RMS de D_i tem que ser menor ou igual ao valor do EP, para a classe e escala empregadas no

processo de avaliação da acurácia posicional.

$$D_i = \frac{[\sum_{k=1}^m (dh_k (l_k^{k-1} + l_k^{k+1}))]i}{2C_{Ri}} \quad (7)$$

sendo:

dh_k : Distância horizontal mínima entre o vértice k da linha da referência para linha teste;

l_k^{k-1} e l_k^{k+1} : Comprimento dos segmentos adjacentes ao vértice k na LR;

CL_{Ri} : Comprimento da feição linear de referência;

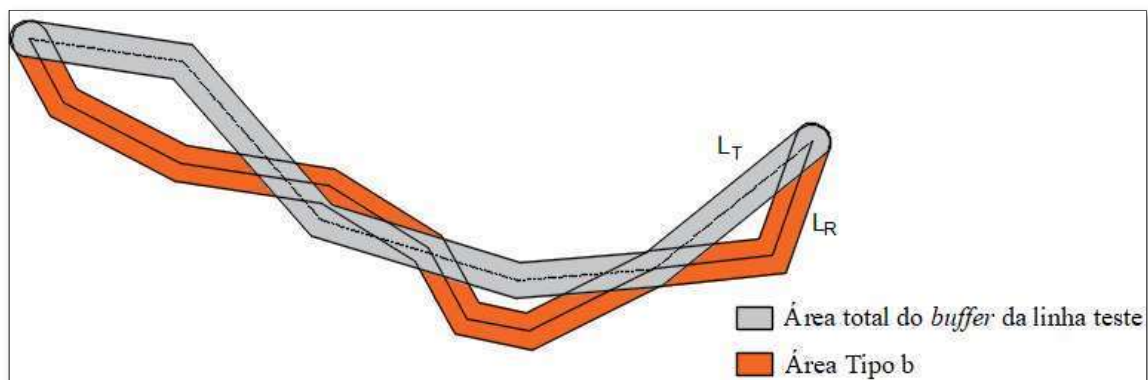
D_i : Discrepância média.

O método da influência do vértice consiste na medida de distância dos vértices da linha de referência (L_R) para a linha teste (L_T), sendo essas distâncias ponderadas em função do comprimento dos segmentos adjacentes ao vértice analisado.

2.6 Buffer Duplo

Também conhecido como *Buffer Overlay Statistical*, conforme sua concepção no trabalho de Tveite e Langaas (1999). Este método baseia-se na geração de um *buffer* tanto na linha de referência (L_R) quanto na linha a ser testada (Figura 10) e, avalia-se a interseção entre os *buffers*, obtendo a discrepância posicional entre as linhas homólogas.

Figura 10 - Método do *Buffer Duplo*.



Fonte: Os autores (2022).

Segundo proposta de Santos et al. (2015), para a aplicação do *Buffer Duplo*, utilizando o padrão de acurácia posicional brasileiro, utilizam-se as seguintes etapas:

1. Selecionar uma amostra de n linhas homólogas de teste (L_T) e de referência (L_R);

2. Aplicar um *buffer* de tamanho m em cada linha de teste e de referência do conjunto de amostra. Para o emprego do Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984) em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016), utiliza-se como tamanho do *buffer* o valor do PEC para a escala e a classe utilizada no processo de avaliação;
3. Contabilizar a área do *buffer* da linha de referência (L_R) que não coincida com o *buffer* da linha teste, representado na Figura 10 pela Área tipo b;
4. Contabilizar a área total do *buffer* da linha teste (L_T);
5. Por fim, calcula-se a discrepância média conforme a Equação 8.
6. Para análise do Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984) em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016), sugere-se verificar a independência e normalidade e, se constatada, faz-se a análise se 90 % das linhas testadas apresentam discrepância (D) menor ou igual ao valor do PEC (da classe e escala utilizados para gerar o *buffer* x), e ainda, o 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 trabalhada.

$$D = \pi \cdot m \frac{\text{Área (Tipob)}}{\text{Área (L}_T\text{)}} \quad (8)$$

em que:

Área (Tipob): Área do *buffer* da linha de referência (L_R) que não coincida com o *buffer* da linha teste (L_T).

Área (L_T): Área total do *buffer* da linha teste (L_T).

m : Largura do *buffer*.

2.6.1 Normalização do *Buffer Duplo*

Tveite e Langaas (1999) afirma que o método do *buffer duplo* deve ser realizado de forma iterativa, visto que é necessário obter a largura do *buffer* ideal para o conjunto de dados avaliado. Para cada iteração aumenta-se a largura do *buffer* até que o resultado se estabilize. Cruz et al. (2018) realizaram a comparação do método de Normalização do *Buffer Duplo* para definição da largura ideal a ser considerada em cada par de linha em análise com o emprego da largura ideal ao valor do PEC, estabelecido pelo Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984) em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016), de acordo com a classe e escala na qual o produto foi avaliado. Foram analisadas feições de hidrografia referente ao município de Tangará da Serra, na região do Pantanal Mato Grossense. O resultado obteve variações variação nas

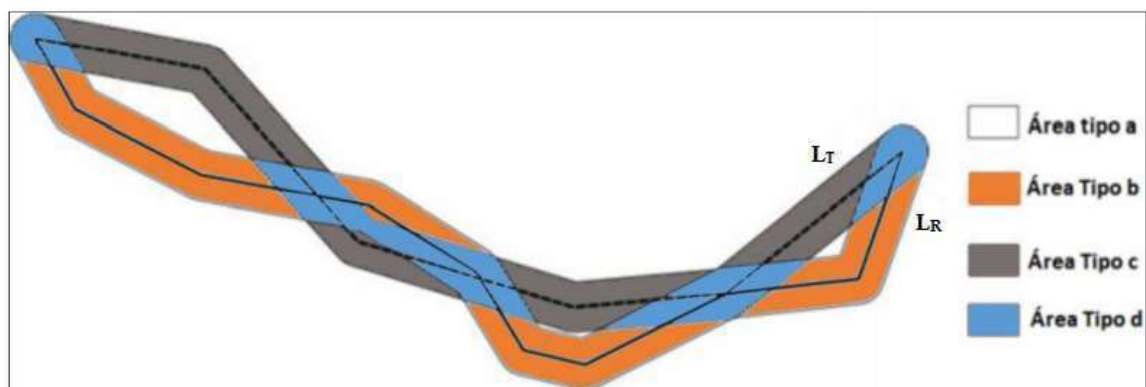
larguras adotadas, no entanto em ambas as metodologias o produto foi considerado classe C para escala 1:500.000.

Fonseca (2018) analisou o comportamento de cada par de linhas homólogas, por meio da normalização dos volumes obtidos, o que permitiu estimar valores de discrepância 3D para cada largura de *buffer* aplicada na avaliação da acurácia posicional tridimensional.

As análises realizadas neste método podem ser separadas seguindo os passos abaixo:

1. Executar a operação de *buffer* com largura x , nas linhas teste e referência, obtendo assim os respectivos polígonos de teste (L_T) e de referência (L_R).
2. Realizar uma operação de sobreposição (*overlay*) entre os polígonos (L_T) e (L_R), podendo formar quatro diferentes áreas conforme a Figura 11, sendo:
 - Área tipo a. Área não contida em ambos os polígonos (L_T) e (L_R).
 - Área tipo b. Área não contida em (L_T) e contida em (L_R).
 - Área tipo c. Área contida em (L_T) e não contida em (L_R).
 - Área tipo d. Área resultante da interseção entre (L_T) e (L_R).
3. Calcular a discrepância posicional entre as feições lineares.

Figura 11 - Áreas formadas pela sobreposição dos *Buffers*.

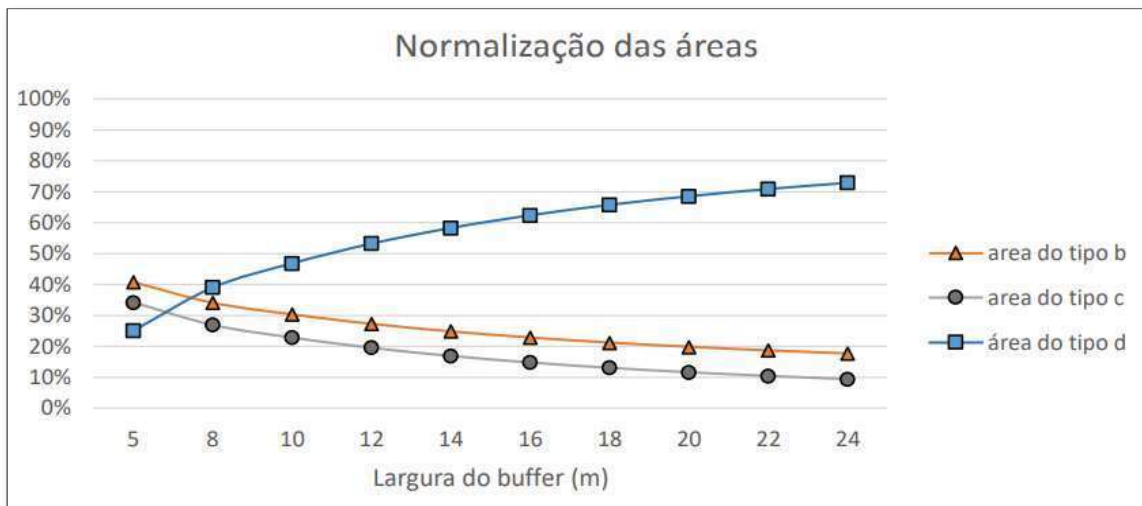


Fonte: Fonseca, 2018.

Serão analisadas neste processo, as áreas do tipo b, c e d (Figura 11) normalizadas. A normalização é realizada por meio da divisão de cada área pelo valor da área formada da união entre as áreas do *buffer* de referência e teste. Para Tveite e Langaas (1999), no gráfico da normalização das áreas (Figura 112), as curvas formadas pelas áreas do tipo b e c podem, ou não, serem coincidentes (está

relacionado à diferença entre o comprimento da linha de referência) e sempre cruzam com a curva formada pela curva da área do tipo d. Assim os valores da largura de *buffer* para os pontos de cruzamento entre as curvas do gráfico, podem ser utilizados como a largura ótima de *buffer* em um conjunto de dados.

Figura 12 - Normalização das áreas obtidas por meio da sobreposição dos *buffers*.



Fonte: Fonseca, 2018.

De acordo com Tveite e Langaas (1999) ao aplicar um *buffer* na linha teste e na linha de referência, tem-se uma ponderação das incertezas, podendo obter uma medida de discrepância média de acordo com a Equação 6. Para a aplicação do Decreto n° 89.817 (BRASIL, 1984) em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016), sugere-se verificar se pelo menos 90% das discrepâncias apresentam valor menor ou igual ao valor do PEC, bem como o RMS da amostra de discrepâncias ser menor ou igual ao valor de EP, para a classe e escala utilizada.

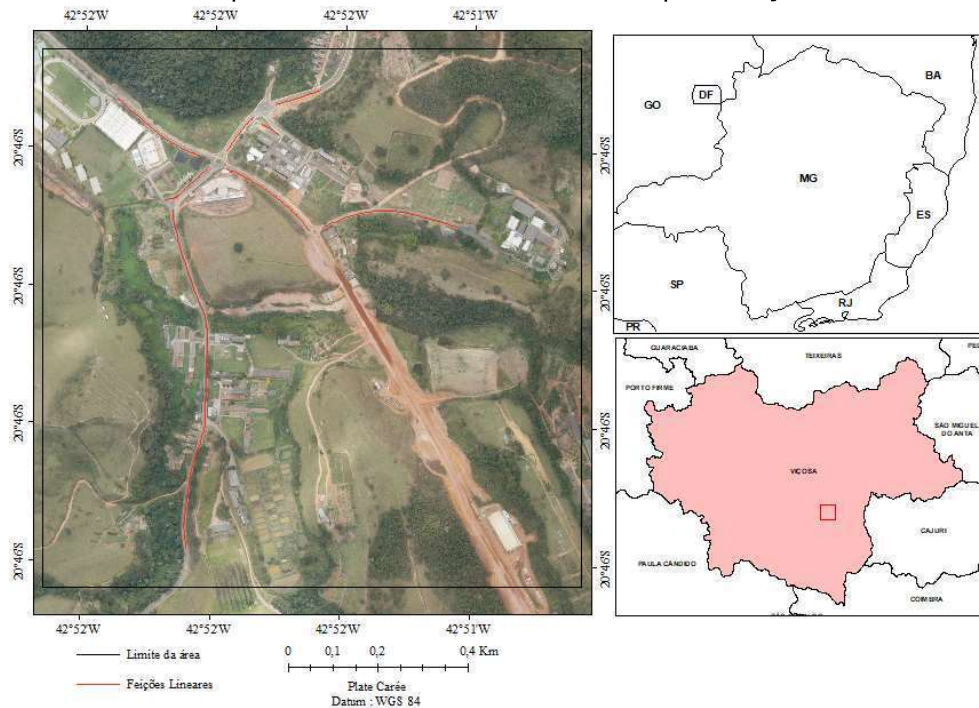
3. EXPERIMENTOS E RESULTADOS

Serão apresentados a seguir o delineamento da área de estudo, a metodologia e os materiais utilizados no desenvolvimento deste trabalho bem como e os resultados e análises do estudo.

3.1 Área de estudo

A área de estudo compreende uma região do município de Viçosa no estado de Minas Gerais (Figura 13) e possui uma área de aproximadamente 144 ha. A área de estudo foi escolhida devido à disponibilidade de dados referentes a essa região.

Figura 13 - Localização das feições lineares (em vermelho) utilizadas no processo de avaliação da acurácia posicional do ortomosaico no município de Viçosa-MG.



Fonte: Os autores (2022).

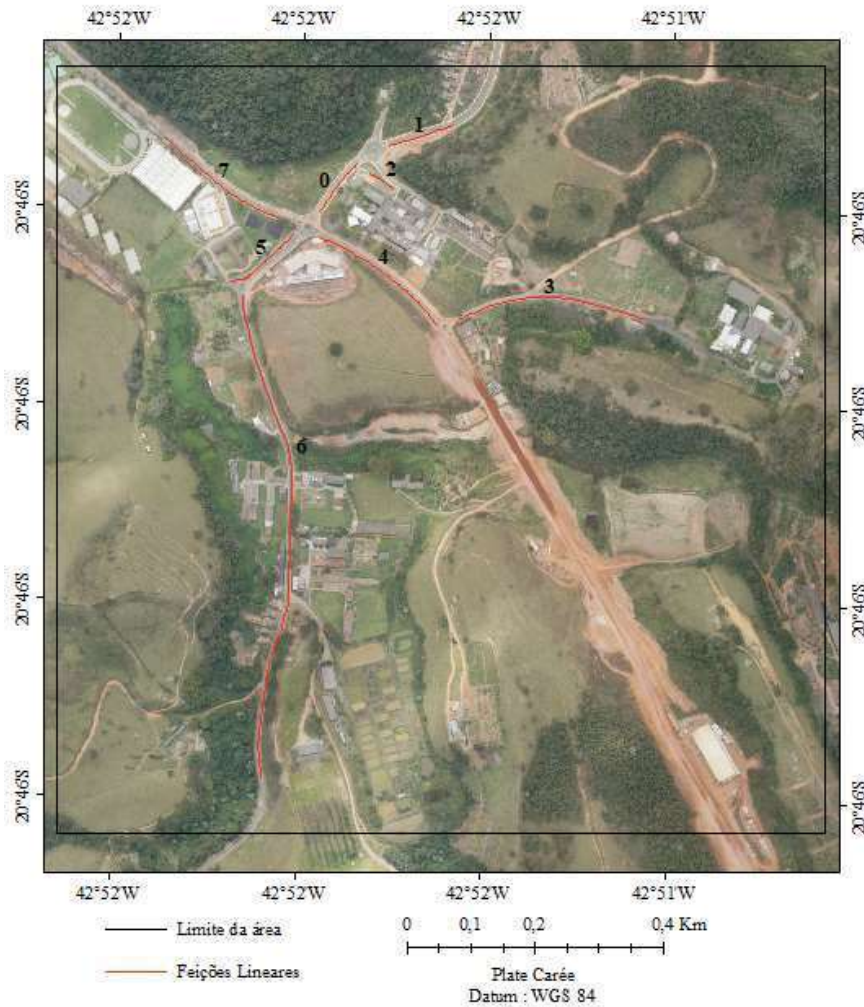
3.2 Materiais e Métodos

No presente estudo foram utilizadas imagens do Vant Echar 20A fabricado pela XMOBOTS. O equipamento é composto por uma aeronave, uma estação de controle e um terminal de dados. A estação de controle e o terminal de dados possibilitam o monitoramento da aeronave, que possui um receptor GNSS e o sistema de medição inercial (*Inertial Measurement Unit – IMU*), fornecendo os dados de atitude do sensor. Para aquisição das imagens foi utilizada uma câmera Sony ILCE-7R com distância focal de 45mm, sobrevoando a área com uma altura média de aproximadamente 467 m e com sobreposição lateral 60% e longitudinal de 70%. O processamento das imagens foi realizado de forma automática utilizando 15 pontos de controle distribuídos por toda a área de estudo, com o software fotogramétrico Agisoft PhotoScan 1.2.5, gerando um ortomosaico com resolução espacial de 5 cm. Ressalta-se que o voo foi executado no ano de 2015.

Para a aplicação e comparação dos métodos de avaliação da acurácia posicional baseados no uso de feições lineares, avaliou-se a acurácia posicional planimétrica do ortomosaico gerado. Aplicaram-se os métodos de feição linear: Pontos Finais, Pontos Intermediários, Ponto Gerado, Influência do Vértice, *Buffer Duplo* e Fator de *Fuzziness*, de acordo com a metodologia apresentada da seção 2.

Através do ortomosaico a ser avaliado, foram coletados em campo 8 trechos de estradas pavimentadas (totalizando 1.920,88m), como representado pelo Figura 14. Foram utilizados para o levantamento das feições em campo os receptores GNSS da marca JAVAD modelo Triumph-1, tendo como método de aquisição o posicionamento relativo estático e NTRIP (*Networked Transport of RTCM via Internet Protocol*), em conjunto com as informações da estação RBMC VICO (Viçosa-MG). O processamento dos dados de campo foi realizado empregando o Software Topcon Tools 7.5.1 configurado ao sistema de projeção UTM – Fuso 23 S, SIRGAS 2000. Os pontos coletados tiveram precisões posicionais melhores que 4,9 cm. Em seguida, foi realizado o processo de monorestituição das linhas correspondentes aos trechos das estradas, e coletadas as feições lineares homólogas no ortomosaico, sendo todos estes processos realizados no software ArcGIS 10.5.

Figura 14 - Distribuição dos 8 segmentos enumerados coletados na área de estudo.



Fonte: Os autores (2022).

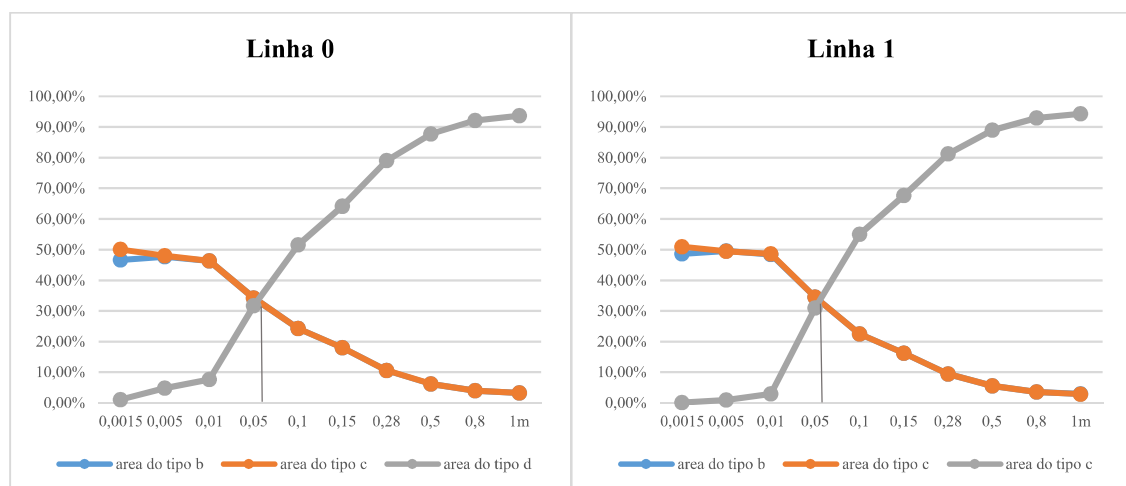
Por meio da amostra de feições lineares de referência de campo e seus homólogos no ortomosaico, foi possível aplicar os métodos propostos de avaliação da acurácia posicional planimétrica, obtendo as discrepâncias posicionais, detectar possíveis *outliers*, bem como classificar tais dados quanto ao padrão de acurácia posicional definido pelo Decreto 89.817 (BRASIL, 1984) em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016). Nero (2005) sugere que, para a classe A do Decreto 89.817 da escala testada, deve-se utilizar o limite de $3 \cdot EP$ para detectar possíveis *outliers*.

3.3 Resultados e análises

Os experimentos foram divididos em 3 grupos em virtude do agrupamento dos métodos que são similares. No grupo 1 foram utilizados os métodos da Normalização do *Buffer Duplo* (NBD) e o *Buffer Duplo* (BD) devido ambos os métodos se basearem na geração de *buffers*. No grupo 2 foram agrupados os métodos da Influência do Vértice (IV), Ponto Gerado (PG) e Pontos Intermediários (PI) por tratarem da análise dos pontos pertencentes aos segmentos da linha. E no grupo 3 foram analisados os métodos que utilizam os vértices finais das linhas que são os métodos dos Pontos Finais (PF) e o método do Fator de *Fuziness* (FF).

Para o método da Normalização do *Buffer duplo*, foi necessário encontrar o valor de largura de *buffer* correspondente para cada par de linhas, uma vez que as linhas contêm discrepâncias diferentes e devem ser analisadas separadamente. Assim, aplicou-se diferentes larguras de *buffer* para cada par de linhas analisado. No total, realizaram-se dez iterações, com valores de *buffer* variando de 0,0015 m até 1 m. Após este procedimento, realizou-se a normalização a qual possibilitou obter a largura ideal do *buffer* para cada par de linhas analisado. A Figura 15 mostra o resultado da normalização para cada par de linhas avaliadas.

Figura 15 - Normalização do Buffer Duplo das linhas de teste e de referência para o conjunto de dados testado.





Fonte: Os autores (2022).

De acordo com o Figura 15, observa-se que para cada par de linhas homólogas, a estimação para o ponto de interseção ocorre em diferentes larguras de *buffer*. Por exemplo, o ponto de interseção na linha 0 (zero) ocorre para uma largura de *buffer* de aproximadamente 0,06 m, enquanto na linha 4 ocorre na largura de aproximadamente 0,14 m. A Tabela 2 apresenta os valores de discrepância posicional obtidos pela

Equação 8, aplicando para cada linha a largura do *buffer* encontrado pelo processo de normalização das áreas.

Tabela 2 - Discrepâncias posicionais para o conjunto de linhas de estudo, segundo Equação 8.

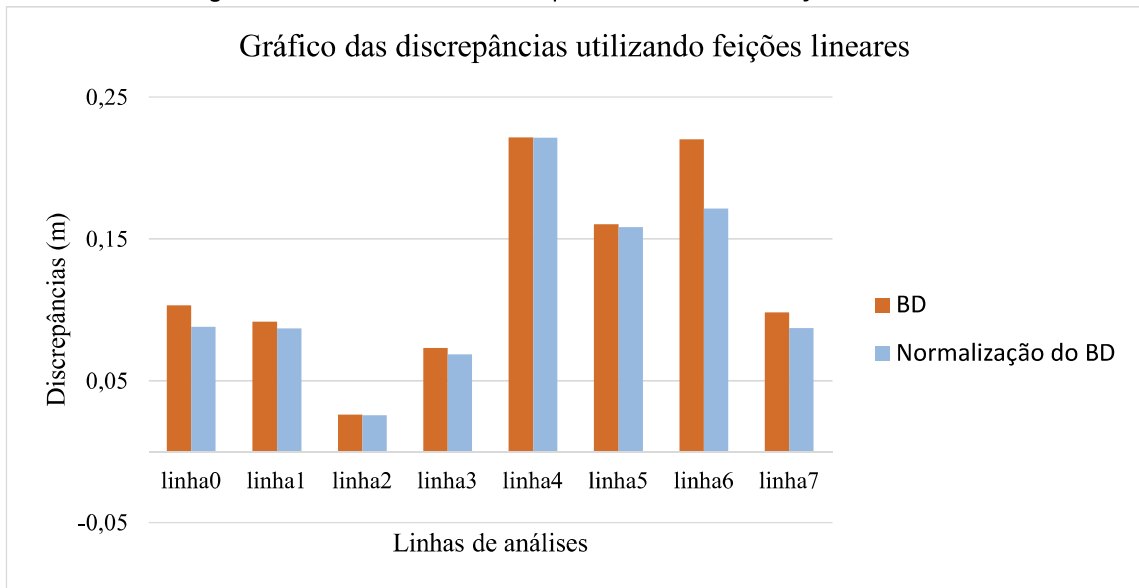
ID	Largura obtida na NBD (m)	Discrepância Posicional (m)
linha0	0,06	0,09
linha1	0,06	0,09
linha2	0,02	0,03
linha3	0,04	0,07
linha4	0,14	0,22
linha5	0,1	0,16
linha6	0,11	0,17
linha7	0,06	0,09

Fonte: Os autores (2022).

Assim, de posse das amostras de discrepâncias, obtidas pelos diferentes métodos de feições lineares, foram verificados possíveis *outliers* pelo método de 3σ , onde os resultados obtidos não demonstraram presença de *outliers* no conjunto de discrepâncias.

A Figura 16 apresenta os valores das discrepâncias utilizando os métodos: *Buffer Duplo* (BD) e pelo método de Normalização do *Buffer Duplo* (NBD) referentes às oito linhas do conjunto de dados. Verifica-se que o método *Buffer Duplo* apresentou resultados de discrepância iguais ou superiores ao método de Normalização do *Buffer Duplo*. Nas linhas 1, 2, 3, 4 e 5 o método de Normalização do *Buffer Duplo* apresentou valores de discrepâncias similares ao método *Buffer Duplo* e nas demais linhas o método do *Buffer Duplo* apresentou valores maiores.

Figura 16 - Gráficos das discrepâncias utilizando feições lineares.



Fonte: Os autores (2022).

A Tabela 3 apresenta as estatísticas básicas como a média, RMS, número de *outliers*, valor máximo e valor mínimo dos resultados obtidos pelos métodos do BD e NBD.

Tabela 3 - Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais planimétricas obtidas pelos métodos de feição linear.

Método de feição linear	BD	NBD
Nº <i>Outliers</i>	0	0
Média (m)	0,12	0,11
Máximo (m)	0,22	0,22
Mínimo (m)	0,03	0,03
RMS (m)	0,15	0,14

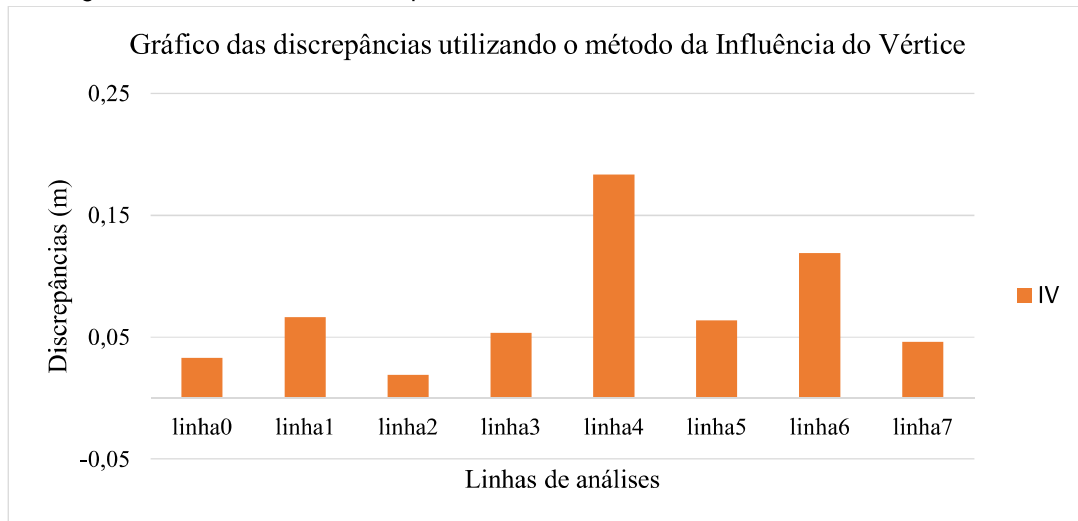
Fonte: Os autores (2022).

Na Tabela 3, nota-se valores bem próximos do RMS nos métodos do *Buffer Duplo* (BD) e *Normalização do Buffer Duplo* (NBD) apresentando valores igual a 0,15m e 0,14m respectivamente. O processo de normalização possibilita obter a largura ideal do *buffer* para cada par de linhas analisado, no entanto, mediante a comparação com o método do *Buffer Duplo* pode-se verificar que os resultados se aproximaram.

No grupo 2 a análise do método da *Influência do Vértice* (IV) como descrito no item 2.5 baseia-se na obtenção da distância euclidiana a partir dos vértices da linha de referência (L_R) em relação a linha teste. A Figura 17 apresenta as discrepâncias das oito linhas de estudo, onde pode-se verificar que a linha 4 apresentou a maior

discrepância (equivalente a 0,18m) entre todas as linhas analisadas. Ressalta-se que foram verificados possíveis *outliers* com uso do método de 3σ , porém não foram detectados *outliers* na amostra de estudo. O RMS obtido para o conjunto da amostra foi de 0,09m.

Figura 17 - Gráfico das discrepâncias utilizando o método da Influência do Vértice.



Fonte: Os autores (2022).

Para análise dos métodos do Ponto Gerado e Pontos Intermediários foi aplicado um valor para o espaçamento ε igual a 0,28m para atender inicialmente as tolerâncias do PEC para classe A na escala de 1:1.000. No entanto, em ambos os métodos a análise falhou devido os resultados não atenderem as exigências propostas nas seções 2.2 e 2.3. Assim, a análise foi realizada mediante as especificações para Classe B, ou seja, foi analisado se o conjunto de discrepâncias de cada linha em análise apresenta valor menor ou igual a 0,5m (valor do PEC para classe B), bem como o RMS de cada linha seja menor ou igual ao valor de 0,30m (valor do EP para classe B). Pelo método do 3σ foi analisada a presença de *outliers* e os resultados obtidos não indicaram *outliers* no conjunto de discrepâncias. A Tabela 4 apresenta os resultados da análise do método do Ponto Gerado e do método dos Pontos Intermediários para cada linha da área de estudo.

Tabela 4 - Resultados obtidos da análise dos métodos do Ponto Gerado e Pontos Intermediários de acordo com as tolerâncias do Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984) em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016).

FEIÇÃO LINEAR	PONTO GERADO (PG)		PONTOS INTERMEDIÁRIOS (PI)	
	% < PEC (PEC=0,5m)	RMS (m) (EP=0,3m)	% < PEC (PEC=0,5m)	RMS (m) (EP=0,3m)
linha0	100	0,09	100	0,09
linha1	100	0,07	100	0,07
linha2	100	0,02	100	0,02
linha3	100	0,06	100	0,06
linha4	100	0,17	100	0,15
linha5	100	0,12	100	0,12
linha6	96,51	0,20	96,64	0,20
linha7	100	0,09	100	0,08

Fonte: Os autores (2022).

Verifica-se por meio da Tabela 4 que os métodos do Ponto Gerado e dos Pontos Intermediários apresentaram valores similares em cada feição linear, com destaque para a linha 6 que em ambos os métodos apresentou maior valor de RMS e equivalente a 0,20m.

Diante dos resultados encontrados no grupo 2, pode-se verificar que o método do Ponto Gerado foi similar ao método dos Pontos Intermediários, visto que é realizada a análise de pontos em toda a feição linear. Já para o método da Influência do Vértice a avaliação é realizada mediante os pontos dos vértices da linha de referência, podendo gerar resultados que fiquem abaixo do esperado.

Para análise do grupo 3, aplicaram-se as metodologias propostas nas seções 2.1 e 2.4 para os métodos do Fator de *Fuziness* e Pontos Finais, respectivamente, ou seja, foi analisado se o conjunto de discrepâncias de cada linha em análise apresenta valor menor ou igual a 0,28m (valor do PEC para classe A), bem como o RMS de cada linha seja menor ou igual ao valor de 0,17m (valor do EP para classe A). Ressalta-se que o conjunto de discrepância não apresentou *outliers* pelo método do 3σ . A Tabela 5 apresenta os resultados da análise em cada linha.

Tabela 5 - Resultados obtidos da análise dos métodos do Fator de *Fuziness* e Pontos Finais de acordo com as tolerâncias do Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984) em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016).

FEIÇÃO LINEAR	FATOR DE FUZINESS (FF)		PONTOS FINAIS (PF)	
	% < PEC (PEC=0,28m)	RMS (m) (EP=0,17m)	% < PEC (PEC=0,28m)	RMS (m) (EP=0,17m)
linha0	100	0,04	100	0,08
linha1	100	0,03	100	0,10
linha2	100	0,03	100	0,01
linha3	100	0,06	100	0,09
linha4	100	0,00	100	0,12
linha5	100	0,05	100	0,06
linha6	100	0,04	100	0,16
linha7	100	0,07	100	0,17

Fonte: Os autores (2022).

O método do Fator de *Fuziness* e o método dos Pontos Finais possuem metodologias diferentes para o cálculo das discrepâncias, o que gerou valores menores no método Fator de *Fuziness* quando comparados aos resultados de discrepâncias obtidas pelo dos Pontos dos Finais (Tabela 5). Ambos os métodos apresentaram maiores valores de RMS na linha 7 de 0,07m no método Fator de *Fuziness* e 0,17m no método dos Pontos Finais.

Na aplicação do método do Ponto Gerado (PG), Ponto Intermediário (PI), Fator de *Fuziness* (FF) e Pontos Finais (PF) como descrito nas seções 2.1, 2.2, 2.3 e 2.4 para avaliação da acurácia posicional é possível verificar que pelo menos 90% do conjunto de discrepâncias de cada linha apresentam valores menores ou iguais ao valor do PEC, bem como o RMS da amostra de discrepâncias de cada linha ser menor ou igual ao valor de EP, para a classe e escala utilizada. Em seguida foi avaliado se 90% do conjunto de linhas atenderam aos dois critérios simultaneamente. Como resultados da aplicação dos métodos de feições lineares de acordo com o Decreto nº 89.817 de 1984, em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016), tem-se a Tabela 6 apresentando a classe e escala testada no estudo.

Tabela 6- Classificação da acurácia posicional do ortomosaico, utilizando métodos de feição linear de acordo com Decreto n° 89.817/ET-CQDG (DSG, 2016), para a escala 1:1.000.

Método de feição linear	PF	BD	PI	PG	IV	FF	NBD
Classe - PEC-PCD 1:1.000	CLASSE A	CLASSE A	CLASSE B	CLASSE B	CLASSE A	CLASSE A	CLASSE A

Fonte: Os autores (2022).

Verifica-se pela Tabela 6 que os métodos Pontos Finais, *Buffer Duplo*, Influência do Vértice e Fator de *Fuzziness* apresentaram os mesmos resultados, enquadrando-se na Classe A para escala de 1:1.000. Para o método de Normalização do *Buffer Duplo* foi aplicado o Decreto n° 89.817 (BRASIL, 1984) em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016), verificando que 90% das discrepâncias apresentaram valores menores ao valor do 0,28m, bem como o RMS da amostra de discrepâncias apresentou valor menor ao PEC, enquadrando-se também na Classe A para escala de 1:1.000. Já os métodos do Ponto Gerado e Pontos Intermediários enquadram-se na Classe B para escala de 1:1.000.

Analisando o conjunto de linhas verifica-se que os métodos de *Buffer Duplo*, Normalização do *Buffer Duplo*, Influência do Vértice, Ponto Gerado e Pontos Intermediários obtiveram maiores valores de discrepâncias nas linhas 4, 5 e 6. Os métodos *Buffer Duplo*, normalização do *Buffer Duplo* e Influência do Vértice obtêm um valor de discrepância média baseado nas diferenças entre as linhas homólogas ou entre os vértices das mesmas. Desta forma, pode-se ter uma linha que apresente uma discrepância média de valor razoável, mas que em algum trecho de seu segmento, apresente uma discrepância significativa.

No método do Ponto Gerado e Pontos intermediários, caso exista algum ponto com valor alto de discrepância, este poderá influenciar as estatísticas da amostra de checagem, mostrando que o produto apresenta alguma inconsistência.

Diante dos resultados encontrados, verifica-se também que os métodos dos grupos 1 e 2 apresentam valores similares de discrepância, embora o método da Influência do Vértice apresente valores de discrepância ligeiramente inferiores aos demais. Isso pode ser decorrente do fato da análise do método da Influência do Vértices avaliar apenas os vértices existentes da linha de referência. Em se tratando dos métodos aplicados no grupo 3 é notório que os valores das discrepâncias foram

inferiores devido ao fato dos métodos avaliarem apenas as extremidades das linhas, sem considerar o comportamento da feição linear na análise.

4. CONCLUSÃO

Este trabalho buscou descrever metodologicamente a aplicação dos métodos Fator de *Fuzziness*, Pontos Finais, Pontos Intermediários e Ponto Gerado na avaliação da acurácia posicional planimétrica através de feições lineares, tendo por base o padrão de acurácia posicional brasileiro, definido pelo Decreto nº 89.817/1984 em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016), bem como realizar a comparação dos resultados obtidos com os métodos já estudados no Brasil.

Os métodos utilizados foram considerados de simples implementação em um ambiente de Sistema de Informações Geográficas, sendo mais uma alternativa para o Controle de Qualidade de bases cartográficas. De um modo geral, os resultados da avaliação do ortomosaico apresentaram Classe A para a escala de 1:1.000 quanto ao Decreto nº 89.817/1984 em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016), na aplicação dos métodos Pontos Finais, *Buffer Duplo*, Influência do Vértice, Fator de *Fuzziness* e pelo método de Normalização do *Buffer Duplo*. Já os métodos do Ponto Gerado e Pontos Intermediários apresentaram classificação B para a escala 1:1.000.

Os métodos de feições lineares Pontos Intermediários e Ponto Gerado obtêm o valor da discrepância baseado em pontos separados com espaçamento (ϵ) pré-estabelecido no valor do PEC para a escala e a classe utilizada no processo de avaliação. Assim, quanto maior a escala, menor o espaçamento (ϵ) entre os pontos. No entanto, quanto menor a escala, menos restritivos se tornam os métodos. Verifica-se também que no método do Ponto Gerado a metodologia funciona adequadamente quando não estão presentes distorções geométricas significativas entre as feições lineares, ou seja, para pares de linhas que possuem comprimentos similares. O ideal é que apenas diferenças randômicas estejam presentes para aplicação deste método.

Apesar dos métodos do Ponto Gerado e Pontos Intermediários apresentarem classificação B para a escala 1:1.000, ambos podem ser ponderados como os métodos mais restritivos, devido ao fato de gerar um conjunto de discrepâncias em todo o segmento da linha analisada, as quais pode-se investigar a presença de tendências nos dados.

No método de Normalização do *Buffer*, os resultados mostram que ao realizar iterações, variando-se a largura do *buffer*, é possível inferir no comportamento da linha teste em relação à linha de referência e obter medidas como a largura ideal para se calcular discrepâncias por meio do método do *Buffer Duplo*.

No método da influência do vértice, pode-se verificar que este realiza análise mediante os pontos dos vértices das linhas de referência, podendo gerar conclusões que fiquem aquém do esperado quando as quantidades dos vértices não são representativas em toda a linha de referência. Observa-se que a quantidade e distribuição de vértices na linha de referência influencia diretamente na avaliação de tendência.

Apesar dos métodos Fator de *Fuzziness* e o método dos Pontos Finais classificaram o produto como Classe A os mesmos consideram a discrepância apenas nos extremos das linhas, não levando em consideração o comportamento da feição linear. Sugere-se aplicar o método de *Fuzziness* como método complementar do método dos Pontos Intermediários e Ponto Gerado.

Tendo em vista a comparação dos métodos baseado no padrão de acurácia posicional brasileiro, definido pelo Decreto nº 89.817/ ET-CQDG (DSG, 2016), verifica-se que os métodos do Ponto Gerado e Pontos Intermediários apresentaram melhores desempenhos quando comparados aos métodos já estudados no Brasil que são os métodos da Influência do Vértice, *Buffer Duplo* e Normalização do *Buffer Duplo* no conjunto de dados analisados. Tal avaliação se deu mediante ao conjunto de amostras de linhas testes e de referências apresentarem comprimentos similares.

Por fim, verifica-se que os métodos apresentados são baseados na análise de pontos no decorrer da feição linear, assim recomenda-se a análise de outras propriedades geométricas nas feições lineares em trabalhos futuros. Recomenda-se também investigar a presença de tendência nos dados, devido ao fato dos métodos gerarem análise de medidas de discrepâncias

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIZA-LÓPEZ, F.J. **Calidad en la Producción Cartográfica**, RA-MA, Madrid. p. 389, 2002a.

ARIZA-LÓPEZ, F.J., ATKINSON-GORDO, A.D. Analysis of Some Positional Accuracy Assessment Methodologies. **Journal of Surveying Engineering**, v.134, n.2, p.45-54, 2008.

BLAKEMORE, M. **Generalization and Error in Spatial Databases**. Cartographica, p.131–39, 1984.

BURITY, E. F. **A carta cadastral urbana - Seleção de dados a partir da análise das necessidades dos usuários**. Dissertação (Mestrado) - Instituto Militar de Engenharia, Engenharia Cartográfica - Rio de Janeiro, RJ, 106 p, 1999.

BRASIL, Decreto nº 89.817/84, de 20 de junho de 1984. Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Brasília, Diário Oficial da União, Brasil, 22 de julho 1984.

CRUZ, D. T.; SILVA, P. L.; FONSECA, I. G. R.; SANTOS, A. P. **Comparação de metodologias na aplicação do método buffer duplo para análise de acurácia posicional por feições lineares**. In: VII Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação – SIMGEO, Recife. Mapeamento da Superfície Terrestre / Estado da Arte, 2018.

DAL POZ, A. P.; GALO, M.; FERREIRA, F. M. **Metodologias para a avaliação geométrica de feições cartográficas**, In: II Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas. Curitiba – PR, Universidade Federal do Paraná, 2001.

DSG, Diretoria do Serviço Geográfico. ET-CQDG: Norma da Especificação Técnica Para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais. 1 ed. Brasília: DSG,2016.

FERREIRA, L. F.; CINTRA, J. P. Quantificação de discrepâncias entre feições lineares por retângulos equivalentes. **Revista Brasileira de Cartografia**, nº 51, pp. 1-8, 1999.

FONSECA, I. G. R. DA. **Avaliação da acurácia posicional tridimensional utilizando feições lineares**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa - UFV. Viçosa, 84p, 2018.

GOODCHILD, M. F.; HUNTER, G. J. A simple positional accuracy measure for linear features. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 11, n. 3, p. 299-306, 1997.

GALO, M.; DAL POZ, A. P. D.; FRANCE, M. F. **O uso de feições no controle de qualidade em cartografia**. In: XIX Congresso Brasileiro de Cartografia. Porto Alegre, Brasil, 2001.

GIORDANO, A.; VEREGIN, H. “**Il controllo di qualità nei sistemi informativi territoriali: come valutare e mantenere l'accuratezza del database**”. il Cardo, 1994.

GOODCHILD, M. F. “Foreword”. In: SHI, W. **Principles of Modeling Uncertainties in Spatial Data and Spatial Analyses**. Boca Raton, FL: CRC Press, 432 p., 2010.

HEIPKE, C; MAYER, H.; WIEDEMANN, C.; JAMET, O. **Evaluation of Automatic Road Extraction**. International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, p. 47–56, 1997.

ISO 19157:2013: **Geographic information: data quality**. Geneva: ISO, 146 p., 2013c.

KAGAWA, Y.; SEKIMOTO, Y.; SHIBASKI, R. **Comparative study of positional accuracy evaluation of line data**. Proceedings of the ACRS, 1999.

LUGNANI, J. B. **Using digital entities as control**. Phd. Thesis, Department of Surveying Engineering, 1980.

LUGNANI, J.B. Estimativa de Qualidade de Feições Digitalizadas: Um Novo Método. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 39, p. 26-29, 1986.

MASRY, S. E.; GAUTHIER, J. R. R.; LEE, Y. C. **Accuracy and time comparisons of digital maps**. In: international test, 14th Congress of The International Society of Photogrammetry, Hamburg, Vol. 48, 11, p. 494-514, 1980.

MCMASTER, R.B. **A statistical analysis of mathematical measures for linear simplification**. The American Cartographer, p.103–116, 1986.

MOZAS-CALVACHI, A. T. C. **Control de La Calidad Posicional En Cartografia Por Elementos Lineales**. Jaén: Universidad de Jaén, Spain, 2007.

MOZAS-CALVACHI, A. T.; ARIZA-LÓPEZ F. J. Methodology for Positional Quality Control in Cartography Using Linear Features. **The Cartographic Journal**, p.371-378. 2010.

MOZAS-CALVACHI, A. T.; ARIZA-LÓPEZ F. J. New Method for Positional Quality Control in Cartography Based on Lines. A Comparative Study of Methodologies. **International Journal of Geographical Information Science**, Taylor e Francis: p.1681–95. 2011.

NERO, M. A. **Proposta para Controle de qualidade de bases cartográficas com ênfase na componente posicional**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São paulo.186p., 2005.

NOGUEIRA JR., J. B. **Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica**. Dissertação (Mestrado) - UNESP, Engenharia Cartográfica Presidente Prudente. 147 p. 2003.

PEREIRA, T. A. J.; NERO, M. A. **Análises de Normas de Controle de Qualidade Cartográfica Ao Redor Do Mundo: Exemplos Atuais de Alguns Países**. In: IV Simpósio Brasileiro de Ciências Geodésicas E Tecnologias Da Geoinformação. Recife, Brasil, 2012.

RAMIREZ, J.R. ALI, T. **Progress in metrics development to measure positional accuracy of spatial data**. In: Proceedings of the 21st International Cartographic Conference (ICC). Durban, South Africa. 10-16, 2003.

SANTOS, A. P.; **Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais com Uso de Estatística Espacial**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa - UFV. Viçosa, 128p. 2010.

SANTOS, A. P.; MEDEIROS, N. G.; SANTOS, G. R.; RODRIGUES, D. D. Controle de qualidade posicional em dados espaciais utilizando feições lineares. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 21, p. 233-250, 2015.

SANTOS, A. P.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T.; Gripp Junior, 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**, v. 22, n. 4, p. 630-650, 2016.

SILVA, M. V.; SCHULLER, C. A. B. Avaliação de dados planimétricos lidar para áreas urbanas: Recife - PE. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, p. 1103-1117, 2015.

SHI, W.; LIU, W. A stochastic process-based model for the positional error of line segments in GIS. **International Journal of Geographical Information Science**, v. 14, n. 1, p. 51-66, 2000

TVEITE, H.; LANGAAS, S. **Accuracy assessments of geographical line data sets, the case of the digital chart of the world**. In: Proceedings of the 5th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Systems (ScanGIS'95) (Trondheim: Department of Surveying and Mapping, University of Trondheim), pp. 145–154, 1995.

TVEITE, H.; LANGAAS, S. An accuracy assessment method for geographical line data sets based on buffering. **International Journal Geographical Information Science**, vol. 13, n.1, p.27-47, 1999.

TONG, X.; TONG, S.; 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**, p.136–48, 2013.

VIEIRA, C. A. O., MATHER, P. M. **Techniques for estimating the positional and thematic accuracy of remotely sensed products**. In: XII Simpósio Brasileiro de Sensoriamento Remoto, Goiânia, Brasil. p. 4351-4359, 2005.

CAPÍTULO 2: ESTUDO DA EFICÁCIA DOS MÉTODOS FATOR DE *BIAS*, OSCILAÇÃO DO *BUFFER* DUPLO E INFLUÊNCIA DO VÉRTICE NA ANÁLISE DE TENDÊNCIA EM FEIÇÕES LINEARES

Resumo: O presente trabalho tem como objetivo apresentar os métodos Fator de *Bias*, Oscilação do *Buffer* Duplo e Influência do Vértice na análise de efeitos sistemáticos presentes em bases cartográficas utilizando feições lineares. A metodologia deste trabalho foi estabelecida em dois experimentos: o primeiro consistiu no emprego e avaliação dos resultados dos métodos a um conjunto de dados simulados, desenvolvido neste trabalho a fim de avaliar as metodologias; o segundo experimento utilizou-se de dados reais. Diante dos resultados os métodos analisados no presente estudo apresentaram falhas em situações específicas. No método do Fator de *Bias* não foram detectadas tendência em situações em que houve interseções entre as linhas teste e de referência. O método de Oscilação do *Buffer* Duplo não apresentou resultados satisfatórios nos casos onde houve presença de *outliers* e quando a linha teste apresenta uma translação interceptando a linha de referência. Por fim o método da influência do vértice apresentou resultados consistentes com a metodologia somente nos casos onde as linhas apresentam vértices em toda sua extensão. No conjunto de dados reais houve incoerências entre os resultados encontrados pela aplicação dos diferentes métodos. Neste sentido, no que tange a análise de tendência aplicando os métodos explorados no presente estudo verifica-se a necessidade de melhorias nas técnicas de análise de tendência existentes.

Palavras-Chave: Erros sistemáticos. Feições Lineares. Qualidade Cartográfica.

Abstract: The present work aims to present the Bias Factor, Double Buffer Oscillation and Vertex Influence methods in the analysis of systematic effects present in cartographic bases using linear features. The methodology of this work was established in two experiments: the first consisted in the use and evaluation of the results of the methods to a set of simulated data, developed in this work in order to evaluate the methodologies; the second experiment used real data. In view of the results, the methods analyzed in the present study showed flaws in specific situations. In the Bias Factor method, no trends were detected in situations where there were intersections between the test and reference lines. The Double Buffer Oscillation method did not present satisfactory results in cases where outliers were present and when the test line presents a translation intercepting the reference line. Finally, the vertex influence method showed results consistent with the methodology only in cases where the lines have vertices throughout their extension. In the real data set, there were inconsistencies between the results found by the application of the different methods. In this sense, with regard to trend analysis applying the methods explored in the present study, there is a need for improvements in existing trend analysis techniques.

Keywords: Systematic errors. Linear Features. Cartographic Quality.

1. INTRODUÇÃO

Com a evolução dos métodos, softwares e equipamentos na cartografia, além da quantidade de dados espaciais, aumentou proporcionalmente o número de usuários não especialistas em mapeamento (GALO e CAMARGO, 1994). Atualmente, vivencia-se uma revolução geoespacial, em que a tecnologia utilizada no mapeamento se desenvolve com maior velocidade. Segundo Zanetti et al. (2021) diversos são os métodos propostos para avaliação da acurácia posicional. Para atender essa demanda de produtos derivados de novas formas de mapeamento com qualidade cartográfica satisfatória, sem perder a evolução das tecnologias, normas e parâmetros mínimos devem ser adotados. Esta é a razão que justifica o interesse na investigação e desenvolvimento de medidas para o controle de qualidade em dados espaciais (RAMIREZ e ALI, 2003).

Segundo Santos (2010), é fácil encontrar no mercado produtos cartográficos apresentando erros sistemáticos, sendo a principal causa a falta de controle nas várias etapas da produção cartográfica. Dessa forma é fundamental no controle de qualidade de dados espaciais a análise de erros sistemáticos, uma vez que ao se utilizar um produto tendencioso, tais dados serão retratados de forma incompleta ou enganosa e qualquer decisão aplicada com base nesses dados resultará em um produto com baixa confiabilidade e uso restrito no processo de tomada de decisão.

Para Santos et al. (2016), a determinação de tendência em uma base de dados espaciais permite sua eliminação ou minimização. Segundo os mesmos autores, quando o efeito sistemático é verificado através da análise da acurácia posicional e testes estatísticos, uma correção pode ser aplicada para compensar o efeito e melhorar a qualidade do produto.

Na literatura, encontram-se trabalhos como de Masry, Gauthier e Lee (1980), Merchant (1982), Galo e Camargo (1994), Tveite e Langaas (1995), Ferreira e Cintra (1999), Dal Poz, Galo e Ferreira (2001), Galo, Dal Poz e Ferreira (2001), Ariza-López (2002), Nogueira (2003), Nero (2005), Lima Thomaz e Severo (2010), Lima (2012), Sztutman (2014), Silva e Schuller (2015), Silva et al. (2016), dentre outros que utilizaram na análise de tendências em dados espaciais, a partir feições pontuais, com o uso do teste *t* de *Student* ou teste da normal (NERO et al., 2017) na amostra de

discrepâncias. As amostras de discrepâncias são obtidas por meio da análise das coordenadas de referência e coordenadas observadas para os pontos de interesse.

Ramirez e Ali (2003), Mozas-Calvachi e Ariza-López (2011), Santos et al. (2015), Fonseca Neto et al. (2017), Zanetti, Gripp e Santos (2017), dentre outros, realizaram em seus trabalhos a análise de tendência através de feições lineares.

Tveite e Langaas (1999) propõem análise de tendência mediante a avaliação da faixa média de oscilação, baseando-se na aplicação de *buffers* duplos entre feições lineares. Ramirez (2000) propõem o método Fator de *Bias* tendo como propósito calcular a qualidade posicional entre as feições lineares, estimando o deslocamento da linha teste (L_T) em relação a linha de referência.

Basicamente, os métodos de análise de tendência em feições lineares consideram apenas os pontos extremos das feições lineares, sem levar em consideração o comportamento da feição. Assim, um questionamento que se apresenta é se a análise de tendência utilizando de outros critérios e padrões proporcionaria diferentes resultados e análises.

Diante do exposto, este trabalho tem como objetivo descrever e analisar a eficácia de alguns métodos existentes para detecção e análise de tendência aplicados em feições lineares no processo de controle de qualidade posicional. Nesse sentido, serão realizadas a aplicação e análise dos métodos Fator de *Bias*, Oscilação do *Buffer* Duplo e Influência do Vértice em uma base de dados simulados e uma base de dados real.

2. ANÁLISE DE TENDÊNCIA NO CONTROLE DE QUALIDADE CARTOGRÁFICA

O controle de qualidade em produtos cartográficos é uma questão importante, não só para determinar o nível de discrepância com a realidade, mas também para determinar as suas causas e possíveis ações para minimizá-las. Os dados espaciais de má qualidade retratam o ambiente de forma incompleta ou enganosa e qualquer decisão tomada com base nesses dados resultará em um produto com baixa confiabilidade e uso restrito no processo de tomada de decisão (LUNETTA et al., 1991).

Ester et al. (1998) afirmam que a tendência nos dados espaciais é definida como um padrão de mudança sistemática de um ou mais atributos no espaço, ou seja, podendo considerar os erros sistemáticos de translação, rotação e escala.

Segundo Galo e Camargo (1994) a análise de tendências consiste na aplicação de teste estatístico com vistas a determinar a presença de erros sistemáticos no produto avaliado. Para isso devem-se aplicar testes que avaliam a tendência da amostra como um todo, podendo-se citar: Fator de *Bias*, Oscilação do *Buffer Duplo* e Influência do Vértice.

2.1 Fator de *Bias*

Segundo Ramirez (2000), o Fator de *Bias*, compara a localização relativa da linha teste (L_T) com outra feição linear similar mais acurada, considerada no presente trabalho como linha de referência (L_R). Quando se sobrepõem as duas feições lineares a fim de compará-las, os comprimentos dos segmentos da linha teste (L_T) que estiverem à direita ($\sum d_{Di}$) dos segmentos da linha de referência (L_R) serão computados e comparados com os comprimentos da linha teste (L_T) dos segmentos que estiverem à esquerda ($\sum d_{Ei}$) dos segmentos da linha de referência (L_R). Espera-se ter um número equivalente de comprimento total à direita e à esquerda dos segmentos de características lineares de referência. Segundo o mesmo autor o método do Fator de *Bias* tem como propósito calcular a qualidade posicional entre as feições lineares. Ressalta-se que para a aplicação deste método deve-se padronizar inicialmente o sentido da esquerda e direita mediante os segmentos lineares a serem analisados.

Tendo-se uma análise de informações dos segmentos que estão à direita e à esquerda da linha de referência (L_R) pode-se realizar também um estudo de tendência para aferir a direção da mesma. As Figuras 1 e 2 ilustram o conceito do Fator de *Bias*, sendo a linha azul a representação da linha de referência (L_R) e a linha vermelha a representação da linha teste (L_T). Para a aplicação do método do Fator de *Bias*, propõem-se as seguintes etapas:

1. Selecionar uma amostra de n linhas homólogas de teste (L_T) e de referência (L_R) e definir lado direito e esquerdo da linha de referência (L_R);
2. Com base em cada uma das feições lineares contabiliza-se o comprimento da linha teste (L_T) que está à direita ($\sum d_{Di} = 0$) e a esquerda ($\sum d_{Ei}$) da linha de referência (L_R);
3. De posse dos comprimentos pode-se resumir relações da seguinte forma:

- Se $\sum d_{Ei} = 0$ e $\sum d_{Di} = 0$, Não apresenta *bias*;
- Se $\sum d_{Ei} = 0$ e $\sum d_{Di} \neq 0$, Apresenta *bias* à direita;
- Se $\sum d_{Ei} \neq 0$ e $\sum d_{Di} = 0$, Apresenta *bias* à esquerda;
- Se $\sum d_{Ei} = \sum d_{Di}$, Apresenta *bias* igual à direita e à esquerda.
- Se $\sum d_{Ei} \neq 0$ e $\sum d_{Di} \neq 0$, então Fator de *Bias* é representado pela Equação 1:

$$FB = \frac{\sum d_{Ei}}{\sum d_{Di}} \quad (1)$$

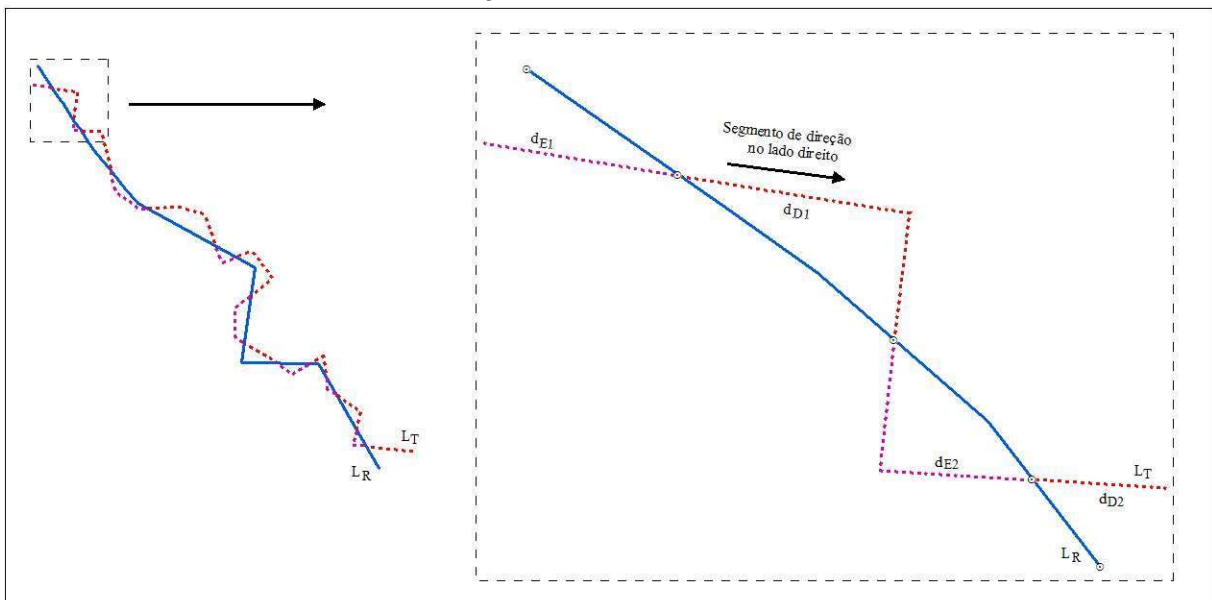
em que:

d_{Ei} : Segmento de direção no lado esquerdo.

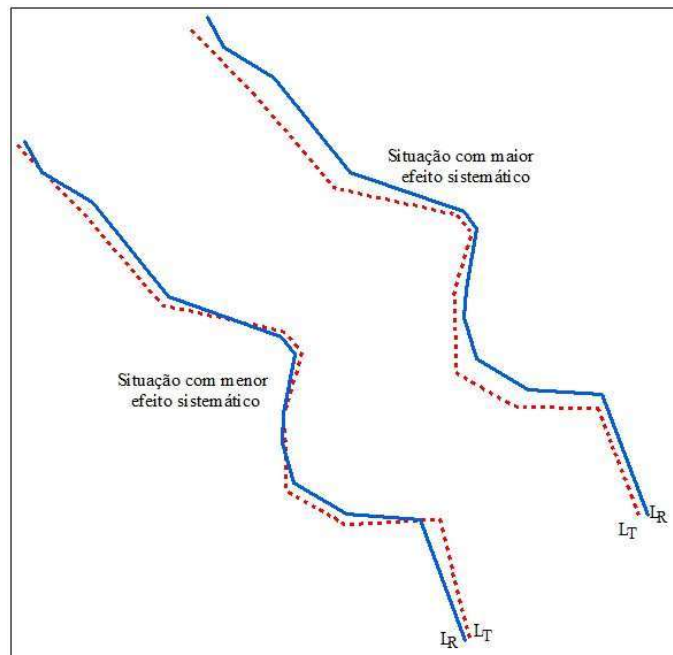
d_{Di} : Segmento de direção no lado direito.

FB : Fator de *Bias*.

Figura 1 – Fator de *Bias*.



Fonte: Ramirez e Ali (2003).

Figura 2 - *Bias* entre feições lineares.

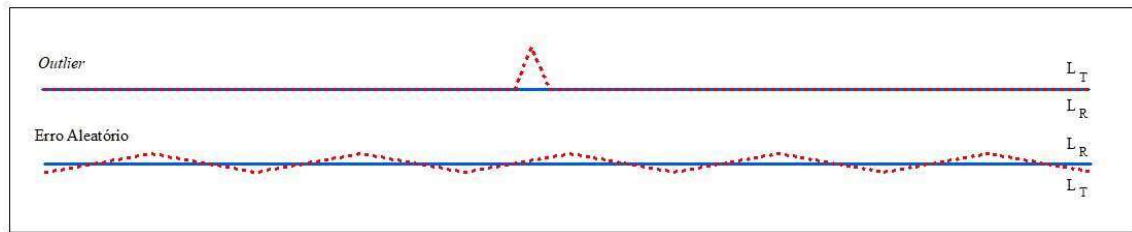
Fonte: Ramirez e Ali (2003).

A Equação 1 resultará em valores positivos $[0, +\infty)$, sendo que quando os segmentos da linha teste (L_T) estiverem em sua maioria a esquerda da linha de referência (L_R), o Fator de *Bias* resultará em valores acima de 1. Quando a maioria dos segmentos da linha teste (L_T) estiver à direita da linha de referência (L_R), o Fator de *Bias* resultará em valores entre 0 e 1.

É importante ressaltar que nos casos em que o somatório dos deslocamentos da linha teste (L_T) for igual ao somatório dos deslocamentos da linha de referência (L_R), o Fator de *Bias* apresentará valor igual a 1 ($FB=1$).

Uma limitação deste método, não exposta pelo autor, consiste em situações onde a linha teste (L_T) apresenta trechos ou vértices característicos de erros aleatórios ou *outliers* (erros grosseiros), como ilustrado na Figura 3. Observa-se a existência de *outlier* na linha teste a direita da linha de referência (L_R). Ao aplicar o teste de Fator de *Bias* será indicada tendência a direita devido ao somatório dos deslocamentos da linha teste (L_T) ser igual a zero na parte esquerda da linha de referência ($\sum d_{Ei} = 0$) e diferente de zero a direita da linha de referência ($\sum d_{Di} \neq 0$). É importante ressaltar que Ramirez (2000) não define um nível de tolerância para esta análise. Dessa forma, para o presente estudo será considerado tendencioso quando o somatório dos deslocamentos satisfizer as exigências b) ou c) descritas no item 3.

Figura 3 - Exemplo de *outliers* e efeito aleatório em feição linear.



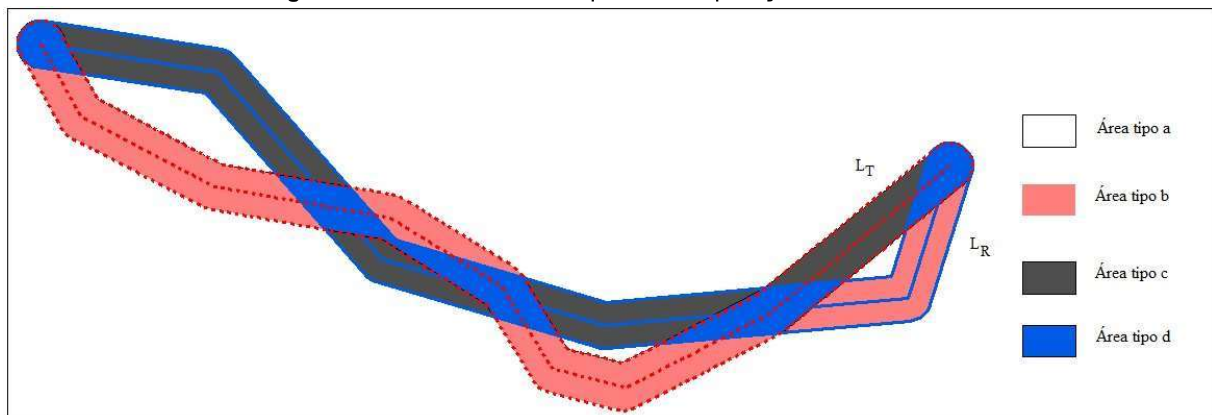
Fonte: Os autores (2022).

2.2 Método Oscilação do *Buffer Duplo*

Tveite e Langaas (1999) desenvolveu um método baseado na geração de um *buffer* tanto na linha de referência (L_R) quanto na linha a ser testada (Figura 4) e, em seguida, avaliou as 4 áreas geradas por meio da interseção entre os *buffers*.

- Área tipo a. Área não contida em ambos os polígonos L_T e L_R .
- Área tipo b. Área não contida em L_T e contida em L_R .
- Área tipo c. Área contida em L_T e não contida em L_R .
- Área tipo d. Área resultante da interseção entre L_T e L_R .

Figura 4 - Áreas formadas pela sobreposição dos *Buffers*.



Fonte: Adaptado de Fonseca (2018).

Diante das quatro regiões apresentadas, os autores propõem a análise de várias propriedades podendo obter a discrepância posicional, oscilação das linhas e uma indicação da tendência dos dados. Para a aplicação do método do *Buffer Duplo* para análise de faixa média de oscilação, propõem-se as seguintes etapas:

1. Aplicar um *buffer* de tamanho x em cada linha da amostra de linhas homólogas de teste e referência.

2. Contabilizar o número de áreas vazias não contida em ambos os polígonos L_T e L_R , representado na Figura 4 pela área tipo a. Considera-se na contagem a área externa dos *buffers*.
3. Contabilizar o comprimento total da linha teste (L_T);
4. Por fim, calcular a faixa média de oscilação conforme a Equação 2.

$$O_i = \frac{N_i}{L_i} \quad (2)$$

sendo:

O_i : Oscilação para a linha i .

N_i : Número de área classificada como tipo a, ou seja, área não contida em ambos os polígonos L_T e L_R .

L_i : Comprimento total da linha teste (L_T).

De acordo Mozas-Calvachi (2007), a avaliação da faixa média de oscilação pode ser interpretada como uma medida da tendência de deslocamento entre as linhas. Segundo o mesmo autor, quando os resultados da oscilação em erros aleatórios são apresentados graficamente é possível perceber uma curva escalonada com tendência descendente, que é estabilizada à medida que a largura do *buffer* aumenta. Em conjunto de dados que possuem erros sistemáticos, os resultados da oscilação apresentam reta constante ou curva ascendente até que estabilize, à medida que o *buffer* aumenta. Ressalta-se que nos casos citados, o gráfico tenderá a um valor estável quando a largura do *buffer* é aumentada. Vale destacar também, que no presente método os autores não definem a largura dos *buffers* a serem adotadas para as análises.

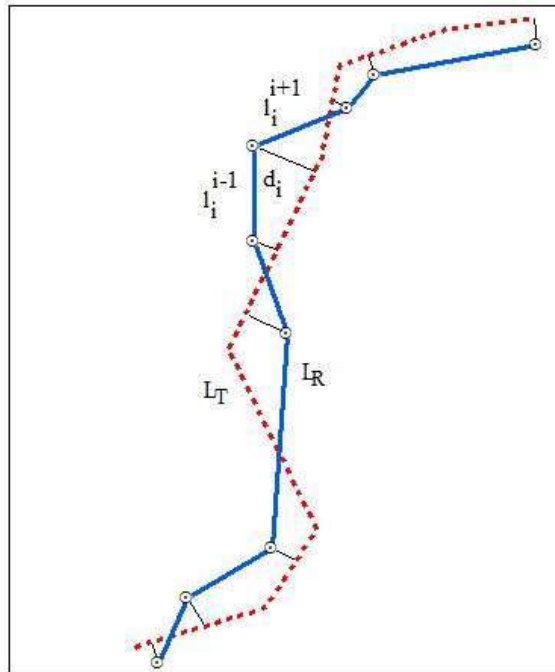
Segundo Goeman, (2005) a desvantagem deste método é que os resultados, quando apresentados na forma de gráficos, não apresentam expressões quantitativas da tendência à serem usadas nas tomadas de decisões.

2.3 Método da Influência do Vértice

O método da Influência do Vértice do Mozas-Calvachi e Ariza-López (2011) baseia-se na obtenção da distância euclidiana a partir dos vértices da linha de referência (L_R) para a linha teste (L_T) (Figura 5). Os mesmos autores propõem realizar a análise de tendência nos dados de duas formas: a primeira consiste em aplicar o teste t de *Student* baseado nos componentes de cada distância analisada, e

em seguida tendo como base a obtenção da média ponderada das componentes analisadas em relação ao comprimento dos segmentos adjacentes.

Figura 5 - Método da Influência do Vértice.



Fonte: Adaptado de Mozas-Calvachi e Ariza-López (2011).

Assim, para análise de tendências pelo método da Influência do Vértice Santos et al. (2015) propuseram as seguintes etapas:

1. Selecionar uma amostra de n linhas homólogas de teste (L_T) e de referência (L_R);
2. Extrair os vértices de cada linha de referência (L_R);
3. Calcular a menor distância para cada vértice da linha de referência (L_R) em relação ao segmento da linha teste (L_T).
4. Realizar a análise de tendência aplicando o teste t de *Student* baseado nas discrepâncias obtidas para a abscissa (d_E) e para a discrepâncias da ordenada (d_N), conforme as Equações 3,4,5,6 e 7.

Conforme Santos (2010), na análise de tendência utilizam-se dos mesmos procedimentos aplicados em feições pontuais, onde as discrepâncias das amostras entre as coordenadas de teste e dos dados de referência são calculadas pela Equação 3:

$$d_E = E_{teste} - E_{ref} \quad (3)$$

em que:

D_E : Discrepância no eixo da abscissa;

E_{teste} : Abscissa da linha teste (L_T);

E_{ref} : Abscissa da linha de referência (L_R).

De posse das discrepâncias calcula-se a média das discrepâncias ($\overline{d_E}$) e o desvio padrão (S) dados pelas Equações 4 e 5 respectivamente:

$$\overline{d_E} = \frac{\sum d_E}{n} \quad (4)$$

$$S = \frac{\sum (d_E - \overline{d_E})^2}{n - 1} \quad (5)$$

De acordo com Merchant (1982) o teste t de *Student* é aplicado observando um nível de confiança $(1-\alpha)$ igual a 90% ($\alpha = 0,10$). A partir do número de pontos coletados, chega-se a um valor limite $t_{(n-1, \alpha/2)}$, que pode ser obtido por meio de tabela bilateral. Dessa forma, se o valor absoluto do $t_{calculado}$ for menor ou igual que o $t_{tabelado}$ (Equação 6), para cada componente a ser analisada, o dado espacial estará livre de efeitos sistemáticos, não apresentando tendências.

$$|t_{calc}| \leq t(n - 1, \frac{\alpha}{2}) \quad (6)$$

No teste podem ser avaliadas as seguintes hipóteses. Para a abscissa E:

H_0 : Se $d_E = 0$, então E não é tendencioso;

H_1 : Se $d_E \neq 0$, então E é tendencioso;

$$t_{calc}E = \frac{\overline{d_E} * \sqrt{n}}{S_{dE}} \quad (7)$$

sendo:

$\overline{d_E}$: Média das discrepâncias das abcissas E;

S_{dE} : Desvio-padrão das discrepâncias das abcissas E;

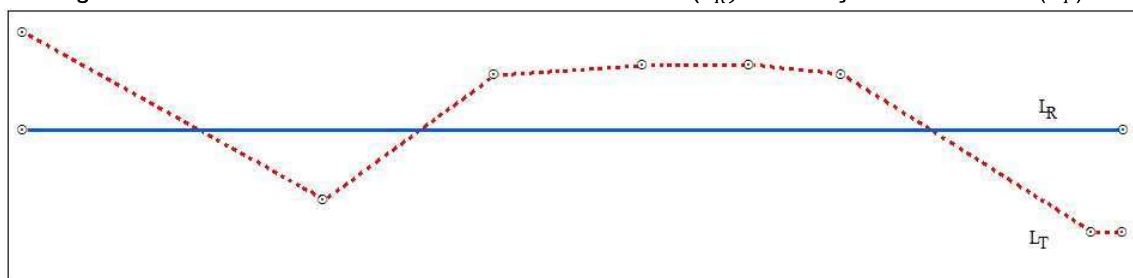
n : Número de amostras.

Este mesmo procedimento pode ser realizado também para a ordenada Norte e para a componente de altimetria. Uma deficiência deste método é que o teste t de *Student*, tem como premissa que a distribuição da amostra seja normal (Montgomery

e Runger 2008).

Outra desvantagem deste método consiste em analisar os vértices da linha de referência (L_R) e em seguida calcular a menor distância para cada vértice da linha de referência (L_R) em relação à linha teste (L_T). Como pode-se verificar na Figura 6 do método da Influência do Vértice, ao analisar os vértices da linha de referência (L_R) serão considerados apenas dois pontos, o que limita a mensuração da real tendência da linha teste.

Figura 6 - Análise dos vértices da linha de referência (L_R) em relação a linha teste (L_T).



Fonte: Os autores (2022).

3. MATERIAIS E MÉTODOS

Os experimentos realizados constituíram-se no emprego das metodologias de avaliação da tendência que utilizam feições lineares, aplicadas a um conjunto de dados simulados e dados reais. Os métodos utilizados foram implementados no software ArcGIS 10.5.

Na metodologia empregada foram realizados dois experimentos. No primeiro aplicaram-se os métodos de análise de tendência em um conjunto de dados simulados. No segundo os métodos foram aplicados em um conjunto de dados reais, utilizando-se feições características da área de estudo como por exemplo as estradas. Foi utilizado um conjunto de feições lineares de referência obtidas em campo e seus homólogos extraídos a partir do ortomosaico.

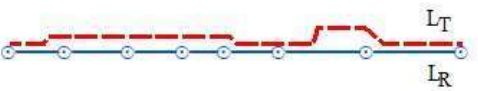
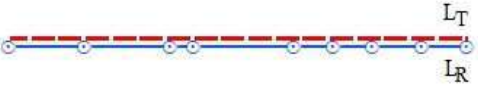

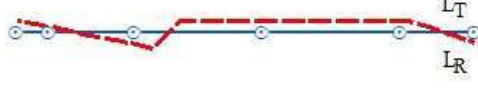
Para o levantamento das feições de referência em campo foram utilizados receptores GNSS da marca JAVAD modelo Triumph-1, e processamento das coordenadas através do método relativo estático e NTRIP, tendo como referência a estação RBMC VICO (Viçosa-MG). O processamento dos dados adquiridos em campo foi realizado empregando o Software Topcon Tools 7.5.1 configurado ao sistema de projeção UTM – Fuso 23 S, SIRGAS2000. Em seguida, por meio do software ArcGIS 10.5, foi realizado o processo de monorestituição das linhas

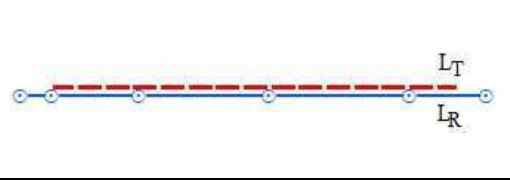

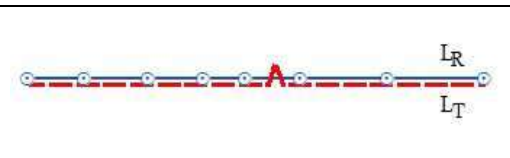
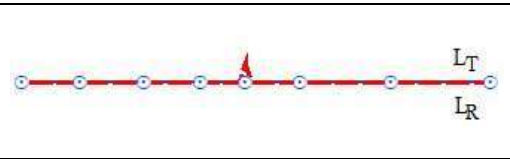

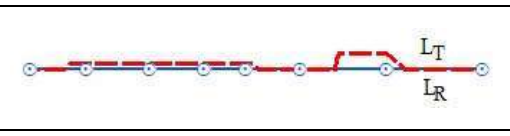
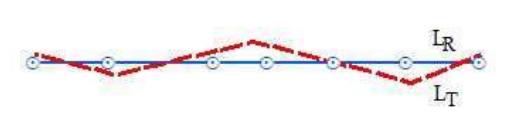
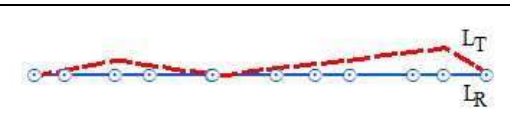
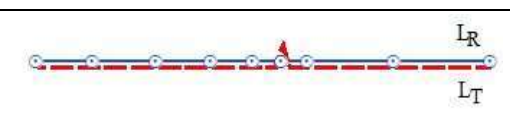
correspondentes aos trechos das estradas, de onde foram extraídas as feições lineares homólogas no ortomosaico. A partir das amostras de feições lineares de referência de campo e seus homólogos no ortomosaico, foi possível aplicar os métodos propostos de análise de tendência em feições lineares.

3.1 Experimento com dados simulados

O conjunto de dados utilizados consistiu-se em 12 pares de feições lineares criadas em ambiente SIG (software ArcGIS). Os pares possuem informações com diferentes propriedades simulando erros sistemáticos, *outliers* (erros grosseiros) e erros aleatórios, de forma a possibilitar a visualização do comportamento destes dados nas metodologias utilizadas. A Tabela 1 mostra o conjunto de feições lineares simuladas, onde a linha teste (L_T) está representada na cor vermelha, e a linha de referência (L_R) na cor azul.

Tabela 1- Conjunto de linhas simuladas de teste e referência.

Nome da linha	Descrição da linha	Ilustração	Resultados esperados
Linha 0	Linha teste apresenta como principal característica o deslocamento (translação) acima da linha de referência simulando erro sistemático		Tendencioso
Linha 1	Linha teste apresenta deslocamento acima da linha de referência mantendo-se constante, simulando erros sistemáticos		Tendencioso
Linha 2	Linha teste apresenta erro do tipo “zigue-zague” que simula erros aleatórios		Não Tendencioso
Linha 3	Linha teste corresponde à soma dos casos 1 e 2. Inclui um erro maior que permanece constante em um certo comprimento e um erro menor em “zigue-zague”		Tendencioso

Linha 4	Linha teste apresenta deslocamento (translação) acima da linha de referência e erro de escala, simulando erro sistemático		Tendencioso
Linha 5	Linha teste apresenta deslocamento acima da linha de referência interceptando em alguns pontos com a linha de referência		Tendencioso
Linha 6	Linha teste apresenta deslocamento (translação) abaixo da linha de referência com presença de outlier		Tendencioso
Linha 7	Linha teste mantém similar a linha de referência com presença de outlier, simulando erro grosseiro		Não Tendencioso
Linha 8	Linha teste é similar a linha de referência		Não Tendencioso
Linha 9	Linha teste possui segmentos com deslocamentos (translação).		Tendencioso
Linha 10	Similar a linha 2 acrescido de vértices na linha de referência.		Não Tendencioso
Linha 11	Similar a linha 5, acrescido de vértices na linha de referência.		Tendencioso
Linha 12	Similar a linha 6, acrescido de vértices na linha de referência.		Tendencioso

Fonte: Os autores (2022).

A Tabela 2 apresenta as informações referente ao número de vértices e comprimento de cada linha simulada.

Tabela 2 - Características das linhas de referência e teste no conjunto dos dados simulados.

ID	Comprimento (m)		Número de vértices	
	Linha de Referência (L_R)	Linha Teste (L_T)	Linha de Referência (L_R)	Linha Teste (L_T)
Linha 0	50	52,53	8	11
Linha 1	50	50,00	9	9
Linha 2	50	51,91	2	5
Linha 3	50	51,67	6	5
Linha 4	50	43,27	6	2
Linha 5	50	51,22	6	5
Linha 6	50	53,25	8	18
Linha 7	50	53,04	8	12
Linha 8	50	50	8	8
Linha 9	50	52,53	8	11
Linha 10	50	51,91	7	5
Linha 11	50	51,22	11	5
Linha 12	50	53,25	9	18

Fonte: Os autores (2022).

No primeiro momento foi aplicado o método do Fator de *Bias* analisando e contabilizando os comprimentos dos segmentos da linha teste (L_T) que se localizam à direita e/ou à esquerda da linha de referência (L_R).

Em seguida foi aplicado o método de Oscilação do *Buffer Duplo*, em que foram gerados *buffers* tanto na linha de referência quanto na linha a ser testada. Para magnitude das diferenças entre os dados teste e referência foram gerados *buffers* nos tamanhos: 0,01; 0,1; 0,28; 0,3; 0,4; 0,5; 0,6; 0,7; 0,8; 0,9; 1; 1,1; 1,2; 1,3; 1,4, 1,5 e 1,6m. Após a geração e sobreposição dos *buffers* referentes às linhas de referência e testes, foram estimadas as áreas vazias localizadas no interior aos *buffers* não contida em ambos os polígonos gerados e o comprimento da linha teste (L_T), obtendo-se assim o valor de oscilação por meio da Equação 2.

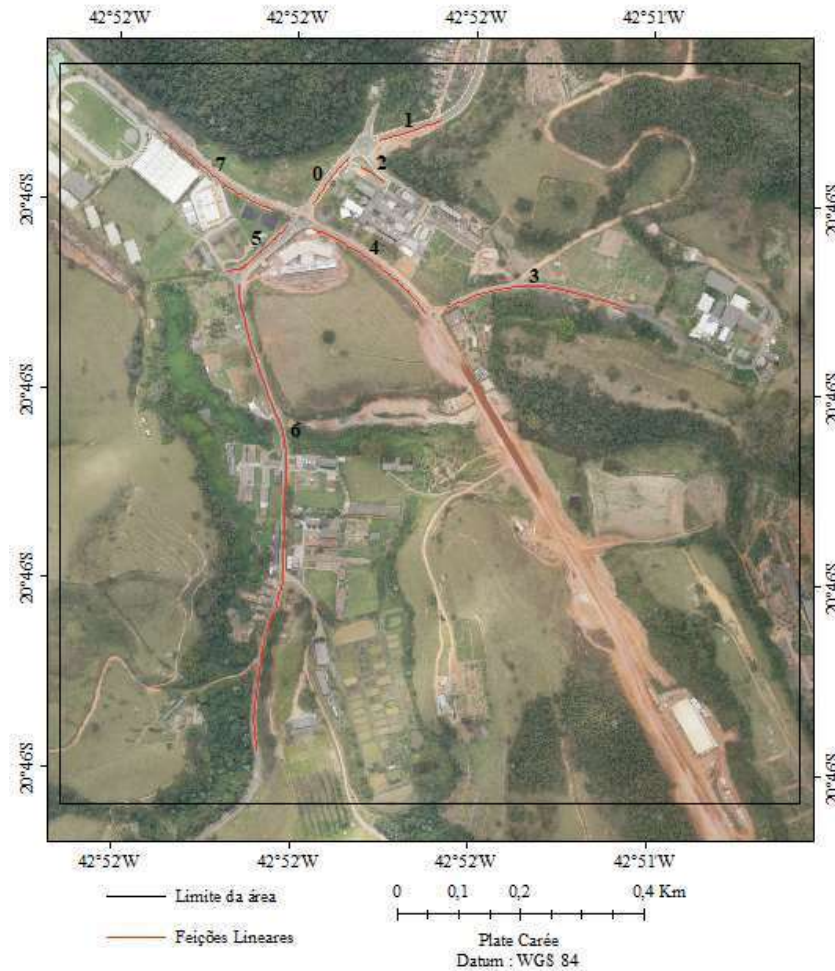
Na análise de tendência pelo método da Influência do Vértice aplicou-se o teste *t* de *Student* tendo como base a obtenção da média ponderada das componentes analisadas em relação ao comprimento dos segmentos adjacentes.

3.2 Experimento com dados reais

Os experimentos com dados reais se utilizaram da área de estudo está localizada no Campus da Universidade Federal de Viçosa, município de Viçosa,

estado de Minas Gerais, com uma área de aproximadamente 44 ha (Figura 7).

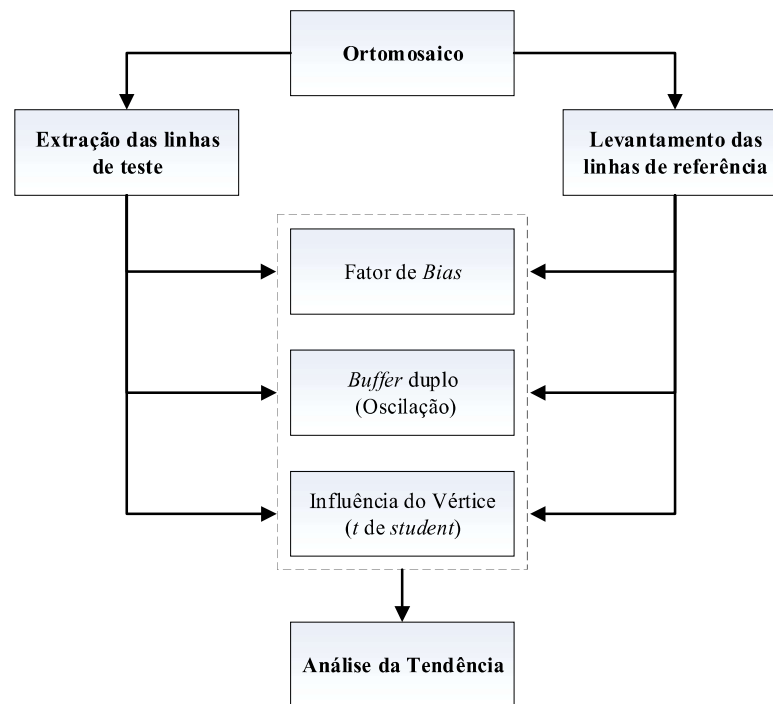
Figura 7 - Localização das linhas utilizadas no processo de análise de tendência do ortomosaico no município de Viçosa-MG.



Fonte: Os autores (2022).

Por meio da amostra de feições lineares de referência levantadas em campo, e de seus homólogos extraídos no ortomosaico, foi possível aplicar os métodos de análise de tendência em feições lineares propostos no presente estudo como apresentado pelo Figura 8.

Figura 8 - Fluxograma dos principais passos metodológicos.



Fonte: Os autores (2022).

As linhas utilizadas apresentaram comprimentos variando entre 45,02 e 774,37 m, e quantidade de vértices distintos como ilustrado na Tabela 3.

Tabela 3 - Características das linhas de referência e teste no conjunto dos dados reais.

ID	Comprimento (m)		Número de vértices	
	Linha de Referência (L_R)	Linha Teste (L_T)	Linha de Referência (L_R)	Linha Teste (L_T)
Linha 0	101,07	101,08	14	28
Linha 1	106,88	106,82	12	20
Linha 2	45,02	45,02	17	15
Linha 3	313,29	313,26	40	64
Linha 4	235,10	235,00	21	46
Linha 5	125,16	125,19	18	51
Linha 6	774,37	774,29	90	107
Linha 7	220,16	220,16	16	43

Fonte: Os autores (2022).

A primeira etapa foi aplicar o método do Fator de *Bias* analisando e contabilizando os comprimentos dos segmentos da linha teste (L_T) que estão localizados à direita e/ou à esquerda da linha de referência (L_R).

Em seguida foi aplicado o método de Oscilação (*Buffer Duplo*), em que foram

gerados *buffers* tanto na linha de referência (L_R) quanto na linha a ser testada. No presente estudo foram gerados *buffers* nos tamanhos: 0,0008m; 0,001m; 0,003m; 0,005m; 0,01m; 0,05m; 0,1m; 0,2m; 0,3m. Na sequência, contabilizou-se as áreas vazias interior aos *buffers* não contida em ambos os polígonos gerados e o comprimento da linha teste (L_T), obtendo o valor de oscilação aplicando a Equação 2.

Na análise de tendência pelo método da Influência do Vértice aplicou-se o teste *t* de *Student* tendo como base a obtenção da média ponderada das componentes analisadas em relação ao comprimento dos seguimentos adjacentes.

4. RESULTADOS E ANÁLISES

A seguir são apresentados os resultados dos experimentos realizados neste capítulo, considerando primeiramente os dados simulados, e em seguida os resultados com dados reais.

4.1 Experimento com dados simulados

A Tabela 4 mostra os resultados encontrados segundo o método do Fator de *Bias*, para o conjunto de dados simulados. Ressalta-se que foi convencionado no presente estudo que lado direito está acima da linha de referência (L_R) e lado esquerdo abaixo da linha de referência (L_R).

Pode-se verificar pelo método do Fator de *Bias* que as linhas teste 0, 1, 4, 5, 7, 9 e 11 apresentaram Fator de *Bias* à direita, pelo fato da linha teste (L_T) estar localizada à direita da linha de referência (L_R). Após análise foi constatado que estas linhas apresentaram tendência à direita.

As linhas 2, 3 e 10 apresentaram valores do Fator de *Bias* próximo a 0, podendo inferir que a linha teste (L_T) se encontra em sua maioria à direita da linha de referência (L_R). Já para as linhas 6 e 12, em virtude de apresentarem valores do Fator de *Bias* maiores que 1, pode-se inferir que a linha teste (L_T) se encontra, em sua maioria, à esquerda da linha de referência (L_R).

A Linha 8 não apresentou tendência pois o somatório do deslocamento à direita e à esquerda foi zero ($\sum d_{Ei} = 0$ e $\sum d_{Di} = 0$), ou seja, a linha teste (L_T) é igual a linha de referência (L_R).

Tabela 4 - Resultados do método do Fator de *Bias*.

Linhas	Σ dos segmentos localizados à Direita (m)	Σ dos segmentos localizados à Esquerda (m)	Fator de <i>Bias</i>	Resultados esperados	Comparativo com os resultados esperados
Linha 0	52,53	0,00	<i>Bias a direita</i>	Tendencioso	Atendeu com êxito
Linha 1	50	0,00	<i>Bias a direita</i>	Tendencioso	Atendeu com êxito
Linha 2	26,80	25,11	0,94	Não Tendencioso	Falha
Linha 3	37,55	14,12	0,38	Tendencioso	Falha
Linha 4	43,27	0,00	<i>Bias a direita</i>	Tendencioso	Atendeu com êxito
Linha 5	51,22	0,00	<i>Bias a direita</i>	Tendencioso	Atendeu com êxito
Linha 6	3,85	49,40	12,83	Tendencioso	Falha
Linha 7	4,50	0,00	<i>Bias a direita</i>	Não Tendencioso	Falha
Linha 8	0,00	0,00	Não apresenta <i>Bias</i>	Não Tendencioso	Atendeu com êxito
Linha 9	31,54	0,00	<i>Bias a direita</i>	Tendencioso	Atendeu com êxito
Linha 10	26,80	25,11	0,94	Não Tendencioso	Falha
Linha 11	51,22	0,00	<i>Bias a direita</i>	Tendencioso	Atendeu com êxito
Linha 12	3,85	49,40	12,83	Tendencioso	Falha

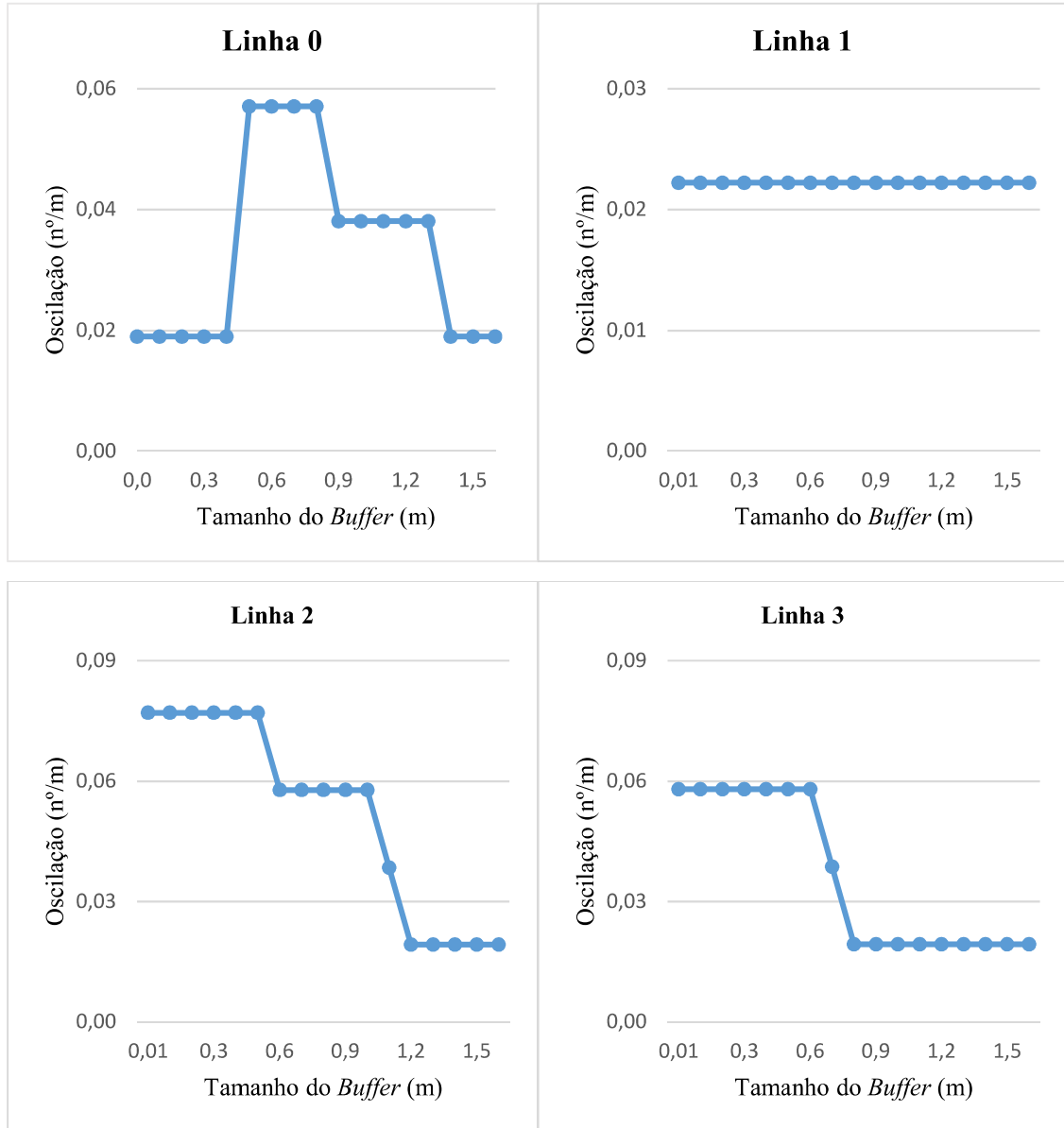
Fonte: Os autores (2022).

Os resultados encontrados aplicando o método de Oscilação do *Buffer Duplo* são apresentados no Figura 9. Aplicando-se diferentes tamanhos de *buffers*, verificou-se que o resultado na linha 0 apresentou inicialmente uma curva ascendente até estabilizar e então começar a diminuir atingindo oscilação de 0,2 áreas/m onde permaneceu constante com oscilação de 0,2 áreas/m, caracterizando dessa forma a presença de erros sistemático no conjunto dos dados, conforme o esperado. Nas linhas 1, 4 e 8 os gráficos permaneceram constantes na oscilação mínima de 0,2 áreas/m em todos os *buffers* aplicados, caracterizando a presença de erros sistemático no conjunto dos dados. Os resultados para análise de tendência nas linhas 1 e 4 foram conforme esperado, porém a linha 8 divergiu do resultado previsto.

Nas linhas 3, 5, 6, 7, 9, 11 e 12 os gráficos mostraram curvas descendentes até se estabilizarem atingindo oscilação de 0,2 áreas/m, caracterizando dessa forma a presença de erros aleatórios no conjunto dos dados, divergindo do resultado esperado. E nas linhas 2 e 10 apresentaram gráficos descendentes até se estabilizarem

atingindo oscilação de 0,2 áreas/m, caracterizando dessa forma a presença de erros aleatórios no conjunto dos dados, conforme o esperado.

Figura 9 - Resultado do método de Oscilação do *Buffer* Duplo aplicado aos dados simulados.



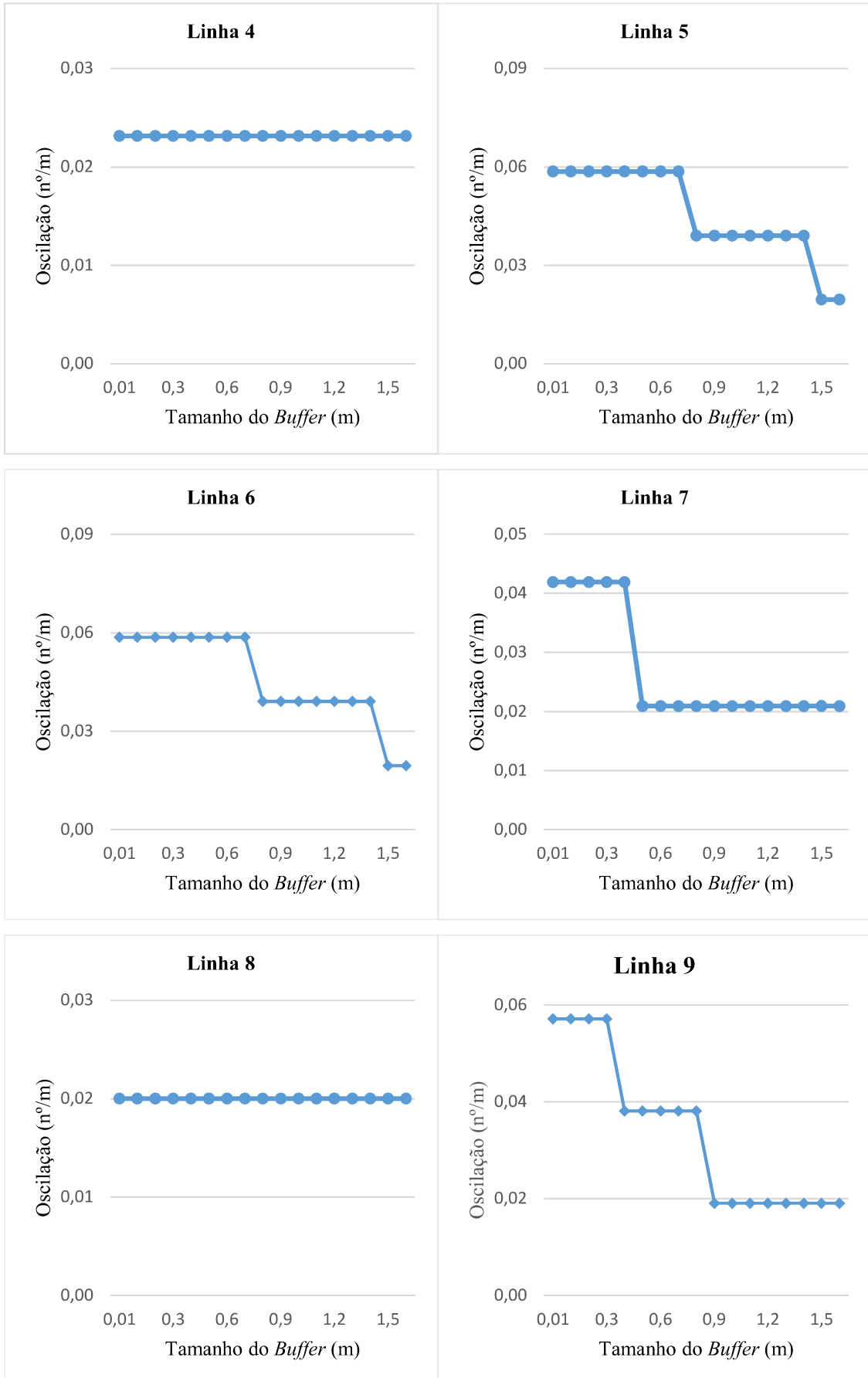


Tabela 5 - Resultados do método da Influência do Vértice.

Linhas	<i>t</i> de <i>Student</i>	Resultados esperados	Comparativo com os resultados esperados
Linha 0	Tendencioso	Tendencioso	Atendeu com êxito
Linha 1	Tendencioso	Tendencioso	Atendeu com êxito
Linha 2	Tendencioso	Não Tendencioso	Falha
Linha 3	Não Tendencioso	Tendencioso	Falha
Linha 4	Tendencioso	Tendencioso	Atendeu com êxito
Linha 5	Tendencioso	Tendencioso	Atendeu com êxito
Linha 6	Tendencioso	Tendencioso	Atendeu com êxito
Linha 7	Não Tendencioso	Não Tendencioso	Atendeu com êxito
Linha 8	Não Tendencioso	Não Tendencioso	Atendeu com êxito
Linha 9	Tendencioso	Tendencioso	Atendeu com êxito
Linha 10	Não Tendencioso	Não Tendencioso	Atendeu com êxito
Linha 11	Tendencioso	Tendencioso	Atendeu com êxito
Linha 12	Tendencioso	Tendencioso	Atendeu com êxito

Fonte: Os autores (2022).

A Tabela 6 apresenta uma síntese dos resultados obtidos pelos diferentes métodos avaliados no conjunto de dados simulados.

Tabela 6 - Análise geral dos diferentes métodos avaliados no conjunto de dados simulados.

Nome da linha	Resultados esperados	Fator de <i>Bias</i>	Oscilação do <i>Buffer Duplo</i>	Influência do Vértice	Análise Geral
Linha 0	Tendencioso	Tendencioso	Tendencioso	Tendencioso	Os métodos atenderam aos critérios de detecção e análise de tendência proposto nos tópicos 2.1, 2.2, 2.3.
Linha 1	Tendencioso	Tendencioso	Tendencioso	Tendencioso	Os métodos atenderam aos critérios de detecção e análise de tendência proposto nos tópicos 2.1, 2.2, 2.3.
Linha 2	Não Tendencioso	Inconclusivo*	Não Tendencioso	Tendencioso	Os métodos de Oscilação do <i>Buffer Duplo</i> e Influência do Vértice não atenderam ao critério de detecção e análise de tendência proposto nos tópicos 2.2 e 2.3.
Linha 3	Tendencioso	Inconclusivo*	Não Tendencioso	Não Tendencioso	Os métodos de Oscilação do <i>Buffer Duplo</i> e Influência do Vértice não atenderam ao critério de detecção e análise de tendência proposto nos tópicos 2.2 e 2.3.
Linha 4	Tendencioso	Tendencioso	Tendencioso	Tendencioso	Os métodos atenderam aos critérios de detecção e análise de tendência proposto nos tópicos 2.1, 2.2, 2.3.

Linha 5	Tendencioso	Tendencioso	Não Tendencioso	Tendencioso	O método de Oscilação do <i>Buffer Duplo</i> não atendeu ao critério de detecção e análise de tendência proposto no tópico 2.2.
Linha 6	Tendencioso	Inconclusivo*	Não Tendencioso	Tendencioso	O método de Oscilação do <i>Buffer Duplo</i> não atendeu ao critério de detecção e análise de tendência proposto no tópico 2.2.
Linha 7	Não Tendencioso	Tendencioso	Não Tendencioso	Não Tendencioso	O método de Fator de <i>Bias</i> não atendeu ao critério de detecção e análise de tendência proposto no tópico 2.1.
Linha 8	Não Tendencioso	Não Tendencioso	Tendencioso	Não Tendencioso	O método de Oscilação do <i>Buffer Duplo</i> não atendeu ao critério de detecção e análise de tendência proposto no tópico 2.2.
Linha 9	Tendencioso	Tendencioso	Não Tendencioso	Tendencioso	O método de Oscilação do <i>Buffer Duplo</i> não atendeu ao critério de detecção e análise de tendência proposto no tópico 2.2.
Linha 10	Não Tendencioso	Inconclusivo*	Não Tendencioso	Não Tendencioso	Os métodos atenderam aos critérios de detecção e análise de tendência proposto nos tópicos 2.1, 2.2, 2.3.
Linha 11	Tendencioso	Tendencioso	Não Tendencioso	Tendencioso	O método de Oscilação do <i>Buffer Duplo</i> não atendeu ao critério de detecção e análise de tendência proposto no tópico 2.2.
Linha 12	Tendencioso	Inconclusivo*	Não Tendencioso	Tendencioso	O método de Oscilação do <i>Buffer Duplo</i> não atendeu ao critério de detecção e análise de tendência proposto no tópico 2.2.

*Neste caso não é abrangido pela metodologia do autor.

Fonte: Os autores (2022).

Pode-se verificar pelo padrão da linha 6, 7 e 12 que os métodos do Fator de *Bias* e o método Oscilação do *Buffer Duplo* são sensíveis a *outliers*. Foi observado também através da simulação das linhas 2 e 10, que o método da Influência do Vértice é influenciado diretamente pela distribuição e quantidade de pontos na linha de referência (L_R). Por fim, pelo padrão semelhante das linhas 5, 9 e 11 em que a linha teste toca a linha de referência, foi possível verificar que com o aumento do tamanho do *buffer* a quantidade de área do tipo a tende a diminuir, resultando em valores cada vez menores de oscilação até estabilizar. Assim, nestes casos os resultados quando

representados graficamente trarão sempre curvas descendentes, não correspondendo com o esperado.

Ressalta-se que as metodologias apresentadas neste estudo são direcionadas para análise de erros sistemáticos em feições lineares. Contudo, em dados reais também ocorrem erros com efeitos aleatórios e grosseiros, como será apresentado no tópico a seguir.

4.2 Experimento com dados reais

A Tabela 7 apresenta os resultados obtidos após a aplicação do método do Fator de *Bias* sobre o conjunto de dados reais. Pode-se verificar que pelo método do Fator de *Bias* as linhas 0, 2, 4 e 5 apresentaram valores bem próximo a 0, mostrando assim que a linha teste (L_T) está localizada em sua maioria à direita da linha de referência (L_R). Em contrapartida, as linhas 1, 3, 6 e 7 apresentam fator maior que 1, inferindo que a linha teste (L_T) se encontra em sua maioria à esquerda da linha de referência (L_R). Seguindo a metodologia apresentada por Ramirez (2000), os resultados são inconclusivos para os dados encontrados.

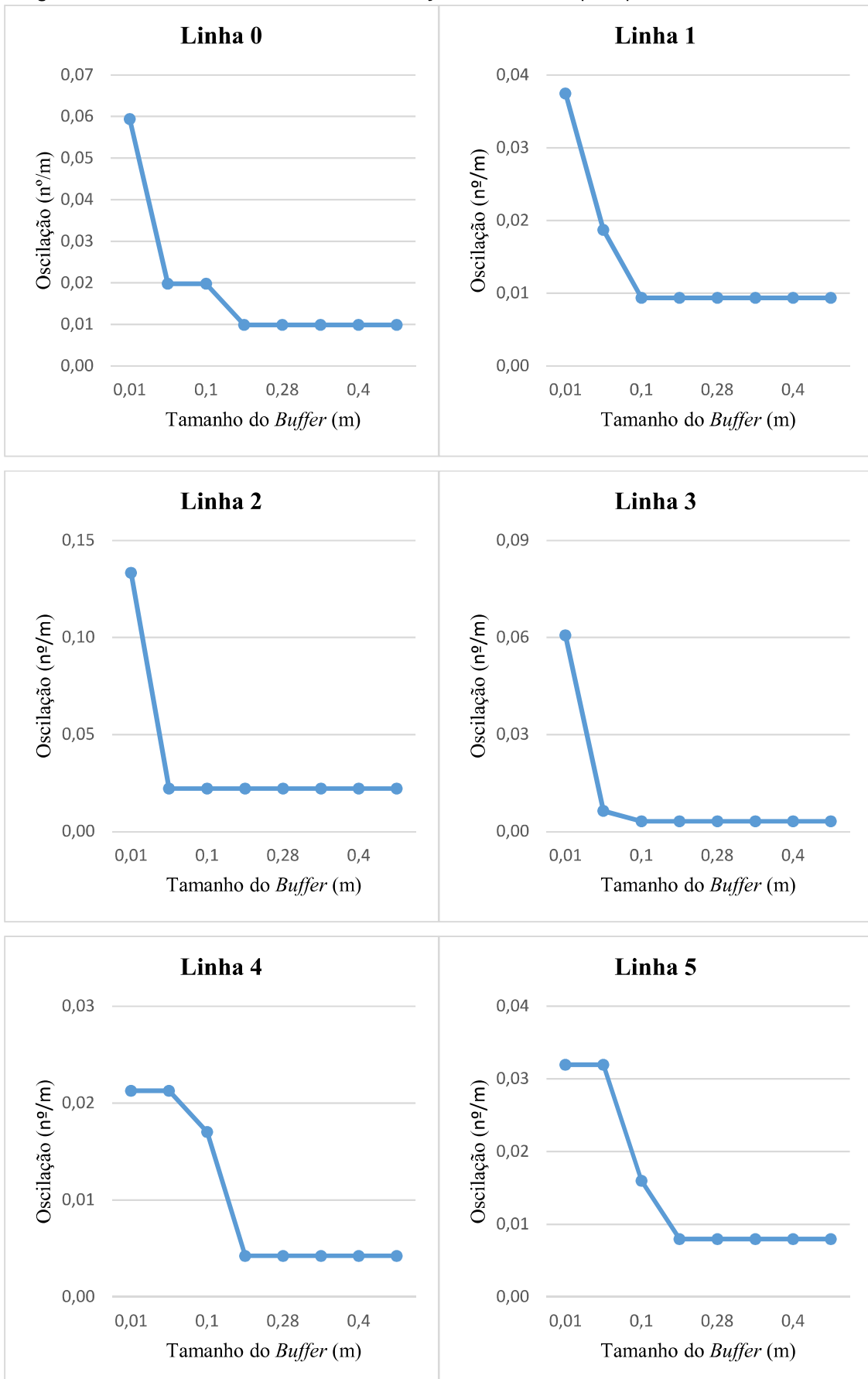
Tabela 7 - Resultados do método de Fator de *Bias* no conjunto de amostras.

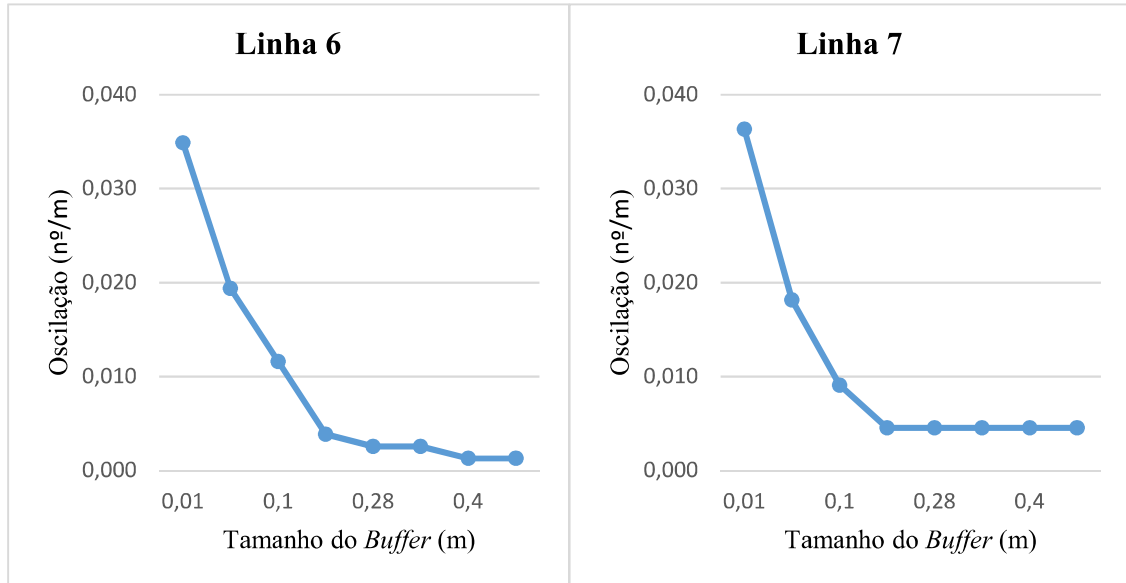
Linhas	Σ dos segmentos localizados à Direita (m)	Σ dos segmentos localizados Esquerda (m)	Fator de <i>Bias</i>
linha0	66,9610	34,1201	0,51
linha1	8,4756	98,3479	11,60
linha2	30,5862	14,4351	0,47
linha3	151,7000	161,5600	1,06
linha4	199,8700	35,1330	0,18
linha5	117,3000	7,9000	0,07
linha6	315,4000	458,9000	1,45
linha7	104,1300	116,0400	1,11

Fonte: Os autores (2022).

Os resultados correspondentes ao método de Oscilação do *Buffer Duplo* são apresentados no Figura 10. Aplicando-se diferentes tamanhos de *buffers* verifica-se que os resultados de todo o conjunto de amostra apresentaram comportamentos descendentes até se estabilizarem. Segundo Mozas-Calvachi (2007) o comportamento reflete a presença de erros aleatórios, ou seja, sem a presença de tendência nos dados.

Figura 10 - Resultado do método de Oscilação do *Buffer* Duplo aplicados aos dados reais.





Fonte: Os autores (2022).

Na análise de tendência pelo método da Influência do Vértice foi aplicada a estatística do teste *t* de *student* para o conjunto de amostras de dados simulados como demonstrado pela Tabela 8. Todas as linhas, exceto a linha 7, apresentaram tendência nos dados.

Tabela 8 - Resultados do método da Influência do Vértice no conjunto de amostras.

Linhas	Teste <i>t</i> de <i>student</i>
Linha 0	Tendencioso
Linha 1	Tendencioso
Linha 2	Tendencioso
Linha 3	Tendencioso
Linha 4	Tendencioso
Linha 5	Tendencioso
Linha 6	Tendencioso
Linha 7	Não Tendencioso

Fonte: Os autores (2022).

Diante dos resultados a Tabela 9 mostra uma visão global dos diferentes aspectos entre os métodos avaliados no conjunto de dados reais.

Tabela 9 - Análise geral dos diferentes métodos avaliados no conjunto de dados reais.

Nome da linha	Fator de <i>Bias</i>	Oscilação do <i>Buffer Duplo</i>	Influência do Vértice
Linha 0	Inconclusivo. Este caso não é abrangido pela metodologia do autor.	Não Tendencioso	Tendencioso
Linha 1	Inconclusivo. Este caso não é abrangido pela metodologia do autor.	Não Tendencioso	Tendencioso
Linha 2	Inconclusivo. Este caso não é abrangido pela metodologia do autor.	Não Tendencioso	Tendencioso
Linha 3	Inconclusivo. Este caso não é abrangido pela metodologia do autor.	Não Tendencioso	Tendencioso
Linha 4	Inconclusivo. Este caso não é abrangido pela metodologia do autor.	Não Tendencioso	Tendencioso
Linha 5	Inconclusivo. Este caso não é abrangido pela metodologia do autor.	Não Tendencioso	Tendencioso
Linha 6	Inconclusivo. Este caso não é abrangido pela metodologia do autor.	Não Tendencioso	Tendencioso
Linha 7	Inconclusivo. Este caso não é abrangido pela metodologia do autor.	Não Tendencioso	Não Tendencioso

Fonte: Os autores (2022).

Diante dos resultados encontrados aplicando-se os métodos propostos é notório que os resultados foram inconsistentes entre si, dado que a aplicação de cada método apresentou respostas distintas.

Verifica-se também que tanto nos dados simulados quanto nos reais, quando a linha teste (L_T) cruza a linha de referência (L_R) em efeito zigue-zague (erro aleatório) o método do Fator do *Bias* gera resultados inconclusivos e pelo método de Oscilação do *Buffer Duplo* não apresenta tendência nos resultados.

5. CONCLUSÕES

Este trabalho buscou descrever metodologicamente a aplicação e eficácia dos métodos de análise de tendência: Fator de *Bias*, Oscilação do *Buffer Duplo* e Influência do Vértice em feições lineares para o controle de qualidade de bases cartográficas. Diante dos resultados encontrados percebe-se que o método da Influência do Vértice foi o mais eficiente para os cenários apresentados.

O experimento com dados simulados possibilitou atestar a eficiência dos métodos de tendência utilizando feições lineares. Em suma, os resultados mostram que esses três métodos descrevem diferentes características na análise de tendência em feições lineares.

O método do Fator de *Bias* obtém uma indicação de tendência baseado na localização da linha teste em relação à linha de referência. O método detecta a presença de erros sistemáticos quando a linha teste está localizada em sua totalidade à direita ou à esquerda da linha de referência. Nas situações onde a linha teste intercepta a linha de referência, nada se pode concluir sobre a existência de erros sistemáticos. Outro ponto de destaque é que o método supracitado é sensível a presença de *outliers*.

No método de Oscilação do *Buffer Duplo* foram aplicados diferentes tamanhos de *buffers* no conjunto de amostras. Estas aplicações, quando representadas em um gráfico, podem expressar três características: ascendentes, descendentes ou constantes. Quando representadas por um gráfico ascendente ou constante, as oscilações indicam a existência de erros sistemáticos e quando representadas por um gráfico descendente indicam a inexistência de tendência nos dados. Nas situações onde a linha teste apresenta erro de escala ou nas situações onde houve translação nos dados sem tocar a linha de referência o gráfico da análise com o método de Oscilação do *Buffer Duplo* será representado por linhas constantes, o que reflete a existência de erros sistemáticos no conjunto de amostras. Destaca-se também que o método é sensível a duas situações: quando há presença de *outliers* e quando a linha teste apresentar uma translação tocando na linha de referência. Nestes casos o gráfico será decrescente, não trazendo veracidade nos resultados.

Para a análise de tendências em dados espaciais pelo método da Influência do Vértice, pode-se verificar que o método analisa os pontos dos vértices para aplicação do teste *t* de *Student*, podendo gerar conclusões que fiquem aquém do esperado

quando a quantidade dos vértices não é representativa na linha de referência. Assim, recomenda-se estudos para segmentação das linhas, de modo que a quantidade de pontos para a análise seja significativa.

No que concerne à análise de tendência, pode-se afirmar que os métodos não atenderam com êxito os resultados esperados apresentando inconsistência entre si quando testados em dados reais e nos dados simulados. Neste sentido, faz-se necessário estudos de novas técnicas ou de melhorias nas técnicas existentes para análise de tendências em feições lineares.

Para trabalhos futuros propõe a aplicação da técnica de simulação de Monte Carlo de forma a definir um intervalo admissível nos casos em que a linha teste se alterna entre os lados direito e esquerdo da linha de referência, na aplicação do método do Fator de *Bias*.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIZA-LÓPEZ, F.J. **Calidad en la Producción Cartográfica**, RA-MA, Madrid. ISBN 84-7897-524-1. 389 p., 2002a.

DAL POZ, A. P.; GALO, M.; FERREIRA, F. M. **Metodologias para a avaliação geométrica de feições cartográficas**, *In: II Colóquio Brasileiro de Ciências Geodésicas*. Curitiba – PR, Universidade Federal do Paraná, 2001.

ESTER M., FROMMELT A., KRIEGEL H.-P., and SANDER J. “**Algorithms for Characterization and Trend Detection in Spatial Databases**”, Proc. 4th Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining, New York City, NY, p.44-50, 1998.

FERREIRA, L. F.; CINTRA, J. P. Quantificação de discrepâncias entre feições lineares por retângulos equivalentes. **Revista Brasileira de Cartografia**, n° 51, p. 1-8, 1999.

FONSECA, I. G. R. DA. **Avaliação da acurácia posicional tridimensional utilizando feições lineares**. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa - UFV. Viçosa, 84 p., 2018.

GALO, M.; DAL POZ, A. P.; FERREIRA, F. M. **O uso de feições no controle de qualidade em cartografia**. *In: Anais do XX Congresso Brasileiro de Cartografia, ISPRS Commission VI - WG1 e 3° Seminário Latino-Americano de Educação e Transf. de Tecnologia em Fotogrametria*, Porto Alegre, 2001.

GALO, M., CAMARGO, P.O. **O Uso do GPS No Controle de Qualidade de Cartas**. *In: 1° Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico Multifinalitário*. Florianópolis, Brazil, 1994.

GOEMAN, W., MARTÍNEZ-FONTE, L., BELLENS, R., GAUTAMA, S. **Using image Statistics for automatic quality assessment of urban geospatial data.** *In:* International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, 2005.

LIMA, E. M.; THOMAZ, T. A. M.; SEVERO, T. C. **Mapeamento aerofotogramétrico digital utilizando fotografias de médio formato.** Monografia (Graduação em Engenharia Cartográfica) - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

LIMA, E. C. O. **Levantamento Pioneiro da SARA Brasil: Histórico, Tecnologia Empregada e Avaliação dos Produtos.** Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil, 212 p., 2012.

LUNETTA, R. S., CONGALTON, R.G., FENSTERMAKER, L. K., JESSEN, J. H., MCGWIRE, K. C. **Remote sensing and geographic information system data integration: error sources and research issues.** *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, 57, p. p.677-687, 1991.

MASRY, S. E.; GAUTHIER, J. R. R.; LEE, Y. C. **Accuracy and time comparisons of digital maps.** *In:* international test, 14th Congress of The International Society of Photogrammetry, Hamburg, Vol. 48, 11, p. 494-514, 1980.

MERCHANT, D.C. **Spacial Accuracy for Large Scale Line Maps.** *In:* Technical Congress of Surveying and Mapping, p. 222–31, 1982.

MOZAS-CALVACHI, A. T. C. **Control de La Calidad Posicional En Cartografía Por Elementos Lineales.** Jaén: Universidad de Jaén, Spain, 2007.

MOZAS-CALVACHI, A. T.; ARIZA-LÓPEZ F. J. New Method for Positional Quality Control in Cartography Based on Lines. A Comparative Study of Methodologies. **International Journal of Geographical Information Science**, Taylor e Francis: p.1681–95, 2011.

MONTGOMERY, D.C.; RUNGER, G.C. **Estatística aplicada e probabilidade para engenheiros. Tradução Verônica Calado.** – 2. Reimpr. – Rio de Janeiro: LTC, 2008.

NERO, M. A. **Proposta para Controle de qualidade de bases cartográficas com ênfase na componente posicional.** Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São paulo.186 p., 2005.

NERO, M. A.; CINTRA, J. P ; FERREIRA, G. F. ; PEREIRA, T. A. J. ; FARIA, T. S. A computational tool to evaluate the sample size in map positional accuracy. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, p.445-460, 2017.

FONSECA NETO, F., GRIPP JUNIOR, J, BOTELHO. M. F., SANTOS, A.P. NASCIMENTO, L.A, FONSECA, A. L. F. Assessment of positional quality in spatial data generated by VANT using point and linear feature for cadastre applications. **Boletim de Ciências Geodésicas** , pp. 134 – 149, 2017.

NOGUEIRA JÚNIOR, J. B. **Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica**. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP, Presidente Prudente, 147p, 2003.

RAMIREZ, J. **Quality Evaluation of Linear Features**, A white paper submitted to NIMA, 2000.

RAMIREZ, J.R. AND ALI, T. **Progress in metrics development to measure positional accuracy of spatial data**. *In: Proceedings of the 21st International Cartographic Conference (ICC)*. Durban, South Africa. p. 10-16, Aug 2003.

SANTOS, A. P.; **Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais com Uso de Estatística Espacial**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa - UFV. Viçosa, 128 p. 2010.

SANTOS, A. P.; MEDEIROS, N. G.; SANTOS, G. R.; RODRIGUES, D. D. Controle de qualidade posicional em dados espaciais utilizando feições lineares. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 21, p. 233-250, 2015.

SANTOS, A. P.; RODRIGUES, D. D.; SANTOS, N. T.; GRIPP JUNIOR, 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**, v. 22, n. 4, p. 630-650, 2016.

SILVA, M. V.; SCHULLER, C. A. B. Avaliação de dados planimétricos lidar para áreas urbanas: Recife - PE. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, p. 1103-1117, 2015.

SILVA, C. A.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S. SABADIA, J. A. B. Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS E LIDAR. BCG - **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 1, jan-mar, p. 73-94, 2016.

SZTUTMAN, P. **Análise da qualidade posicional das bases do Google Maps, Bing Maps e da Esri para referência espacial em projetos em SIG: aplicação para o município de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil, 182 p., 2014.

TVEITE, H.; LANGAAS, S. **Accuracy assessments of geographical line data sets, the case of the digital chart of the world**. *In: Proceedings of the 5th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Systems (ScanGIS'95)* (Trondheim: Department of Surveying and Mapping, University of Trondheim), p. 145–154, 1995.

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, p.27-47, 1999.

WONG, D. W. S.; LEE, J. **Statistical Analysis of Geographic Information with ArcView GIS and ArcGIS**. New York: John Wiley e Sons. 464 p., 2005.

ZANETTI, J.; GRIPP, J. 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**, v. 69, n. 2, 21 fev. 2017.

ZANETTI, J.; SANTOS, A. P.; MEDEIROS, N, G; OLIVEIRA, J. C. Avaliação da Acurácia Posicional Utilizando os Métodos de Feição Linear: Pontos Finais, Pontos Intermediários, Ponto Gerado, Influência do Vértice, Normalização do *Buffer* Duplo e Fator de *Fuzziness*. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 73, n. 1, 2021.

CAPÍTULO 3: MÉTODO TRS PARA DETECÇÃO DE TENDÊNCIA EM PRODUTOS CARTOGRÁFICOS UTILIZANDO FEIÇÕES LINEARES

Resumo: No controle de qualidade cartográfica sabe-se da importância da análise de tendência no conjunto de dados espaciais. No meio acadêmico e profissional, é visível a carência de estudos sobre detecção de tendência utilizando feições lineares, e os métodos existentes apresentam limitações quando aplicados em situações específicas. Neste sentido, este capítulo propõe o método *Translation, Rotation e Scale* (TRS) que utiliza estatística e análise vetorial para detecção de erros sistemáticos em um conjunto de dados espaciais analisando efeito de translação, rotação e escala. Para o experimento prático, realizou-se simulações de erros sistemáticos, onde os resultados mostraram a viabilidade do método na identificação dos efeitos de translação, rotação e escala em um produto cartográfico. Foi aplicado o método em dados reais, onde foi constatada a inexistência de tendência com efeito de translação, rotação ou escala no produto avaliado. Ao final, os resultados do método TRS foram confrontados com os resultados da metodologia clássica por pontos em que apresentaram resultados compatíveis, validando assim a metodologia apresentada. Como principal contribuição deste trabalho, tem-se a criação de um método eficiente para detecção e análise de tendência em feições lineares no controle de qualidade cartográfica.

Palavras-Chave: Tendência. Feições Lineares. Segmentação. Estatística. Vetor.

Abstract: In cartographic quality control, the importance of trend analysis in the spatial dataset is known. In academic and professional circles, the lack of studies on trend detection using linear features is visible, and existing methods have limitations when applied in specific situations. In this sense, this chapter proposes the Translation, Rotation and Scale (TRS) method that uses statistics and vector analysis to detect systematic errors in a set of spatial data analyzing the effect of translation, rotation and scale. For the practical experiment, simulations of systematic errors were carried out, where the results showed the viability of the method in identifying the effects of translation, rotation and scale in a cartographic product. The method was applied to

real data, where it was found that there was no tendency with translation, rotation or scale effect in the evaluated product. In the end, the results of the TRS method were compared with the results of the classical methodology by points where they presented compatible results, thus validating the presented methodology. The main contribution of this work is the creation of an efficient method for detecting and analyzing trends in linear features in cartographic quality control.

Keywords: Trend. Linear Features. Segmentation. Statistics. Vector.

1. INTRODUÇÃO

Ghilani e Wolf (2006) afirmam que na coleta de dados apresentam-se incertezas, seja por falta de refinamento nas leituras, instabilidades nas condições ambientais, imperfeições instrumentais ou limitações humanas. Essas incertezas resultam de condições físicas, geradas de forma sistemática ou com aparente aleatoriedade. Assim, segundo Mozas-Calvachi e Ariza-López (2014) um dado espacial pode ser afetado por efeitos aleatórios, sistemáticos e/ou erros grosseiros. Desta forma, é necessário a análise do controle de qualidade de modo a determinar e inferir a qualidade dos dados espaciais (MOZAS-CALVACHI e ARIZA-LÓPEZ, 2011).

Para Ghilani e Wolf (2006), erros grosseiros (*outliers*) são provocados por falhas ocasionais dos instrumentos e do observador, que devem ser detectados através de técnicas estatísticas e eliminados. Erros sistemáticos devem ser modelados, determinados e eliminados ou ao menos minimizados. Já os erros aleatórios também conhecidos por erros acidentais são incoerentes e ocasionados por diferentes causas que podem estar relacionadas ao momento de aquisição ou geração do dado, bem como mediante a causas temporais que variam durante observações sucessivas. Estes erros geralmente não seguem nenhuma lei física e, portanto, devem ser tratados de acordo com as leis matemáticas da probabilidade.

Segundo Merchant (1982) para a verificação da qualidade posicional de um produto cartográfico, deve-se realizar a análise estatística de tendência nos dados. Para Santos et al. (2016), a determinação de erros sistemáticos no controle de qualidade em dados espaciais é fundamental pois ao se utilizar um dado tendencioso pode-se gerar análises e decisões que não correspondem com a realidade. Os erros sistemáticos quando detectados em uma base de dados espaciais, podem ser eliminados ou minimizados, melhorando assim a qualidade do produto final.

Em processos de controle de qualidade posicional, Mozas-Calvachi e Ariza-López (2010) recomendam o uso de feições lineares de forma independente ou em conjunto com feições pontuais, dependendo das circunstâncias de cada caso, conforme justificativa apresentada no capítulo anterior.

Na literatura encontram-se diversos estudos voltados para a verificação de erros sistemáticos através de feições pontuais, como: Masry, Gauthier e Lee (1980), Merchant (1982), Tveite e Langaas (1995), Ariza-López (2002), Nogueira (2003), Nero (2005), Lima, Thomaz e Severo (2010), Lima (2012), Sztutman (2014), Silva e Schuller (2015), Silva et al. (2016), Nero et al. (2017).

Tveite e Langaas (1999) utilizam metodologias para detecção de erros sistemáticos mediante a avaliação da faixa média de oscilação, baseando-se na aplicação de *buffers* duplos entre feições lineares. Ramirez (2000) propõe o método do Fator de *Bias* tendo como propósito calcular a qualidade posicional entre as feições lineares, estimando o deslocamento da linha teste em relação a linha de referência. Já Mozas-Calvachi e Ariza-López (2011), baseia-se na obtenção da distância euclidiana a partir dos vértices da linha de referência para a linha teste. Contudo, os trabalhos citados apresentaram inconsistência entre si quando testados, conforme estudo dirigido no capítulo anterior.

Tem-se ainda trabalhos que analisam tendência em produtos cartográficos, mediante pontos coletados nas extremidades das feições lineares, como: Ramirez e Ali (2003), Mozas-Calvachi e Ariza-López (2011), Santos et al. (2015), Fonseca Neto et al. (2017), Zanetti et al. (2017). Entretanto, tais métodos utilizam apenas as extremidades das linhas.

Na maioria das literaturas de controle de qualidade cartográfica faz-se a análise de tendência considerando apenas a translação do conjunto de dados, como podem ser vistos nos trabalhos de Merchant (1982), Nero (2005), Lima (2012), Santos et al. (2016), Fonseca Neto et al. (2017), Nero et al. (2017), dentre outros. Entretanto, como apresentada por Ester et al. (1998), a tendência no dado espacial é definida como um padrão de mudança sistemática de um ou mais atributo ao se afastar de um objeto no espaço 2D ou 3D, ou seja, podendo considerar além do efeito sistemático de translação, o efeito sistemático de rotação e/ou efeito de escala.

Soma-se a isto, a ausência de normas ou padrões que regulamentam a análise de tendência em dados espaciais, principalmente aquelas com ênfase em feições

lineares. Logo, percebe-se a necessidade de desenvolver metodologias que visam avaliar o estudo dos efeitos sistemáticos em produtos cartográficos, tendo como base a análise de feições lineares.

Na estatística espacial há técnicas que analisam a presença de tendência nos dados através da Média Direcional e a Variância Circular tendo como objetivo a obtenção de uma medida de tendência central da direção de um conjunto de vetores, cujas componentes são as discrepâncias nas ordenadas e abscissas (WONG e LEE, 2005). Por outro lado, trabalhos de Kruse et al. (1993) e Hecker et al. (2008) utilizam-se da análise de vetores como medida de similaridade espectral onde dois espectros são comparados entre si e um nível de similaridade espectral é medido. Sendo assim, pode-se vislumbrar a possibilidade de utilização de técnicas da estatística espacial, bem como análise vetorial para detecção de erros sistemáticos em feições lineares.

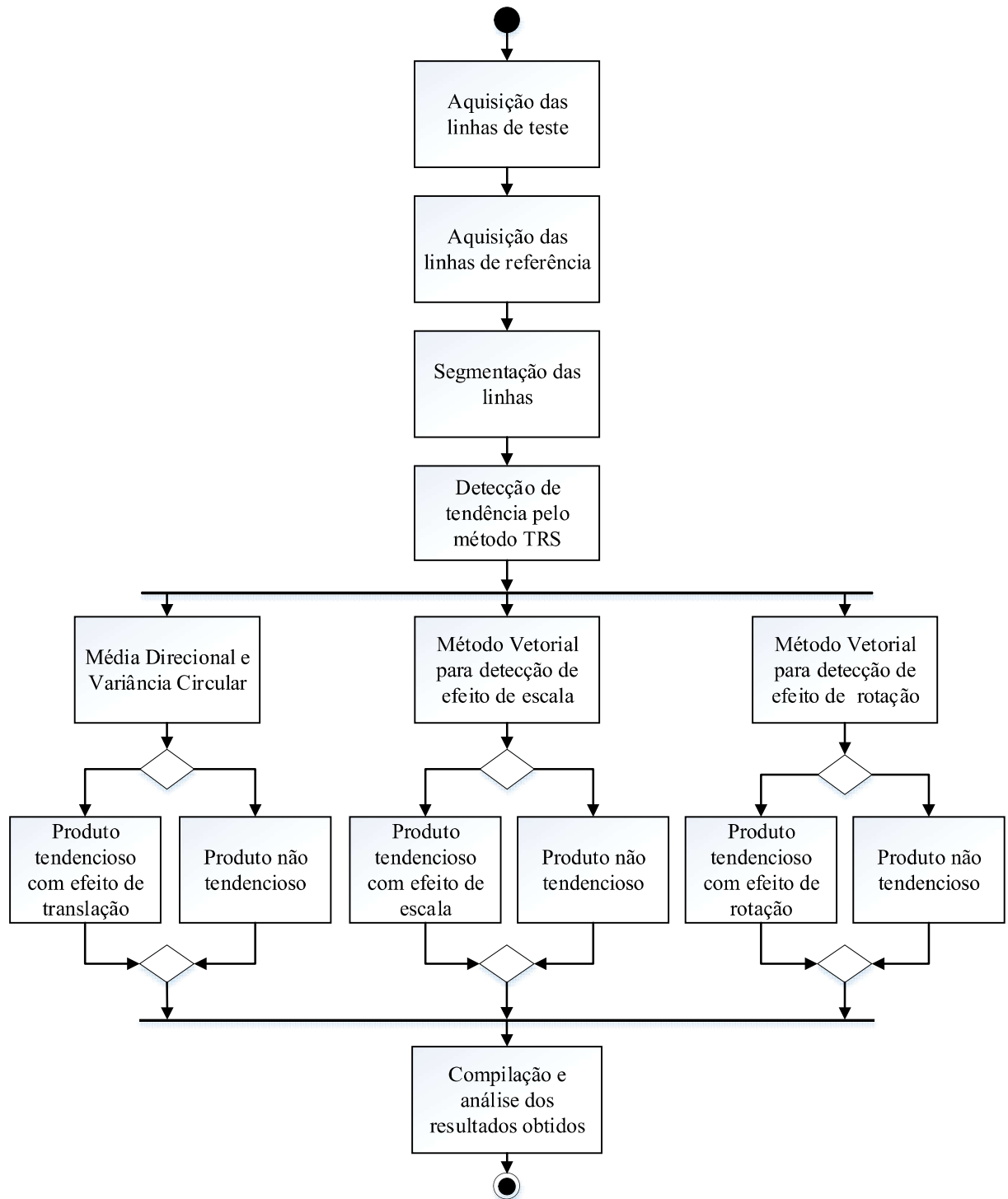
O objetivo deste capítulo é propor um método, aqui denominado TRS, para avaliação da tendência em feições lineares a partir da análise de translação, rotação e escala. Também será avaliado o desempenho do método TRS em dados simulados e em dados reais bem como realizar a comparação dos resultados obtidos com o método tradicional por pontos.

2. O MÉTODO TRS

O presente trabalho propõe o método *Translation, Rotation e Scale* (TRS) para detecção de erros sistemáticos utilizando feições lineares em produtos cartográficos. A Figura 1 apresenta as etapas do método proposto, onde, a partir das feições lineares de teste e feições de referência, sem a presença de *outliers*, é realizada a segmentação das linhas. Posteriormente é realizada a análise de tendência em três etapas: Método da Média Direcional e Variância Circular para detecção de efeito de translação; Método da Análise Vetorial para efeito de escala e para efeito de rotação.

Após a compilação e análise dos resultados encontrados é possível concluir se o produto apresenta ou não efeito sistemático bem como avaliar se há presença de efeitos relacionados à translação e/ou efeito de escala e/ou efeito de rotação. Caso o produto analisado constatar a presença de erros sistemáticos é possível a mensuração dos efeitos identificados.

Figura 1 - Fluxograma de atividades com diagrama de atividades da metodologia proposta.



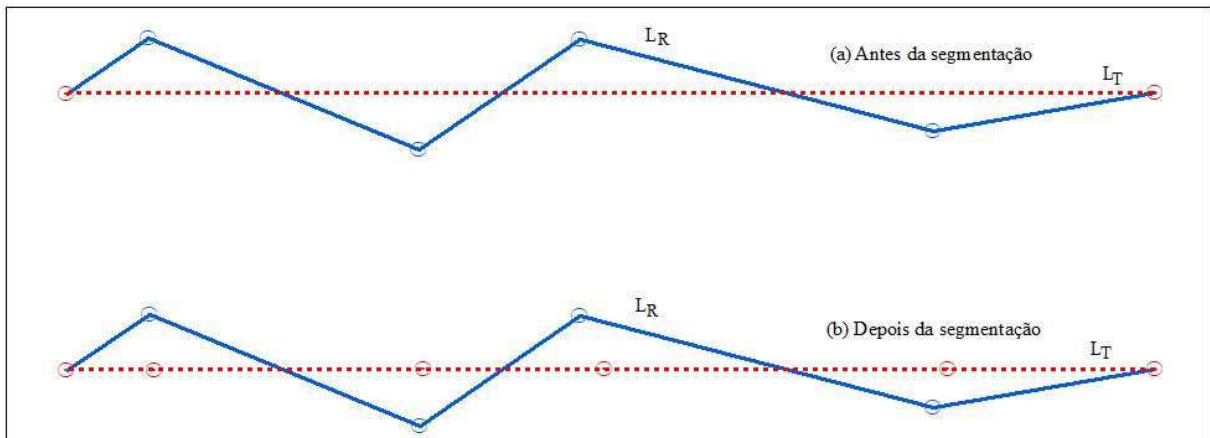
Fonte: Os autores (2022).

2.1 Segmentação das linhas

Este trabalho propõe a análise e segmentação das linhas da base de dados, de forma a produzir uma melhor estimativa para avaliação dos métodos de detecção dos efeitos sistemáticos em feições lineares.

Ao analisar um par de linhas homólogas (linhas de teste e de referência), identifica qual delas possui a menor quantidade de vértices. Em seguida deve-se dividi-la pela mesma quantidade de vértices, e com tamanhos proporcionais aos segmentos existentes na linha homóloga. A Figura 2.a apresenta a linha teste (L_T) na cor vermelha e a linha de referência (L_R) na cor azul. Verifica-se que a linha teste (L_T) apresenta menor quantidade de vértices comparado com a linha de referência (L_R), neste sentido deve-se dividir a linha de teste (L_T) pela mesma quantidade de vértices, e em tamanhos proporcionais, contidos na linha de referência (L_R), como ilustrado pela Figura 2.b.

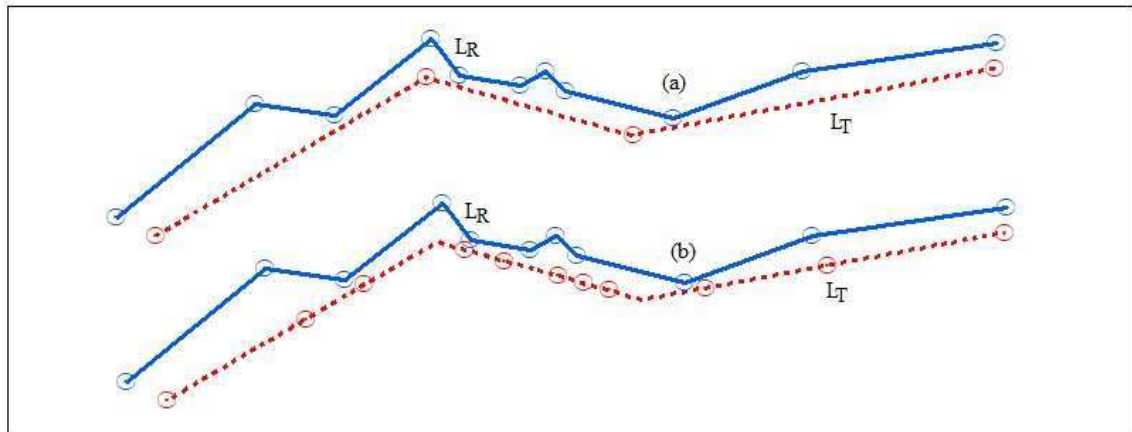
Figura 2 - Análise dos vértices de teste (L_T) e a linha de referência (L_R) no caso (a) e no caso (b) segmentação de pontos na linha de teste (L_T).



Fonte: Os autores (2022).

Podem-se encontrar casos em que a segmentação dos vértices não atenda de forma fidedigna como verifica-se pela Figura 3.a e Figura 3.b. No entanto a metodologia proposta trará uma maior assertividade na aplicação dos métodos de análise de tendência, visto que serão distribuídos pontos na linha de maneira a conter a mesma quantidade de vértices e em tamanhos proporcionais da linha que possui a maior quantidade de vértices.

Figura 3 - Análise do comportamento da linha de referência (L_R) e da linha teste (L_T) com diferentes performances no caso (a) e (b) segmentação de pontos na linha de teste (L_T).



Fonte: Os autores (2022).

2.2 Efeito de translação a partir da análise Média Direcional e Variância Circular

Segundo Lisboa (2019) a estatística é uma forte aliada no controle de qualidade espacial. Encontram-se na literatura diversos trabalhos na análise e representações de dados direcionais em diferentes áreas, como por exemplo, na entomologia (BRIGHENTI et al., 2014), na migração de pássaros, na direção de ventos e escoamentos glaciais (FISHER, 1993). Atkinson-Gordo (2005) avalia a estatística circular como uma ferramenta para análise de dados espaciais.

Santos et al. (2016) propõe a utilização de duas estatísticas espaciais que permitem identificar presença de efeitos sistemáticos (tendências) em dados espaciais, chamadas de Média Direcional e Variância Circular. A vantagem destas duas estatísticas espaciais na análise de tendência é que a amostra analisada não precisa seguir a distribuição normal. Vale ressaltar que Santos et al. (2016) aplicou estas estatísticas em dados pontuais.

De posse dos vértices da linha de referência (L_R) e seus correspondentes da linha teste (L_T), o presente estudo propõe a realização do traçado dos vetores ligando cada ponto. A partir destes vetores, calcula-se a Média Direcional (θ_R) através da arco tangente da razão entre o somatório dos senos dos azimutes (θ_v) dos vetores de discrepâncias posicionais e o somatório do cosseno dos azimutes dos vetores de discrepâncias posicionais (Equação 1) (JAMMALAMADAKA e SENGUPTA, 2001).

$$\theta_R = \arctg\left(\frac{\sum \text{sen}(\theta_v)}{\sum \text{cos}(\theta_v)}\right) \quad (1)$$

sendo:

θ_v : Azimute do vetor na sua origem, ou seja, é o ângulo horário que se inicia no eixo de referência (Norte) até o alinhamento do vetor.

A aplicação da Média Direcional (θ_R) tem como propósito calcular uma tendência central da direção de um conjunto de vetores de discrepâncias posicionais, contudo não é capaz de distinguir a variabilidade desta direção. De forma a suprir esta lacuna pode-se aplicar o método da Variância Circular, com o objetivo de analisar se a Média Direcional é significativa ou não. Este método é calculado a partir do comprimento do vetor resultante (C_R) como apresentado pela Equação 02 (WONG e LEE, 2005; SANTOS, 2010).

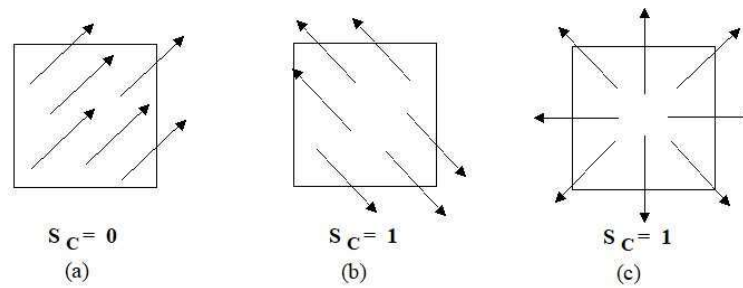
$$C_R = \sqrt{(\sum \cos\theta_v)^2 + (\sum \sin\theta_v)^2} \quad (2)$$

A Variância Circular (S_c) é obtida através do comprimento do vetor resultante e do número de vetores (n), conforme a Equação 3. Segundo Zanetti et al. (2016) a Variância Circular varia de 0 a 1; valores próximos de zero indicam que os vetores analisados estão na mesma direção (presença de tendência), já os valores próximos a 1 indicam direções opostas (não há tendência).

$$S_c = 1 - \frac{C_R}{n} \quad (3)$$

Para Santos et al. (2016), se todos os vetores de discrepância posicional apresentarem mesma direção (Figura 4.a), a Variância Circular ($S_c = 0$) detecta uma tendência das discrepâncias posicionais, conseqüentemente a Média Direcional é representativa para os vetores. Quando as direções dos vetores são opostas, mostra que a Média Direcional não é representativa ($S_c = 1$), conforme ilustrado na Figura 4.b. Já a Figura 4.c ilustra o caso em que os vetores apresentam tendência radial, onde a determinação da Variância Circular e a Média Direcional não são indicadas.

Figura 4 - Análise de tendência utilizando a Média Direcional e a Variância Circular.



Fonte: Santos et al. (2016).

Para a aplicação do método da Média Direcional e Variância Circular, propõem-se as seguintes etapas:

- a) Selecionar uma amostra de n linhas homólogas de teste (L_T) e de referência (L_R);
- b) Em cada par de linhas homólogas (L_T e L_R) deve-se selecionar a linha com menor número de vértices e segmentá-la como apresentado no item 2.1.
- c) De posse de coordenadas dos vértices na linha teste (L_T) e na linha de referência (L_R), calcular a Média Direcional e Variância Circular a partir do conjunto de vetores obtidos pelos vértices homólogos presentes nas respectivas feições lineares (L_T e L_R) e avalia-se conforme os itens abaixo:
 - Variância Circular (S_C) $\leq 0,5$: O produto apresenta tendência com o quantitativo definido pela Média Direcional calculada;
 - Variância Circular (S_C) $> 0,5$: O produto não apresenta tendência.

Com base nas análises propostas pelos itens acima, será possível identificar se há tendência no produto cartográfico analisado, bem como identificar a respectiva Média Direcional da tendência identificada.

2.3 Efeito de escala a partir da Análise Vetorial

O conceito de vetores tem origem no século XIX, contribuindo em estudos realizados na mecânica, hidrodinâmica, óptica teórica e na teoria eletromagnética (REIS, 2016). Para Crowe (1967) os conceitos fundamentais da álgebra linear já eram sugeridos na antiga Grécia, mas é possível que as primeiras concepções de vetores estejam relacionadas a operação da adição pelo método do paralelogramo e, possivelmente, apresentadas em um trabalho de Aristóteles no período de 384-322

antes de Cristo.

Conceitos vetoriais são aplicados em diversas áreas de estudo. Na área da Ciência da Informação os dados representados em vetores multidimensionais têm sido usados com sucesso para a representação de documentos e consultas (SALTON, 1971; SALTON e MCGILL, 1983). Trabalhos como de Bodhankar (2004) utilizam a avaliação vetorial para aferir a variação do gradiente na topografia. Na física é empregado nas Leis de Newton e nos estudos de eletricidade (AZEVEDO, 2013).

No presente capítulo é proposto a análise do efeito de escala em feições lineares mediante o estudo do módulo do vetor resultante da linha de referência (L_R) e da linha teste (L_T). Se o módulo do vetor resultante da linha teste (L_T) for igual ao módulo do vetor resultante da linha de referência (L_R) pode-se concluir que a linha teste (L_T) não apresenta efeito de escala em relação a linha de referência (L_R). Por outro lado se o módulo do vetor resultante da linha teste (L_T) for diferente do módulo do vetor resultante da linha de referência (L_R) conclui-se que a linha teste (L_T) apresenta efeito de escala em relação a linha de referência (L_R).

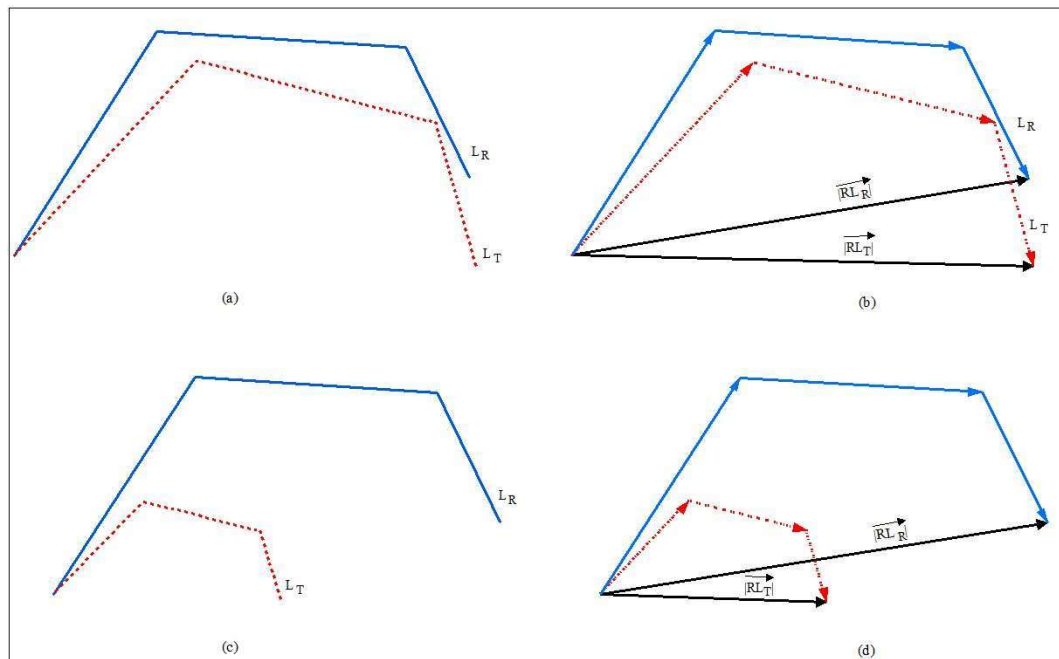
Através da Figura 5.a e Figura 5.b pode-se verificar que os módulos dos vetores resultantes em ambas as linhas apresentam a mesma resultante (\vec{R}) como pode ser visto na Equação 4. Dessa forma a linha teste (L_T) não apresenta efeito de escala em relação a linha de referência (L_R).

$$|\vec{R}_{LR}| = |\vec{R}_{LT}| \quad (4)$$

No caso da Figura 5.c e Figura 5.d nota-se que o módulo do vetor resultante da linha teste ($|\vec{R}_{LT}|$) é diferente do módulo do vetor resultante da linha de referência ($|\vec{R}_{LR}|$) como pode ser visto na Equação 5. Dessa forma pode-se concluir que a linha teste (L_T) apresenta efeito de escala em relação a linha de referência (L_R).

$$|\vec{R}_{LR}| \neq |\vec{R}_{LT}| \quad (5)$$

Figura 5 – No caso (a) e (b) a Linha Teste (L_T) em relação à Linha de Referência não apresenta efeito de escala. Já no caso (c) e (d) Linha Teste (L_T) apresenta efeito de escala em relação a Linha de Referência (L_R).



Fonte: Os autores (2022).

Dessa forma, para análise de erros sistemáticos ocasionados pelo efeito de escala em produtos cartográficos, propõem-se as seguintes etapas:

- Selecionar uma amostra de n linhas homólogas de teste (L_T) e de referência (L_R);
- Calcular o módulo do vetor resultante em cada linha teste (L_T) e referência (L_R) separadamente;
- Calcular o Fator de Escala (FE) conforme a Equação 6 para cada par de linha analisada e realizar a seguinte análise:

$$FE = \frac{|\overline{RL_R}|}{|\overline{RL_T}|} \quad (6)$$

- $0,9 \leq FE \leq 1,1$: A linha teste (L_T) não apresenta tendência com efeito de escala;
 - $FE < 0,9$ ou $FE > 1,1$: A linha teste (L_T) apresenta tendência com efeito de escala;
- Se 100% do conjunto de amostras do dado cartográfico não apresentarem tendência, pode-se concluir que o produto não apresenta tendência, caso contrário segue as análises.
 - Calcular a média ponderada (MP) do conjunto de amostras do dado

cartográfico utilizando os comprimentos das linhas de referência (L_R) como pesos (Equação 7):

$$MP = \frac{\sum_1^n (FE_x |\overrightarrow{R_{LR}}|)}{\sum_1^n |\overrightarrow{R_{LR}}|} \quad (7)$$

f) Para análise de tendência do produto é verificado se:

- $0,9 \leq MP \leq 1,1$: O produto não apresenta tendência com efeito de escala;
- $MP < 0,9$ ou $MP > 1,1$: O produto apresenta tendência com efeito de escala.

É importante ressaltar que os valores limítrofes para análise de tendência com efeito de escala foram definidos através de testes empíricos.

Com base nas análises propostas pelos itens acima, será possível identificar se há tendência com efeito de escala no produto cartográfico analisado, assim como calcular um fator médio deste efeito

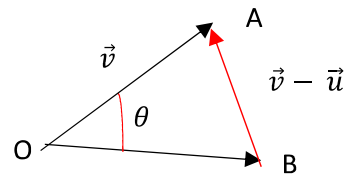
2.4 Efeito de Rotação a partir da Análise Vetorial

Vetores têm sido utilizados por mais de um século na área da engenharia, matemática, física e outras ciências (WANG e PULLAR, 2005). No modelo de espaço vetorial, a medida tradicional de cosseno é comumente usada para determinar a similaridade entre dois objetos representados como vetores (SIDOROV et al., 2014).

No presente estudo a metodologia proposta apresenta uma adaptação da lei dos cossenos para que seja possível identificar a presença ou não do efeito de rotação em produtos cartográficos.

Considerando os vetores $\vec{u} = \overrightarrow{OB}$ e $\vec{v} = \overrightarrow{OA}$, o ângulo θ formado entre eles, a variação de $0 \leq \theta \leq \pi$ conforme ilustrado na Figura 6, aplica-se a Lei dos cossenos conforme a Equação 8:

Figura 6 - Exemplo de um triângulo.



Fonte: \vec{u} s autores (2022).

Aplicando-se a lei dos cossenos no triângulo $A\hat{O}B$:

$$|v - u|^2 = |u|^2 + |v|^2 - 2 \cdot |u| \cdot |v| \cdot \cos\theta \quad (8)$$

Com base na equação da Lei dos cossenos, pode-se encontrar o ângulo θ entre os vetores analisados mediante a Equação 9.

$$\begin{aligned} |v - u|^2 &= |u|^2 - 2\vec{u} \cdot \vec{v} + |v|^2 \\ |u|^2 - 2\vec{u} \cdot \vec{v} + |v|^2 &= |u|^2 + |v|^2 - 2 \cdot |u| \cdot |v| \cdot \cos\theta \end{aligned}$$

$$\vec{u} \cdot \vec{v} = |u| \cdot |v| \cdot \cos\theta$$

$$\cos\theta = \frac{\vec{u} \cdot \vec{v}}{|u| \cdot |v|} \quad (9)$$

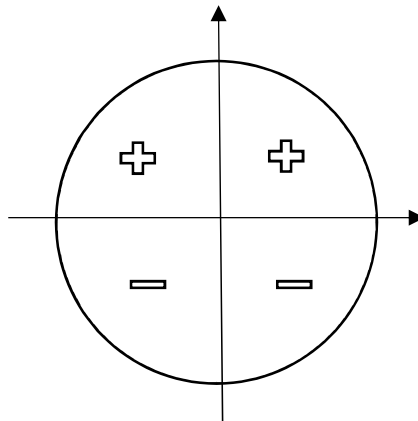
$$\theta = \cos^{-1} \frac{\vec{u} \cdot \vec{v}}{|u| \cdot |v|}$$

Dessa forma, após obter o ângulo θ sugere-se realizar a análise do sinal aplicando o seno. A função seno é uma função periódica cujo período é 2π e expressa na Equação 10:

$$f(x) = \text{sen } x \quad (10)$$

Segundo Oliveira (2013), em um círculo trigonométrico (Figura 7), o sinal da função seno é positivo (crescente) quando x pertencer ao primeiro e segundo quadrantes. Já no terceiro e quarto quadrante, o sinal é negativo (decrescente), podendo-se assim encontrar a direção (Figura 7).

Figura 7 - Análise do sinal do seno do ângulo no círculo trigonométrico.



Fonte: Os autores (2022).

Para analisar efeito de rotação entre as linhas de teste e referência, propõem-se as seguintes etapas:

- a) Selecionar uma amostra de n linhas homólogas de teste (L_T) e de referência (L_R);
- b) Selecionar a linha com menor número de vértices e segmentá-la como apresentado no item 2.1.
- c) Para cada vértice na linha teste (L_T) e na linha de referência (L_R), calcular o vetor correspondente.
- d) Em seguida, calcular o ângulo (θ) entre os vetores a partir da Equação 9;
- e) De posse dos ângulos obtidos no item d), analisar a direção através do seno dos ângulos encontrados;
- f) Por fim, para análise do conjunto de linhas extraídas do produto cartográfico, calcula-se a média ponderada (Equação 11) de todos os valores encontrados no item e), utilizando-se dos comprimentos das linhas de referência (L_R) como pesos e, em seguida, analisar:
 - $-0,1 \leq MP \leq 0,1$: O produto não apresenta tendência com efeito de rotação;
 - $MP < -0,1$ ou $MP > 0,1$: O produto apresenta tendência com efeito de rotação. Sendo que para o sinal positivo a tendência se encontra na direção entre 0° e 90° e quando o sinal for negativo a tendência se encontrará na direção entre 0° e -90° .

$$MP = \frac{\sum_1^n (\text{Sen}(\theta) \times C_{LR})}{\sum_1^n C_{LR}} \quad (11)$$

em que:

C_{LR} : Comprimento da linha de referência (L_R).

θ : Ângulo entre os vetores.

Da mesma forma abordada no tópico anterior, os valores limítrofes para análise de tendência com efeito de rotação, foram definidos por testes empíricos.

Com base nas análises propostas pelos itens acima, será possível identificar tendência com efeito de rotação no produto cartográfico analisado, assim como identificar direção do efeito.


3. EXPERIMENTOS

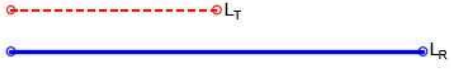
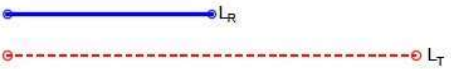

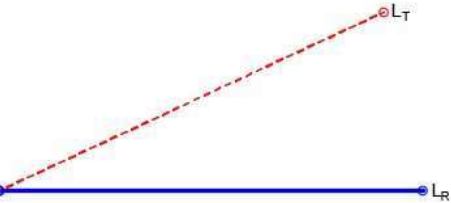
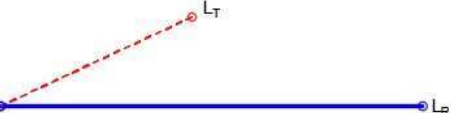
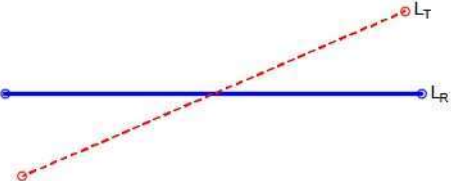
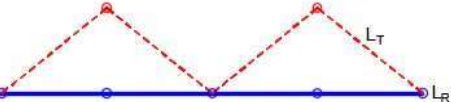
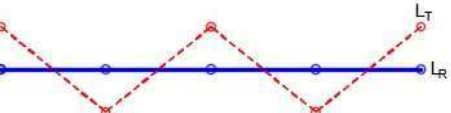
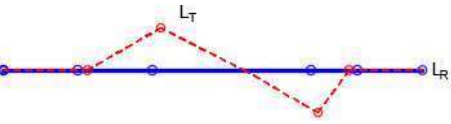
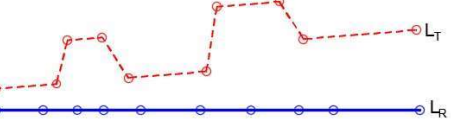
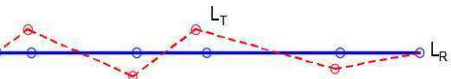
Os experimentos realizados consistem na análise da eficiência do método TRS proposto para detecção de tendência em feições lineares extraídas de dados simulados e reais. Os tópicos a seguir apresentam uma descrição para cada tipo de dado analisado.

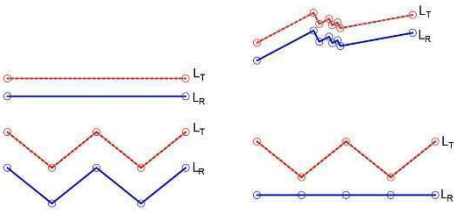
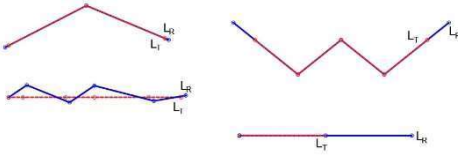
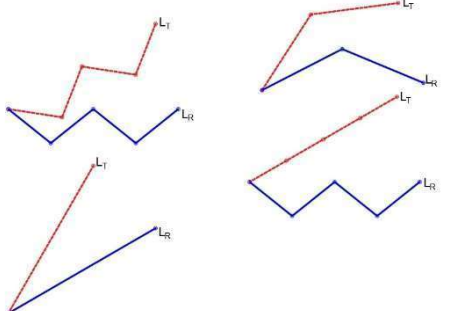
3.1 Dados Simulados

Inicialmente, para atestar o método TRS foi aplicado em doze pares de feições lineares separadamente e posteriormente em três conjuntos de linhas criadas em ambiente SIG. Os pares apresentam informações com diferentes características simulando erros sistemáticos com efeito de translação, rotação e escala como também erros aleatórios. A Tabela 1 mostra o conjunto de feições lineares simuladas, onde as linhas teste (L_T) estão representadas na cor vermelha, e as linhas de referência (L_R) na cor azul.

Tabela 1 - Conjunto de linhas de teste e referência que foram simuladas.

Nome da linha	Descrição da linha	Ilustração
Linha 1	Linha teste apresenta deslocamento apenas acima da linha de referência, simulando efeito de translação.	

<p>Linha 2</p>	<p>Linha teste apresenta deslocamento apenas acima da linha de referência, simulando efeito de translação e fator de escala.</p>	
<p>Linha 3</p>	<p>Linha teste apresenta deslocamento apenas abaixo da linha de referência, simulando efeito de translação e fator de escala.</p>	
<p>Linha 4</p>	<p>Linha teste sobreposta a linha de referência, simulando o fator de escala.</p>	
<p>Linha 5</p>	<p>Linha teste acima da linha de referência simulando efeito de rotação.</p>	
<p>Linha 6</p>	<p>Linha teste acima da linha de referência simulando efeito de rotação e fator de escala.</p>	
<p>Linha 7</p>	<p>Linha teste acima e abaixo da linha de referência simulando efeito de rotação.</p>	
<p>Linha 8</p>	<p>Linha teste acima da linha de referência tocando duas vezes na linha de referência.</p>	
<p>Linha 9</p>	<p>Linha teste encontra-se acima e abaixo da linha de referência simulando efeito de zigue-zague.</p>	
<p>Linha 10</p>	<p>Linha teste encontra-se acima e abaixo da linha de referência, mantendo-se constante em parte do segmento.</p>	
<p>Linha 11</p>	<p>Linha teste apresenta-se acima da linha de referência simulando efeito de rotação e translação.</p>	
<p>Linha 12</p>	<p>Linha teste encontra-se acima e abaixo da linha de referência.</p>	

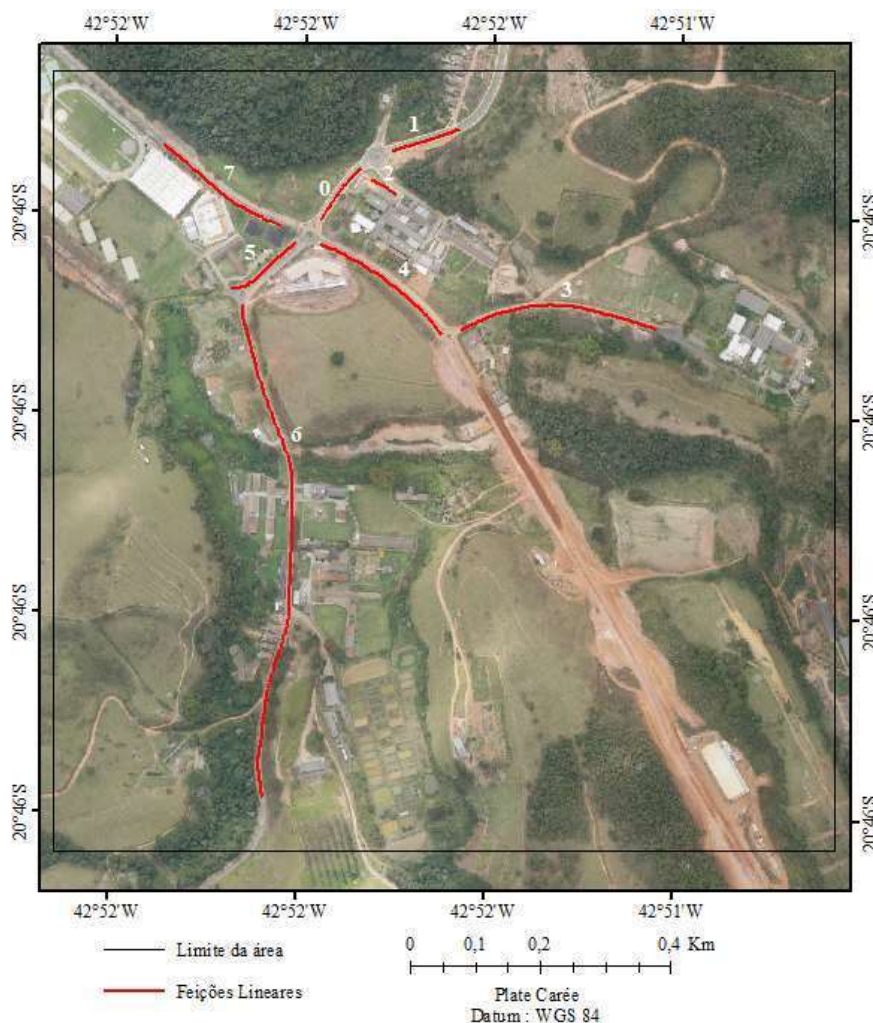
<p>Conjunto de Linhas 1</p>	<p>Conjunto de quatro linhas teste transladadas acima da linha de referência.</p>	
<p>Conjunto de Linhas 2</p>	<p>Conjunto de quatro linhas teste que apresentam efeito de escala em relação a linha de referência.</p>	
<p>Conjunto de Linhas 3</p>	<p>Conjunto de quatro linhas teste que apresentam efeito de rotação em relação a linha de referência.</p>	

Fonte: Os autores (2022).

3.2 Dados Reais

Foi aplicado o método TRS para análise de tendência em um conjunto de dados reais. Para tal, foi utilizado um conjunto de feições lineares de referência obtidas em campo e seus homólogos extraídos a partir do ortomosaico como representado na Figura 8. A área de estudo medindo aproximadamente 44ha, está localizada no Campus da Universidade Federal de Viçosa, município de Viçosa, estado de Minas Gerais.

Figura 8 - Localização das linhas utilizadas no processo de análise de tendência do ortomosaico no município de Viçosa-MG.



Fonte: Os autores (2022).

4. RESULTADOS E ANÁLISES

Neste tópico serão apresentados os resultados da aplicação do método TRS. Os resultados do efeito de translação, rotação e escala estão expostos de forma independente, de maneira a propiciar a visualização da detecção dos efeitos.

4.1 Dados Simulados

A Tabela 2 apresenta os resultados obtidos após a aplicação do método da Média Direcional e Variância Circular sobre o conjunto de dados simulados. Pode-se

verificar pelo método da Média Direcional e Variância Circular que as linhas 1, 2, 3, 5, 6, 8 e 11 apresentam tendência.

Nota-se que a análise identificou tendência nas linhas 1, 2, 3, 8 e 11 onde foi aplicado efeito de translação, e nas linhas 5 e 6 onde foi aplicado efeito de rotação. Nas linhas 4 e 7 o método não identificou tendência, apesar das linhas 4 e 7 conterem erro de escala e rotação respectivamente. Já nas linhas 9, 10 e 12, onde foram aplicados erros aleatórios, não foi identificado tendência.

Verifica-se ainda que o método da Média Direcional e Variância Circular detectou tendência nos conjuntos de linhas 1 e 3, porém não detectou tendência no conjunto de linha 2.

Tabela 2 - Resultados do método da Média Direcional e Variância Circular.

Linhas	Média Direcional	Variância Circular	Resultado	Resultado esperado
Linha 1	0°	0	Tendencioso	Tendencioso com efeito de translação
Linha 2	320,65°	0,23	Tendencioso	Tendencioso com efeito de translação e fator de escala
Linha 3	140,65°	0,23	Tendencioso	Tendencioso com efeito de translação e fator de escala
Linha 4	180°	0,99	Não Tendencioso	Tendencioso com efeito de escala
Linha 5	353,80°	0,01	Tendencioso	Tendencioso com efeito de rotação.
Linha 6	325,50°	0,18	Tendencioso	Tendencioso com efeito de rotação e fator de escala
Linha 7	258,37°	1,00	Não Tendencioso	Tendencioso com efeito de rotação.
Linha 8	0°	0	Tendencioso	Tendencioso com efeito de translação
Linha 9	360°	0,8	Não Tendencioso	Não Tendencioso
Linha 10	329,58°	0,62	Não Tendencioso	Não Tendencioso
Linha 11	354,41°	0,03	Tendencioso	Tendencioso com efeito de rotação e translação.
Linha 12	10,06°	0,66	Não Tendencioso	Não Tendencioso
Conjunto de Linhas 1	359,03°	0	Tendencioso	Tendencioso com efeito de translação

Conjunto de Linhas 2	340,13°	0,7	Não Tendencioso	Tendencioso com efeito de escala
Conjunto de Linhas 3	349,65°	0	Tendencioso	Tendencioso com efeito de rotação

Fonte: Os autores (2022).

Os resultados obtidos pela Análise Vetorial para detecção de tendência com efeito de escala nos dados simulados estão apresentados na Tabela 3. Pode-se verificar que as linhas 2, 3, 4 e 6 apresentam tendência com efeito de escala. Já as linhas 1, 5, 7, 8, 9, 10, 11 e 12 não apresentam tendência com efeito de escala. Verifica-se também que o método não detectou tendência no conjunto de linhas 1 e 3 por ter apresentado fator de escala igual a 1. Já no conjunto de linhas 2 foi verificado que o método detectou tendência significativa. Assim tem-se um fator médio deste efeito de 1,33.

Tabela 3 - Resultados do método da Análise Vetorial para detecção de efeito de escala.

Linhas	Média Ponderada do Fator de Escala (FE)	Resultado	Resultado esperado
Linha 1	1	Não tendencioso. Não apresenta efeito de escala ($FE=1$)	Tendencioso com efeito de translação
Linha 2	2	Tendencioso. Apresenta efeito de escala, com fator médio deste efeito igual a 2	Tendencioso com efeito de translação e fator de escala
Linha 3	0,5	Tendencioso. Apresenta efeito de escala, com fator médio deste efeito igual a 0,5	Tendencioso com efeito de translação e fator de escala
Linha 4	2	Tendencioso. Apresenta efeito de escala, com fator médio deste efeito igual a 2	Tendencioso com efeito de escala
Linha 5	1	Não tendencioso. Não apresenta efeito de escala ($FE=1$)	Tendencioso com efeito de rotação.
Linha 6	2	Tendencioso. Apresenta efeito de escala, com fator médio deste efeito igual a 2	Tendencioso com efeito de rotação e fator de escala
Linha 7	1	Não tendencioso. Não apresenta efeito de escala ($FE=1$)	Tendencioso com efeito de rotação.

Linha 8	1	Não tendencioso. Não apresenta efeito de escala ($FE=1$)	Tendencioso com efeito de translação
Linha 9	1	Não tendencioso. Não apresenta efeito de escala ($FE=1$)	Não Tendencioso
Linha 10	1	Não tendencioso. Não apresenta efeito de escala ($FE=1$)	Não Tendencioso
Linha 11	1	Não tendencioso. Não apresenta efeito de escala ($FE=1$)	Tendencioso com efeito de rotação e translação.
Linha 12	1	Não tendencioso. Não apresenta efeito de escala ($FE=1$)	Não Tendencioso
Conjunto de Linhas 1	1	Não tendencioso. Não apresenta efeito de escala ($FE=1$)	Tendencioso com efeito de translação
Conjunto de Linhas 2	1,33	Tendencioso. Apresenta efeito de escala, com fator médio deste efeito igual a 1,33	Tendencioso com efeito de escala
Conjunto de Linhas 3	1	Não tendencioso. Não apresenta efeito de escala ($FE=1$)	Tendencioso com efeito de rotação

Fonte: Os autores (2022).

A Tabela 4 apresenta os resultados obtidos após a aplicação da Análise Vetorial para detecção de tendência com efeito de rotação nos dados simulados. Pode-se verificar que as linhas 5, 6, 7 e 11 apresentam tendência com efeito de rotação. Já as linhas 1, 2, 3, 4, 8, 9, 10, e 12 não apresentam tendência com efeito de rotação.

Por fim, a Análise Vetorial para efeito de rotação verifica-se que o método não detectou tendência nos conjuntos de linhas 1 e 2. Outrossim, no conjunto de linhas 3 verifica-se que o método detectou tendência com efeito de rotação significativa. Pode-se ainda verificar que o efeito está na direção entre 0° e 90° .

Tabela 4 - Resultados do método da Análise Vetorial para detecção de efeito de rotação.

Linhas	Média Ponderada	Resultado	Resultado esperado
Linha 1	0	Não apresenta efeito de rotação	Tendencioso com efeito de translação
Linha 2	0	Não apresenta efeito de rotação	Tendencioso com efeito de translação e fator de escala
Linha 3	0	Não apresenta efeito de rotação	Tendencioso com efeito de translação e fator de escala
Linha 4	0	Não apresenta efeito de rotação	Tendencioso com efeito de escala

Linha 5	0,42	Apresenta efeito de rotação na direção entre 0° e 90°	Tendencioso com efeito de rotação.
Linha 6	0,42	Apresenta efeito de rotação na direção entre 0° e 90°	Tendencioso com efeito de rotação e fator de escala
Linha 7	0,39	Apresenta efeito de rotação na direção entre 0° e 90°	Tendencioso com efeito de rotação.
Linha 8	0	Não apresenta efeito de rotação	Tendencioso com efeito de translação
Linha 9	0	Não apresenta efeito de rotação	Não Tendencioso
Linha 10	0	Não apresenta efeito de rotação	Não Tendencioso
Linha 11	0,24	Apresenta efeito de rotação na direção entre 0° e 90°	Tendencioso com efeito de rotação e translação.
Linha 12	0	Não apresenta efeito de rotação	Não Tendencioso
Conjunto de Linhas 1	0	Não apresenta efeito de rotação	Tendencioso com efeito de translação
Conjunto de Linhas 2	0	Não apresenta efeito de rotação	Tendencioso com efeito de escala
Conjunto de Linhas 3	0,47	Apresenta efeito de rotação na direção entre 0° e 90°	Tendencioso com efeito de rotação

Fonte: Os autores (2022).

Mediante os resultados encontrados verifica-se que o método da Média Direcional e Variância Circular identificou tendência na maior parte dos casos onde há efeito de translação. O método também detecta tendência em alguns casos quando há apenas tendência com efeito de rotação como analisado nas linhas 5 e 6.

Nota-se que os métodos de efeito de escala e rotação identificam corretamente tendência nos casos em que há somente efeitos de escala e rotação. Nas linhas 2, 3, 4 e 6 foi também possível identificar o fator médio do efeito de escala, tendo-se na linha 2, 4 e 6 fator médio igual a 2 e na linha 3 fator médio igual a 0,5. Já nas linhas 5, 6, 7 e 11 foi possível identificar a direção do efeito de rotação variando entre 0° a 90°.

É importante ressaltar que nos casos em que mais de um tipo de efeito (translação, rotação ou escala) foi aplicado, o método TRS conseguiu identificar tendência nos dados, como analisado nas linhas 2, 3, 6 e 11. Já nas linhas 9, 10 e 12 onde foi aplicado erro aleatório, nenhum dos métodos identificou tendência.

4.2 Dados Reais

A Tabela 5 mostra os resultados encontrados aplicando-se o método TRS para o conjunto de dados reais.

Tabela 5 - Análise geral do método TRS em feições lineares aplicado nos dados reais.

Métodos	Dados reais
Média direcional e Variância Circular	Não apresenta tendência com efeito de translação (Média Direcional = 40,08° e Variância Circular = 0,9)
Efeito de Escala	Não apresenta tendência com efeito de escala ($FE=1$)
Efeito de Rotação	Não apresenta tendência com efeito de rotação ($MP = 0$).

Fonte: Os autores (2022).

Pode-se verificar que ao aplicar o método TRS no conjunto de dados reais, não detectou tendência nos resultados. Assim conclui-se que o produto não apresenta erros sistemáticos

A fim de comparação e validação do método TRS, foi realizada a análise de tendência utilizando o método tradicional por pontos. Foram selecionados os pontos iniciais e finais das feições de teste e das feições coletadas em campo. A partir destes pontos aplicou-se o método estatístico teste *t Student* com nível de significância de 10% em que não apresentou tendência nos resultados conforme apresentado na Tabela 6.

Tabela 6 - Análise geral do método teste *t Student* em feições pontuais aplicado nos dados reais.

Método	nº de pontos	t tabelado na componente x	t calculado na componente x	t tabelado na componente y	t calculado na componente y	Resultado
Teste <i>t Student</i>	16	1,753	0,708	1,753	-0,961	Não tendencioso

Fonte: Os autores (2022).

5. CONCLUSÃO

A detecção de erros sistemáticos que afetam um conjunto de dados espaciais é uma questão importante não só para determinar o tipo de erro, mas também para determinar seus efeitos e possíveis correções. O presente estudo teve como objetivo a análise e detecção de erros sistemáticos em um conjunto de dados espaciais a partir

de feições lineares, por ser uma alternativa com possibilidade de um maior conjunto de dados para a base analisada, além de serem normalmente bem distribuídas geometricamente no produto cartográfico.

Diante do presente estudo, percebe-se o potencial e a viabilidade prática proporcionada pela metodologia proposta para detecção de erros sistemáticos em feições lineares extraídas de produtos cartográficos.

Foram realizadas simulações onde intencionalmente foram aplicados efeitos de translação, rotação e fator de escala. A metodologia demonstrou sua eficácia para detectar a presença das perturbações incluídas nestes casos.

A metodologia demonstrou sua eficácia para detectar a presença das perturbações simuladas nas feições lineares. Especificamente, o método da Média Direcional e Variância Circular identifica tendência com êxito nos casos simulados com presença de translação e em alguns casos, onde foi simulada a rotação entre os dados de teste e referência. Nos casos onde as feições lineares foram simuladas com tendência relativo ao efeito de escala, e em alguns casos onde foi implementado tendência com efeito de rotação, a metodologia não apresentou o mesmo desempenho. Nota-se que para uma análise mais assertiva na detecção de erros sistemáticos em um conjunto de dados, se faz necessário agregar métodos complementares como a Análise Vetorial sugerida no presente estudo.

Na aplicação da Análise Vetorial verificou-se que os métodos identificaram tendência nos casos em que há presença de rotação e escala no conjunto dos dados avaliados e nos casos em que a presença de efeito de translação a aplicação da Análise Vetorial não detectou tendência. Dessa forma a Análise Vetorial complementa a investigação do produto analisando efeitos sistemáticos em que não é possível detectar pela Média Direcional e Variância Circular.

Para efeito de comparação do método TRS tendo por base o método tradicional por pontos, verifica-se que ambas as metodologias não detectaram tendência a partir do conjunto de amostras selecionadas. Nesse sentido verifica-se a eficiência do método TRS proposto no presente estudo.

Ressalta-se a necessidade de realizar-se a segmentação das linhas, como proposta no presente estudo, antes de aplicar os métodos da Média Direcional e Variância Circular e o método da Análise Vetorial para efeito de rotação de forma a obter uma correspondência entre as análises das linhas teste e das linhas de

referência.

Sugere-se como trabalhos futuros a adaptação desta metodologia para dados 3D, incluindo a análise de possíveis erros sistemáticos na componente Z.

Cabe ressaltar que o presente método quando aplicado em uma base de dados com maior número de elementos lineares o processo torna-se mais oneroso. Dessa forma sugere-se a utilização de apoio computacional para automatização dos processos.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ARIZA-LÓPEZ, F.J. **Calidad en la Producción Cartográfica**, RA-MA, Madrid. 389p, 2002a.

ATKINSON-GORDO, A. D. J. **Control de Calidad Posicional en Cartografía: Análisis de los principales estándares y propuesta de mejora**. Universidad de Jaén, Jaén – Espanha. 370p., 2005.

AZEVEDO, J. A. **O estudo dos Vetores e Suas Aplicações na Física**. Monografia (Graduação em Licenciatura Plena em Matemática) – Universidade Estadual do Mato Grosso, Faculdade de Ciências Exatas de Sinop, Campus Universitário de Sinop. Mato Grosso, 2013.

BODHANKAR, N. Application of vectors for suitability of landforms in siting surface water harvesting structures. **Journal Environmental Geology**, p.176 – 179, 2007.

BRIGHENTI, C. R. G.; BRIGHENTI, D. M.; MIRANDA, Y. S. S; OLIVEIRA, T. G. S. **Distribuição von Mises na avaliação de dados apícolas**. Arch Zootec. v.63, n.243, p.461-471,2014.

CROWE, M.J. **A History of Vector Analysis: The Evolution of the Idea of a Vectorial System**, Notre Dame: Notre Dame University Press, 1967.

ESTER M., FROMMELT A., KRIEGEL H.-P., and SANDER J. “**Algorithms for Characterization and Trend Detection in Spatial Databases**”, Proc. 4th Int. Conf. on Knowledge Discovery and Data Mining, New York City, NY, 1998, p. 44-50.

FISHER, N. I. **Statistical Analysis Of Circular Data**. UK: Cambridge University Press, 277p, 1993..

GHILANI, C. D.; WOLF, P. R. **Adjustment Computations: Spatial Data Analysis**. 4º Ed. Editora: John Wiley e Sons, 2006.

HECKER, C., VAN DER MEIJDE, M., VAN DER WERFF, H., VAN DER MEER, F.D. **Assessing the influence of reference spectra on synthetic SAM classification results**. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing, p.4162–4172, 2008.

JAMMALAMADAKA, S.R.; SENGUPTA, A. **Topics in Circular Statistics**. River Edge, N.J.: World Scientific, v.5, 319 p., 2001.

KRUSE, F.A., LEFKOFF, A.B., BOARDMAN, J.W., HEIDEBRECHT, K.B., SHAPIRO, A.T., BARLOON, P.J., GOETZ, A.F.H. **The spectral image processing system (SIPS) interactive visualization and analysis of imaging spectrometer data**. Remote Sens. Environ. p.145–163, 1993.

LIMA, E. M.; THOMAZ, T. A. M.; SEVERO, T. C. **Mapeamento aerofotogramétrico digital utilizando fotografias de médio formato**. Monografia (Graduação em Engenharia Cartográfica) - Instituto de Geociências. Universidade Federal do Rio Grande do Sul. Porto Alegre, 2010.

LIMA, E. C. O. **Levantamento Pioneiro da SARA Brasil: Histórico, Tecnologia Empregada e Avaliação dos Produtos**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo-SP, Brasil, 212p, 2012.

LISBOA, M. H. M.; **Avaliação Da Acurácia Posicional Tridimensional De Produtos Cartográficos Utilizando Um Elipsóide De Incertezas**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa - UFV. Viçosa, 112p. 2019.

MASRY, S. E.; GAUTHIER, J. R. R.; LEE, Y. C. **Accuracy and time comparisons of digital maps**. *In: international test, 14th Congress of The International Society of Photogrammetry, Hamburg, Vol. 48, 11, p. 494-514, 1980.*

MERCHANT, D. C. **Spatial accuracy standards for large scale line maps**. *In: American Congress on Surveying and Mapping, Technical Papers of the American Congress on Surveying and Mapping, v.1, 1982.*

MOZAS-CALVACHI, A. T.; ARIZA-LÓPEZ, F. J. Methodology for Positional Quality Control in Cartography Using Linear Features. **The Cartographic Journal**, p.371-378, 2010.

MOZAS-CALVACHI, A. T.; ARIZA-LÓPEZ F. J. New Method for Positional Quality Control in Cartography Based on Lines. A Comparative Study of Methodologies. **International Journal of Geographical Information Science**, Taylor e Francis: p.1681–95, 2011

MOZAS-CALVACHI, ANTONIO T., ARIZA-LÓPEZ F. J. **Detection of systematic displacements in spatial databases using linear elements**. Cartography and Geographic Information Science, vol.41, n. 4, p. 309-322, 2014.

NERO, M. A. **Proposta para Controle de qualidade de bases cartográficas com ênfase na componente posicional**. Tese (Doutorado). Escola Politécnica da Universidade de São paulo.186p, 2005.

NERO, M. A.; CINTRA, J. P. ; FERREIRA, G. F. ; PEREIRA, T. A. J. ; FARIA, T. S. A computational tool to evaluate the sample size in map positional accuracy. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 23, p. 445-460, 2017.

NOGUEIRA JÚNIOR, J. B. **Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica**. Dissertação (Mestrado – Programa de Pós-graduação em Ciências Cartográficas) – Faculdade de Ciências e Tecnologia – UNESP, Presidente Prudente, 147 p., 2003.

OLIVEIRA, Juliana Elvira Mendes de. **A Trigonometria na Educação Básica com foco em sua evolução histórica e suas aplicações contemporâneas**. Dissertação (Mestrado em Ensino de Matemática) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 144 p., 2013.

RAMIREZ, J. **Quality Evaluation of Linear Features**, A white paper submitted to NIMA, 2000.

RAMIREZ, J.R. AND ALI, T. **Progress in metrics development to measure positional accuracy of spatial data**. *In*: Proceedings of the 21st International Cartographic Conference (ICC). Durban, South Africa. p. 10-16, Aug 2003.

REIS, A. F. **Ensinando operações com grandezas físicas vetoriais no ensino médio através de uma unidade de ensino potencialmente significativa**. Dissertação (Mestrado Profissional de Ensino de Física) - Universidade Federal de São Carlos. Programa de Pós-Graduação PPG-PROFIS. 2016.

SALTON, G.; MCGILL, J. M. **Introduction to Modern Information Retrieval**. New York: McGraw-Hill, 1983.

SALTON, G. **The SMART retrieval system: experiments in automatic document processing**. Prentice-Hall 1971.

SANTOS, A. P.; **Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais com Uso de Estatística Espacial**. Tese (Mestrado em Engenharia Civil) – Universidade Federal de Viçosa - UFV. Viçosa, 128p. 2010.

SANTOS, A. P.; MEDEIROS, N, G, SANTOS, G, R; RODRIGUES, D, D; Controle de qualidade posicional em dados espaciais utilizando feições lineares. **Boletim de Ciências Geodésica**, v. 21, no 2, p. 233-250. Curitiba, 18 p. 2015.

SANTOS, A. P.; MEDEIROS, N, G, SANTOS, G, R; RODRIGUES, D, D; Avaliação da acurácia posicional planimétrica em modelos digitais de superfície com o uso de feições lineares. **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, no 1, p. 157-174. Curitiba, 2016.

SIDOROV, G., GELBUKH, A., GÓMEZ-ADORNO, H., PINTO, D. **Soft Similarity and Soft Cosine Measure: Similarity of Features in Vector Space Model**. *Computación y Sistemas* p.491–504, 2014.

SILVA, M. V.; SCHULLER, C. A. B. Avaliação de dados planimétricos lidar para áreas urbanas: Recife - PE. RBC. **Revista Brasileira de Cartografia**, v. 67, p. 1103-1117, 2015.

SILVA, C. A.; DUARTE, C. R.; SOUTO, M. V. S. SABADIA, J. A. B. Avaliação da acurácia do cálculo de volume de pilhas de rejeito utilizando VANT, GNSS E LIDAR. BCG - **Boletim de Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 1, jan-mar, 73-94 p., 2016.

SZTUTMAN, P. **Análise da qualidade posicional das bases do Google Maps, Bing Maps e da Esri para referência espacial em projetos em SIG: aplicação para o município de São Paulo**. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, São Paulo, Brasil, 182 p., 2014.

TVEITE, H.; LANGAAS, S. **Accuracy assessments of geographical line data sets, the case of the digital chart of the world**. In: Proceedings of the 5th Scandinavian Research Conference on Geographical Information Systems (ScanGIS'95) (Trondheim: Department of Surveying and Mapping, University of Trondheim), p. 145–154, 1995.

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, p.27-47, 1999.

WONG, D. W. S., LEE, J. **Statistic analysis of geographic information with ArcView GIS and ArcGIS**. Editora John Wiley e Sons, Inc., Hoboken, New Jersey. 2005.

WANG X., and PULLAR D. **Describing dynamic modeling for landscapes with vector map algebra in GIS**. Computers e Geosciences, p. 956–967, 2005.

ZANETTI, J.; PAULA, R. M.; SANTOS. A. P.; MEDEIROS, N.G. Avaliação da acurácia posicional planimétrica de ortoimagens disponibilizadas nos sistemas de informações geográficas. **Revista Brasileira de Cartografia**, n. 68/7 p. 1341-1352, 2016.

CONCLUSÕES GERAIS

O presente trabalho de pesquisa propôs uma metodologia para aplicações de alguns métodos existentes sendo eles: Pontos Finais, Pontos Intermediários, Ponto Gerado, Influência do Vértice, Normalização do *Buffer Duplo* e Fator de *Fuzziness*, para análise da acurácia posicional por meio de feições lineares utilizando como base o padrão brasileiro de acurácia posicional, o Decreto nº 89.817 de 1984, em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016), bem como avaliar a tendência em produtos cartográficos, a partir de feições lineares, por meio dos métodos: Fator de *Bias*, *Buffer Duplo* e Influência do Vértice. Finalmente, constatado que existem inconsistências nos resultados da aplicação dos métodos avaliados, esta pesquisa propôs o método TRS para análise de tendência em produtos cartográficos, a partir da utilização de feições lineares.

Fundamentando-se nas hipóteses levantadas, nos estudos apresentados e resultados obtidos nos capítulos anteriores sobre o tema proposto, apresentam-se as seguintes conclusões:

- O potencial e a viabilidade de utilização dos métodos: Fator de *Fuzziness*, Pontos Finais, Pontos Intermediários e Ponto Gerado para avaliação da acurácia posicional em dados espaciais que utilizam feições lineares tendo por base o padrão de acurácia posicional brasileiro definido pelo Decreto nº 89.817 (BRASIL, 1984) em conjunto com a ET-CQDG (DSG, 2016). O processo metodológico para a aplicação de tais métodos foi descrito detalhadamente, sendo relativamente simples sua execução em um ambiente de Sistema de Informações Geográficas, proporcionando outras alternativas para o controle de qualidade posicional em bases cartográficas utilizando feições lineares. Dentre os métodos avaliados, o Ponto Gerado e o método dos Pontos Intermediários apresentaram melhores resultados quando comparados aos métodos da Influência do Vértice, *Buffer Duplo* e Normalização do *Buffer Duplo*.
- No que concerne à descrição e análise da eficácia dos métodos: Fator de *Bias*, Oscilação do *Buffer Duplo* e Influência do Vértice para detecção e análise de tendência aplicados em feições lineares no processo de controle de qualidade posicional, verificaram-se inconsistências entre os métodos no conjunto de dados analisados, sendo aplicado em dados simulados e em dados reais.

- O método TRS para avaliação de tendência usando feições lineares, baseado na análise estatística e vetorial mostrou ser eficiente, já que apresentou resultados consistentes para a análise em dados simulados e em dados reais. Ressalta-se a viabilidade da aplicação do método TRS para análise de tendência existentes em feições lineares em que se avalia toda a feição linear e não apenas os pontos extremos do segmento, de modo a gerar resultados mais eficazes no produto cartográfico.

Com base nas considerações acima, conclui-se que este trabalho conseguiu atingir os objetivos propostos, gerando resultados coerentes e significativos no que tange o controle de qualidade posicional em dados espaciais utilizando-se feições lineares.

Ressalta-se que o presente estudo identificou como limitação a definição das tolerâncias por valores empíricos aplicados no método TRS. Com o objetivo de aperfeiçoar os estudos apresentados propõem para trabalhos futuros a utilização da técnica de simulação de Monte Carlo.

Como apresentado este estudo desenvolveu o método TRS que se mostrou eficiente e com resultados promissores tanto em simulações quanto nos dados reais, quando comparado à metodologia tradicional por pontos. Recomenda-se a aplicação destas metodologias em diferentes dados espaciais e regiões de estudo.

Recomenda-se também pesquisas no desenvolvimento de métodos para avaliação de tendência tridimensional (componente Z) utilizando feições lineares.