



Comparativo das normas de controle de qualidade posicional de produtos cartográficos do Brasil, da ASPRS e da OTAN

Comparison of positional quality control standards of cartographic products in Brazil, ASPRS and NATO

*Juliette Zanetti*¹
*Franciele Lúcia Silva Braga*²
*Afonso de Paula dos Santos*³

Recebido em agosto de 2017.
Aprovado em agosto de 2018.

RESUMO

Atualmente, devido à expansão de novas tecnologias para mapeamentos e compartilhamento de informações espaciais, a utilização do controle de qualidade cartográfica vem se tornando-se cada vez mais importante. Para avaliação da acurácia posicional de um produto cartográfico, deve-se seguir uma norma ou padrão de qualidade. Normalmente, cada país ou organização cria seu próprio padrão de qualidade; no Brasil, as avaliações de acurácia posicionais são baseadas no Decreto nº 89.817, sendo complementadas através da Especificação Técnica de Controle de Qualidade de Dados Espaciais (ET-CQDG). O objetivo do presente trabalho é comparar o processo metodológico de avaliação da acurácia posicional planimétrica entre as normas da Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto dos Estados Unidos (ASPRS), STANAG 2215 da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN) e Decreto nº 89.817/ET-CQDG do Brasil. Para a realização de um comparativo prático entre as normas, foi empregada uma ortofoto obtida por um VANT e pontos de checagem rastreados com receptores GNSS. A ortofoto foi classificada na classe A nas normas STANAG e ET-CQDG, considerando a escala 1:1.000. No que diz respeito à norma da ASPRS, a mesma não classifica o produto em relação a uma escala específica. A partir das análises empreendidas neste artigo, é possível constatar que a norma STANAG é a mais estruturada e detalhada metodologicamente quando comparadas com as normas ASPRS e Decreto nº 89.817/ET-CQDG. Os resultados obtidos demonstraram que, apesar das diferenças de metodologias empregadas em

¹Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil/Informações Espaciais, Brasil. E-mail: juliette.zanetti@ufv.br

²Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil/Informações Espaciais, Brasil. E-mail: franciele.braga@ufv.br

³Universidade Federal de Viçosa. Programa de Pós-graduação em Engenharia Civil/Informações Espaciais, Brasil. E-mail: afonso.santos@ufv.br

cada norma, os valores dos estimadores estatísticos foram bem condizentes entre as análises na avaliação da acurácia posicional da ortofoto.

PALAVRAS-CHAVE: Acurácia Posicional. VANT. STANAG. ASPRS. Decreto nº 89.817/ ET-CQDG.

ABSTRACT

Currently, due to the expansion of new technologies for mapping and spatial information sharing, the use of cartographic quality control is extremely important. To evaluate the positional accuracy of a cartographic product, a quality standard must be followed. Normally, each country or organization creates its own quality standard. In Brazil, positional accuracy assessments are based on Decree-Law 89,817, and are complemented by the Technical Specification for Quality Control of Spatial Data (ET-CQDG). The objective of this work is to compare the methodological process of evaluation of the planimetric positional accuracy between the standards of the American Society of Photogrammetry and Remote Sensing of the United States (ASPRS), STANAG 2215 of the North Atlantic Treaty Organization (NATO) and Decree Law 89.817 / ET-CQDG of Brazil. To perform a practical comparison between the norms, an orthophoto obtained by a UAV and check points with GNSS receivers were used. The orthophoto was classified in class A in the standards STANAG and ET-CQDG, considering the scale of 1: 1.000. In relation to the ASPRS standard, it does not classify the product in relation to a specific scale. From the study of the standards it is possible to verify that the STANAG standard is the most structured and detailed methodologically when compared with the ASPRS and Decree-Law 89.817 / ET-CQDG standards. The results showed that despite the differences in methodology used in each standard, the values of the statistical estimators were well consistent among the analyzes in the evaluation of the positional accuracy of the orthophoto.

KEYWORDS: Positional Accuracy. UAV. STANAG. ASPRS. Decree 89.817 / ET-CQDG.

* * *

Introdução

No uso de qualquer material cartográfico, recomenda-se um conhecimento prévio de sua acurácia, podendo a não observância desta recomendação, incorrer em resultados e análises que fiquem abaixo do objetivo desejado (BURITY, 1999). Uma das maneiras de verificação de acurácia de um determinado produto é a comparação entre as suas informações com as observadas no campo, sendo estas feitas a partir de medições confiáveis e de melhor qualidade. A verificação da acurácia do produto é efetuada a partir de estimadores estatísticos para um certo nível de

confiança, de acordo com a norma recomendada para cada país. Nesse sentido, Goodchild (2010) ressalta a importância do controle de qualidade ao investigar dados espaciais de modo a garantir e especificar sua qualidade e acurácia, explicitando discrepâncias, omissões e incertezas, bem como definindo sua finalidade.

Tendo em vista a importância atual da avaliação do controle da qualidade cartográfica, o presente trabalho pretende comparar três normas de qualidade posicional: a STANAG 2215 da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN), o padrão de qualidade posicional da Associação de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto dos Estados Unidos (ASPRS) e o padrão brasileiro definido pelo Decreto 89.817 e complementado pela Especificação Técnica de Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (ET-CQDG).

O intuito deste artigo é comparar os critérios que as normas utilizam na avaliação posicional dos produtos finais cartográficos em relação à componente planimétrica. Para isso, como experimento prático, foi avaliada a qualidade posicional de uma ortofoto gerada por um Veículo Aéreo Não Tripulado (VANT) na região de Viçosa-MG.

Os motivos para escolhas dessas três normas empregadas no desenvolvimento desse artigo, foram: a norma ASPRS que apresenta critérios para avaliação de produtos obtidos por novas tecnologias; norma STANAG, por ser uma diretriz bem estruturada, apresentando em sua formulação testes estatísticos para a detecção de *outliers* e análise de tendência. E por fim, o Decreto nº 89.817 junto à ET-CQDG, que apresenta em sua formulação os conceitos de amostragem baseados em normas consolidadas para procedimentos amostrais: ISO 2859-1:1999 (ISO, 1999) e ISO 2859-2:1985 (ISO, 1985).

2 Normas de controle de qualidade cartográfica

O controle de qualidade cartográfica é um procedimento de extrema importância dentro da ciência cartográfica. A definição da palavra “Qualidade” apresenta múltiplos conceitos: para Bueno (1996), ela é entendida como “característica de uma coisa; modo de ser; disposição geral; predicado; nobreza; espécie; gravidade, aptidão”. Já Juran (1991) a identifica a partir de dois significados: o primeiro consiste nas características do produto que vão ao encontro das necessidades do cliente, proporcionando, desta forma, sua satisfação; o segundo considera a “Qualidade” como a ausência de falhas, ou seja, quanto menos defeitos, melhor a qualidade.

Nos estudos da qualidade de um produto cartográfico, ele poderá ser identificado como satisfatório (ou não) para o fim a que se destina quando submetido a um teste de controle de qualidade. Logo, o controle de qualidade é um assunto amplo, uma fase extremamente importante cujo objetivo é estabelecer e assegurar a qualidade de um produto ou serviço para certas condições de consumo ou utilização (CAMARGO, 1992).

As informações sobre a qualidade dos dados geográficos são imprescindíveis para o produtor avaliar se o conjunto de dados atende aos critérios estabelecidos na especificação do produto. Além disso, elas auxiliam os usuários na avaliação da finalidade de uso do mesmo (ISO, 2013).

Considerando os conceitos da norma ISO 19157:2013, cujo objetivo é estabelecer os princípios para descrever a qualidade de um conjunto de dados, os critérios de avaliação estão agrupados em seis categorias: completude; consistência lógica; acurácia posicional; acurácia temporal, acurácia temática e usabilidade. A acurácia posicional está relacionada com a proximidade da posição de um dado espacial em relação à sua realidade de terreno (ARIZA, 2002; NOGUEIRA JR, 2003; SANTOS, 2010).

Desta forma, as avaliações da acurácia posicional são baseadas em comparações entre os valores sobre o produto a ser testado e material de fonte mais acurada. Assim, realiza-se o cálculo das discrepâncias (Equação 1) entre

as coordenadas de cada ponto de checagem, a partir da comparação entre o posicionamento no produto a ser avaliado e o posicionamento de referência, coletado em campo ou em um produto de maior acurácia. Portanto, fundamenta-se na comparação entre pontos homólogos da base a ser avaliada em relação a uma base de referência.

$$\delta_p = \sqrt{(X_T - X_R)^2 + (Y_T - Y_R)^2} \quad (1)$$

Sendo:

δ_p : Discrepância planimétrica;

X_R, Y_R : Coordenadas de campo ou referência;

X_T, Y_T : Coordenadas do produto em teste.

Considerando a definição de acurácia, revista por Monico *et al.* (2009), que envolve tanto efeitos aleatórios (precisão) e efeitos sistemáticos (tendência), a principal medida de acurácia seria o RMS (*root mean square*) das discrepâncias das coordenadas (Equação 2).

$$\text{RMS}_{\delta_p} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (\delta_p)^2}{n}} \quad (2)$$

Em que:

RMS_{δ_p} : RMS da amostra de discrepâncias planimétricas;

n: número de pontos de checagem.

À vista disso, a metodologia de pesquisa adotada neste artigo compreendeu o estudo de conceitos ligados ao controle de qualidade posicional referente às normas ASPRS, Decreto nº 89.817/ET-CQDG e STANAG – tendo como principal foco a análise dos conceitos estatísticos envolvidos – e a uniformização de alguns desses conceitos, termos e parâmetros para a

análise. Posteriormente, foi realizada uma aplicação prática dessas normas com intuito de comparar seus procedimentos metodológicos de avaliação.

3 ASPRS (2014)

O padrão de acurácia da Sociedade Americana de Fotogrametria e Sensoriamento Remoto dos Estados Unidos (ASPRS) aborda o estado atual das tecnologias de mapeamento, razão pela qual foi desenvolvida a norma de Padrões da Acurácia para Dados Digitais Geoespaciais da ASPRS (*ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data*) em 2014. O primeiro “Padrão de Acurácia dos Mapas” (NMAS), desenvolvido em 1947 pela USGS (*United States Geology Society*), ainda é usado por ser simples, mas segundo a ASPRS (2014), não existe uma correlação científica com esse padrão e as metodologias de mapeamento atuais. Assim, a norma ASPRS desenvolvido em 1990 foi uma melhoria em relação ao padrão NMAS; no entanto, eles não representam as capacidades da avaliação de produtos gerados por tecnologias atuais em uso. Atualmente, a norma oficial dos Estados Unidos é o “Padrão Nacional de Acurácia de Dados Espaciais” (NSSDA), de 1998, que utiliza como base o padrão da ASPRS de 1990. Ao contrário de normas anteriores, o padrão ASPRS de 2014 é independente da escala do mapeamento e da equidistância vertical entre curvas de nível, e abrange o grau mais alto de acurácia alcançáveis pelas mais recentes tecnologias (por exemplo, VANT e LIDAR), e proporcionam a flexibilidade suficiente para ser aplicáveis a futuras tecnologias.

A finalidade da norma ASPRS de 2014 é substituir as normas existentes para melhor abordar as tecnologias atuais. Com o objetivo de ser utilizada por fornecedores e utilizadores de dados – servindo para especificar os requisitos da acurácia do posicionamento de produtos e reportar acurácia dos dados –, esta norma inclui níveis de acurácia com base em valores do RMSE (*root mean square error*) dos pontos de checagem.

Ressalta-se que a norma ASPRS de 2014 especifica a quantidade de números de pontos de checagem que está relacionada diretamente ao tamanho da área de estudo, como se pode verificar na Tabela 1. Contudo, a norma ASPRS não menciona os testes para detecção de tendência e nem teste para detecção de *outliers* nos dados. Tal análise se justifica, pois, ao se utilizar um dado tendencioso a integração entre dados fica impossibilitada, podendo gerar análises inconsistentes, influenciando negativamente os processos decisórios, gerando produtos que não condizem com a realidade de campo. De acordo com Santos (2010), quando se aplica o controle de qualidade de dados espaciais, é de fundamental importância a análise de tendências (efeitos sistemáticos). Nesse contexto, é comum que se efetue testes estatísticos para a verificação de tendências em dados espaciais.

Tabela 1—Recomendação da norma ASPRS 2014 em relação ao número de pontos de checagem baseado na área de estudo.

Tamanho da Área (km ²)	Número total de amostra (Planimétria)
≤ 500	20
501 – 750	25
751 – 1000	30
1001 – 1250	35
1251 – 1500	40
1501 – 1750	45
1751 – 2000	50
2001 – 2250	55
2251 – 2500	60

Fonte: Adaptado da norma ASPRS, 2014.

Os padrões ASPRS anteriores usavam classes de acurácia (Classe 1, Classe 2, etc.) vinculados diretamente à escala de mapeamento. Em vez disso, a avaliação da acurácia posicional está diretamente relacionada ao valor do RMS especificado para o produto. Assim, com os pontos de checagem e, posteriormente, as discrepâncias posicionais, calculam-se o RMSE_x e RMSE_y, definidos pelas Equações 3 e 4.

$$RMSE_x = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_{test} - x_{ref})^2} \quad (3)$$

$$RMSE_y = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (y_{test} - y_{ref})^2} \quad (4)$$

Sendo:

x_{test} : Valor da abcissa no produto teste;

x_{ref} : Valor da abcissa no produto de referência;

y_{test} : Valor da ordenada no produto teste;

y_{ref} : Valor da ordenada no produto de referência.

De posse destas medidas de acurácia, comparam-se os valores com a especificação do produto, utilizando a Tabela 3, para definir a classe de acurácia horizontal do produto em análise. Todavia, a norma ASPRS deixa claro que, dependendo do projeto, pode-se definir um valor de tolerância expresso pela variável X e usar a Tabela 2. As estimativas correspondentes de acurácia horizontal ao nível de confiança de 95% podem ser calculadas usando metodologias NSSDA (FGDC, 1998) com RMSE_x ou RMSE_y sendo multiplicado por um fator de 2,448 cm, de acordo com a Tabela 2.

Tabela 2 – Padrão de acurácia horizontal segundo ASPRS 2014.

Classe Acurácia horizontal	Acurácia Absoluta		
	RMSE _x e RMSE _y	RMSE _r	Nível de Confiança 95%
X	≤ X	≤ 1,414*X	≤ 2,448*X

Fonte: Adaptado da norma ASPRS, 2014.

Tabela 3 – Classes comuns de acurácia horizontal para ortofotos digitais e padrões horizontais de acordo com a norma ASPRS 2014.

Classe de acurácia horizontal [RMSE_x e RMSE_y (cm)]	RMSE_r (cm)	Acurácia horizontal com nível de confiança de 95%
0,63	0,90	1,50
1,25	1,80	3,10
2,50	3,50	6,10
5,00	7,10	12,20
7,50	10,60	18,40
10,00	14,10	24,50
12,50	17,70	30,60
15,00	21,20	36,70
17,50	24,70	42,80
20,00	28,30	49,00
22,50	31,80	55,10
25,00	35,40	61,20

Fonte: Adaptado da norma ASPRS, 2014.

A norma ASPRS também reconhece que os dados podem conter erros sistemáticos, que podem ser estimados calculando os erros médios. É suposto que tais erros sejam removidos durante a fase de processamento e, portanto, não tenham um efeito significativo na acurácia final, definido pelo RMSE_x e RMSE_y. Entretanto, a ASPRS recomenda que os erros médios não excedam 25% do RMSE máximo permitido para uma classe de acurácia específica.

Na avaliação da qualidade cartográfica em ortofotos, a norma ASPRS estabelece também recomendações de uso a partir dos valores encontrados do RMSE_x e RMSE_y em ortofoto/ortoimagem. A diretriz, fornece, ainda, uma regra geral para determinar o tipo de aplicação apropriada da ortoimagem, a partir de três níveis diferentes de acurácia posicional. Os valores listados como "Trabalho com maior acurácia" especificam RMSE_x e RMSE_y de 1 pixel, devido às melhores resoluções das tecnologias atuais. Esta classe é apropriada quando a acurácia geoespacial é de maior importância. Valores listados como "Mapeamento padrão e trabalho SIG" especificam uma classe de precisão RMSE_x e RMSE_y de 2 pixels. Esta acurácia é apropriada para um nível padrão de alta qualidade e aplicações de mapeamento. As acurácias RMSE_x e RMSE_y de 3 ou mais pixels seriam consideradas

apropriadas para "visualização e trabalho menos preciso", quando não forem necessárias acurácias mais altas.

4 STANAG 2215 – OTAN

A norma STANAG 2215, de 13 de julho de 2010, é destinada à avaliação de produtores de bases cartográficas. Sua finalidade é padronizar a avaliação de mapas terrestres, cartas aeronáuticas e de dados digitais topográficos para serem utilizados pelas Forças Armadas da Organização do Tratado do Atlântico Norte (OTAN).

Diante disso, essa norma descreve uma metodologia para avaliação de um produto cartográfico, com base na aquisição de coordenadas planimétricas de uma amostra constituída por 167 pontos de checagem, para uma certa escala. Essa dimensão mínima de pontos de checagem está relacionada com nível de confiança de 90% para o cálculo da acurácia posicional. Além disso, a norma ressalta a importância da amostragem ser representativa do produto em análise (NSA, 2010).

Em relação ao cálculo da acurácia horizontal, a norma STANAG considera o desvio-padrão circular (Equação 5) como estimador estatístico, visto que seria compatível a um raio composto por uma elipse de erros com 90% de confiança em relação à posição estimada.

$$\sigma_{CM} = \sqrt{\frac{1}{2} \left[\frac{\sum(\delta E_i - \bar{\delta E})^2 + \sum(\delta N_i - \bar{\delta N})^2}{n - 1} \right]} \quad (5)$$

Em que:

$\delta E_i, \delta N_i$: Discrepâncias entre os valores medidos em relação aos valores de referência, em este e norte, respectivamente;

$\bar{\delta E}, \bar{\delta N}$: Média das discrepâncias em este e norte, respectivamente;

n: Quantidade de pontos.

σ_{CM} : Desvio-padrão circular das diferenças medidas entre o produto testado e a fonte de referência.

Em caso de a fonte de referência apresentar erros significativos devem-se considerar os seguintes critérios:

- a) Caso o produto em análise tenha sido gerado com dados referentes ao produto de referência, a Equação 6 deve ser aplicada. Este caso pode ser exemplificado quando se deseja conhecer a acurácia posicional de um processo de compilação cartográfica e só se tem disponível a como referência a própria bases de dados utilizada para compilação.

:

$$\sigma_C = \sqrt{\sigma_{CM}^2 + \sigma_{CR}^2} \quad (6)$$

Sendo:

σ_C : Desvio-padrão circular final do produto testado;

σ_{CR} : Desvio-padrão da fonte de referência.

- b) Quando o produto em análise for gerado com dados independentes do produto de referência, aplica-se a Equação 7. A STANAG deixa claro que a razão σ_{CR}/σ_{CM} não pode ser maior que 1/3, sendo recomendado uma razão menor que 1/5.

$$\sigma_C = \sqrt{\sigma_{CM}^2 - \sigma_{CR}^2} \quad (7)$$

No entanto, se não houver discrepâncias significativas na fonte de referência, considera-se o desvio-padrão circular das diferenças medidas entre o produto testado e a fonte de referência igual ao desvio padrão circular final do produto testado (Equação 8).

$$\sigma_C = \sigma_{CM} \quad (8)$$

A partir do desvio-padrão circular final, realiza-se a conversão em termos de acurácia horizontal absoluta. Para isso, faz-se necessário o cálculo

do CMAS (*Circular Map Accuracy Standard*), em conformidade com a Equação 9 e de acordo com a Tabela 4. Salienta-se que o σ_c representa um nível de confiança de 39,35%. Outros índices de probabilidade são apresentados na Tabela 4, juntamente com seus fatores de conversão.

$$\text{CMAS} = 2,146 \cdot \sigma_c \quad (9)$$

Tabela 4 – Fator de conversão do erro circular

	σ_c (39,35%)	CPE (50,00%)	MSE (63,21%)	CMAS (90,00%)
σ_c (39,35%)	1,0000	1,1774	1,4142	2,1460
CPE (50,00%)	0,8493	1,0000	1,2011	1,8227
MSE (63,21%)	0,7071	0,8325	1,0000	1,5174
CMAS (90,00%)	0,4660	0,5486	0,6590	1,0000

*CPE: Erro circular provável.

*MSE: Erro quadrático médio.

*CMAS: Padrão de acurácia circular do mapa.

Fonte: Adaptado da norma STANAG, 2010.

Apesar da norma STANAG avaliar o produto em relação ao desvio-padrão, a metodologia está correta, pois a fórmula é válida apenas para produtos que não apresentam efeitos sistemáticos. Desta forma, a precisão se iguala à acurácia. Entretanto, caso a amostra de discrepâncias posicionais apresente tendência, deve-se aplicar a Equação 10 para cálculo do CMAS. Salienta-se que a norma não fornece a explicação para origem dos elementos apresentados nesta Equação.

$$\text{CMAS} = \sigma_c \left[1,2943 + \sqrt{\left(\frac{\delta\bar{E}^2 + \delta\bar{N}^2}{\sigma_c}\right)^2 + 0,7254} \right] \quad (10)$$

A norma STANAG contém também fórmulas para detecção de *outliers* e análise de tendência apresentadas a seguir. No caso da planimetria, a detecção de *outlier* é realizada com base no teste circular, conforme a Equação 11.

$$R = \sqrt{(\delta E_i - \delta\bar{E})^2 + (\delta N_i - \delta\bar{N})^2} \quad (11)$$

Será considerado *outlier* o ponto de checagem que atender à condição abaixo:

$$R > M_2 \cdot \sigma_C \quad (12)$$

Para amostras grandes, considera-se o fator estatístico M_2 igual a 3,5, correspondente à probabilidade de erro de 99,78%; mas para amostras pequenas, é mais prático considerar M_2 , de acordo com a Equação 13.

$$M_2 = \sqrt{2,5055 + 4.6052 \cdot \log_{10} ni} \quad (13)$$

Sendo:

ni : Grau de liberdade, que é obtido subtraindo o número de pontos de checagem por 1 (um).

De acordo com as Equações 11 e 12, é perceptível que a metodologia de detecção de *outlier*, proposta pela STANAG 2215, não é dependente da escala de testes, apenas da amostra de discrepâncias posicionais.

Em relação à análise de tendência, a norma considera a seguinte condição, baseada na distribuição do teste t de *Student*.

$$\sigma_{\bar{x}} = \frac{\sigma_x}{\sqrt{n}} \quad (14)$$

Desta forma, caso o resultado da Equação 14 esteja dentro do intervalo de $(\bar{x} - t_{10\%} \cdot \sigma_{\bar{x}}) - (\bar{x} + t_{10\%} \cdot \sigma_{\bar{x}})$, a amostra não apresenta tendência significativa. O termo $\sigma_{\bar{x}}$ refere-se ao desvio padrão da média. Este teste é aplicado separadamente para as componentes este e norte.

Por fim, a norma especifica um fator de conversão (Equação 15) caso a amostra de pontos de checagem seja menor que 167 pontos, a fim de obter um índice mais representativo estatisticamente.

$$FC: \frac{\sqrt{\frac{ni}{X_v^2(0,95)}}}{1,1} \quad (15)$$

Sendo $x_v^2(95\%)$ a estatística x^2 que dá uma probabilidade de 0,95 com ni graus de liberdade. Em resumo, após a detecção de *outliers* e análise de

tendência, calcula-se o CMAS e classifica-se o produto em relação à acurácia horizontal de acordo com a Tabela 5. Para classificação, o CMAS deve apresentar valor menor ou igual à tolerância definida para classe e escala testada.

Tabela 5 – Critério de classificação da STANAG 2215 em termos de acurácia horizontal em CMAS.

Classe	Tolerância (mm)	Escala ou Resolução Digital Equivalente				
		1:25000	1:50000	1:100000	1:200000	1:250000
A	0,5	12,5 m	25 m	50 m	100 m	125 m
B	1,0	25m	50 m	100 m	200 m	250 m
C	2,0	50m	100 m	200 m	400 m	500 m
D	>2,0	Classificação pior que C				
E		Não Determinado				

Fonte: Adaptado da norma STANAG, 2010.

A avaliação completa do produto para ser utilizada para fins de relatório é formada por um código alfanumérico de seis dígitos. Por exemplo: EB2R77.

Desta forma, a 1ª letra classifica a acurácia geométrica absoluta em termos de WGS84 e ao modelo do geóide EGM96, de acordo com a Tabela 6. Esta acurácia para produtos gráficos ou produtos digitais é determinada pela combinação da acurácia absoluta horizontal e verticais determinadas relativamente ao Datum WGS84.

Tabela 6 – Critério de atribuição de classificação em termos de acurácia geométrica, na norma STANAG 2215

Classe	Classificação Horizontal e Vertical em termos WGS84	
	Classificação CMAS	Classificação LMAS
A	A	0
B	B	1
C	C	2
D	D	3
E	Produto não referenciado ao WGS84	

Fonte: Adaptado da norma STANAG, 2010.

A 2ª letra classifica a acurácia horizontal absoluta (CMAS), de acordo com a Tabela 5. Já o 1º número que aparece no código reflete a acurácia

vertical absoluta (LMAS - Linear Map Accuracy Standard), de acordo com a Tabela 7. A acurácia vertical absoluta é determinada pela comparação das altitudes determinadas nas cartas e/ou modelo digital de elevação com as altitudes reais medidas no terreno relativamente ao Datum vertical da carta, através do erro linear.

A 3ª letra reflete o estado de atualização, de acordo com a Tabela 8. Por fim, o último grupo de dois dígitos traduz a data efetiva da informação.

A norma exemplifica a nomenclatura para a avaliação de um produto, como por exemplo de um mapa na escala 1: 50.000. Sendo compilado em 1979, a partir de informações corretas até 1977; com Datum ED50, CMAS de 40 metros, LMAS de 20 metros e apresentando estradas e ferrovias 80% corretas, este mapa possui nomenclatura EB2R77 a partir da avaliação de qualidade da STANAG 2215.

Tabela 7 – Critério de classificação em termos de acurácia vertical.

Classe	Escala ou Resolução Digital Equivalente				
	1:25000	1:50000	1:100000	1:200000	1:250000
0	2,5m	5m	10m	20m	25m
1	5m	10m	20m	40m	50m
2	10m	20m	40m	80m	100m
3	Classificação pior que 2				
4	Não determinado				

Fonte: Adaptado da norma STANAG, 2010.

Tabela 8 – Critério de classificação em termos de atualização.

Letra	Grau de atualização
M	Produto que corresponde aos critérios de atualização
R	Produto que não corresponde aos critérios de atualização e para o qual são necessárias ações de manutenção e atualização
X	Não determinado

Fonte: Adaptado da norma STANAG, 2010.

5 Decreto N° 89.817/ ET-CQDG – Brasil

O Decreto n° 89.817 de 1984 foi criado em uma época em que a cartografia era analógica, voltado para pequenas escalas. Este decreto define erradamente alguns termos estatísticos, conforme observado por Santos (2010). A ET-CQDG surgiu como proposta para uso em produtos digitais, porem traz também erros de definição como, por exemplo, troca do termo “Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) por Erro Máximo (EM) e em outra parte chama de Erro Médio.

Desta forma no Brasil, o padrão de acurácia posicional é definido pelo Decreto n° 89.817, podendo ser complementado pela ET-CQDG (Especificação Técnica de Controle de Qualidade em Dados Geoespaciais). 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 define a metodologia utilizada ao se avaliar a acurácia posicional em produtos cartográficos, bem como cria uma classe para produtos digitais com tolerâncias mais restritivas que o Decreto n° 89.817. 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:

- a) 90% (ou $1,6449 \cdot EP$) dos pontos bem definidos, quando testados no terreno, não deverão apresentar discrepâncias superiores ao PEC para a classe e escala testadas; e
- b) O valor RMS da amostra de discrepâncias seja igual ou inferior ao valor do erro padrão (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 9 apresenta as tolerâncias

utilizadas na avaliação da acurácia posicional utilizando o padrão descrito no Decreto 89.817/ET-ADGV.

Como ressaltado, algumas análises estatísticas são realizadas para inferir sobre a acurácia posicional de um produto cartográfico. Para sua aplicação utilizando feições pontuais, como preconizado pelo Decreto nº 89.817, é necessário determinar as discrepâncias posicionais em cada ponto de checagem (Equação 1) e utilizar o estimador RMS das discrepâncias posicionais (Equação 2).

Tabela 9 – Tolerâncias utilizadas para avaliação da acurácia posicional de acordo com Decreto nº 89.817/ ET-CQDG

Classe	Planimetria	
	PEC(mm)	EP(mm)
A	0,28.D*	0,17.D
B	0,5.D	0,3.D
C	0,8.D	0,5.D
D	1,0.D	0,6.D

*D é o denominador da escala.

Fonte: Elaborado pelos autores.

Um dos aspectos importantes é que a norma ET-CQDG trata do tamanho da amostra adotando os conceitos de amostragem baseados nas normas ISO 2859-1 (inspeção lote a lote) e ISO 2859-2 (inspeção de lote isolado).

Segundo ISO (1999), um plano de amostragem é a combinação entre um tamanho de amostra (n) e um critério de aceitação (Ac), sendo o tamanho de amostra a quantidade de itens em um lote que será inspecionado e o critério de aceitação a quantidade máxima de não conformidade com um determinado requisito. As normas ISO apresentam tabelas para determinar o tamanho da amostra e o número de aceitação tolerável dentro da amostra

No procedimento de amostragem espacial, o produto a ser avaliado é dividido em células de 4 x 4 cm na escala do produto. Considerando, por exemplo, à escala do produto 1:10.000, as células seriam de 400x400 m, enquanto num produto 1:25.000, a célula seriam de 1000x1000 m.

Após a divisão do produto a ser avaliado em células, deve-se analisar cada célula a fim de verificar a existência de um ponto de checagem bem definido. Uma célula que contenha um ponto de checagem bem definido é considerada como uma célula válida. Assim, o número de células válidas é considerado o número da população que será avaliada no lote.

Em se tratando do conjunto de lotes (inspeção lote a lote), uma vez fixado o Limite de Qualidade Aceitável (LQA) e o tamanho da população para cada procedimento, o tamanho da amostra é determinado de acordo com a Tabela 44 e a Tabela 45 no Anexo A da norma ET-CQDG.

Considerando o tamanho do lote (população) e o nível de inspeção (normalmente nível II), determina-se a letra código para o tamanho da amostra usando a Tabela 44 da norma ET-CQDG. Em seguida, é utilizada a Tabela 45 da norma ET-CQDG por meio da letra código e do Limite de Qualidade Aceitável (LQA) para determinar o tamanho da amostra (n) e o número de aceitação (Ac).

Quando se utiliza da inspeção de lote isolado, as taxas de erro aceitável são expressas pela qualidade limite (QL). Desse modo, é necessário converter o LQA para QL a fim de poder aplicar o procedimento de amostragem a produtos isolados. A QL é sempre menor que o LQA, mas a diferença diminui com o aumento do tamanho da amostra (ISO 2859-0:1995). Considerando esses dados, a Tabela 46 da norma ET-CQDG apresenta os valores definidos nesta especificação para converter de LQA para QL.

O procedimento para determinar o tamanho da amostra para um lote isolado é o seguinte: considerando o LQA e o tamanho da população, verifica-se na Tabela 46 qual é o QL correspondente. Com o QL e o tamanho da população, é possível determinar o tamanho da amostra (n) e o número de aceitação (Ac) correspondente na Tabela 47 da norma ET-CQDG.

Ressalta-se que, de acordo com a ISO 2859-2: 1985, procedimentos para os planos de amostragem pela qualidade limite para inspeção de lotes isolados são fornecidos para atender a duas situações:

Procedimento A: usado quando o fornecedor e o consumidor desejam considerar o lote isoladamente (deve ser utilizado a menos que exista uma instrução específica para utilizar o procedimento B);

Procedimento B: utilizado quando o fornecedor considerar o lote como uma das séries contínuas, mas o consumidor considera o lote recebido isoladamente.

Diante disso, verifica-se menos restrição para a utilização do plano amostral lote isolado. Por isso na execução do presente trabalho, optou-se por utilizar o plano amostral lote a lote. Ressalta-se também que a norma ET-CQDG não apresenta teste para detecção de *outliers* e nem tendência nos dados.

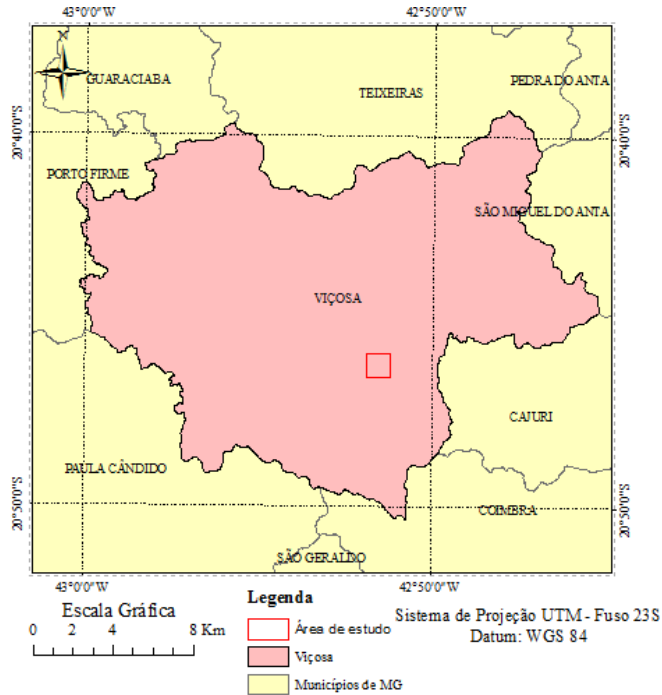
6 Experimentos e resultados

Serão apresentados a seguir o delineamento da área de estudo onde a pesquisa foi desenvolvida, os materiais utilizados, a metodologia realizada no desenvolvido deste trabalho bem como e os resultados e análises.

6.1 Área de estudo

A área de estudo (Figura 1) está localizada no Campus da Universidade Federal de Viçosa, município de Viçosa, Estado de Minas Gerais, com uma área de aproximadamente 44 ha.

Figura 1 – Mapa de Localização da área de estudo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

6.2 Materiais utilizados

A região de estudo foi escolhida devido à disponibilidade das fotos VANT. As fotos foram obtidas através do equipamento *VANT Echar 20A* fabricado pela *XMOBOTS*, acoplado com câmera *Sony ILCE – 7R, 36.4 MP Full-Frame Exmor® CMOS Sensor*. O voo foi realizado no dia 10 de agosto de 2015 sobrevoando a área com uma altitude média de aproximadamente 467 m em relação a base e com sobreposição lateral de 60% e longitudinal de 70%.

O processamento das imagens para este trabalho foi realizado de forma automática, usando o software fotogramétrico *Agisoft PhotoScan 1.2.5*. A ortofoto resultante do processamento tem resolução espacial de 4,6 cm. Já os pontos de checagem foram coletados em campo utilizando o receptor *JAVAD TRIUMPH 1* de dupla frequência (L1/L2), por meio da metodologia *NTRIP (Networked Transport of RTCM via Internet Protocol)*.

Todo o processamento foi realizado no Sistema de Referência Geocêntrico para as Américas - SIRGAS 2000, com coordenadas plano-

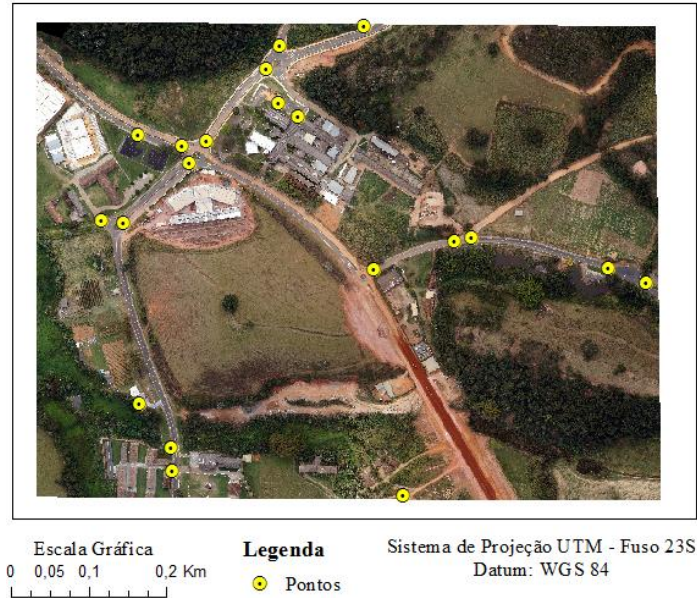
retangulares estimadas no sistema de projeção UTM, fuso 23S, em razão dos dados de campo compartilhar deste mesmo referencial. Os pontos levantados apresentaram precisão melhor que 1,5cm, cerca de 13 vezes mais acurado que o erro de graficismo para escala 1:1.000, utilizada na avaliação da qualidade posicional.

Foram utilizados também: o software *GeoPEC*, para a avaliação da acurácia posicional a partir do padrão brasileiro, obtendo-se os valores de discrepância entre as coordenadas dos pontos levantados em campo via receptores GNSS e seus homólogos identificados na ortofoto; o software *ArcGIS 10.2*, para a coleta dos pontos na ortofoto que são homólogos aos dados coletados em campo; e a planilha eletrônica *Excel* (parte integrante do *Microsoft Office*), para implementação dos cálculos das normas STANAG e ASPRS.

6.3 Metodologia

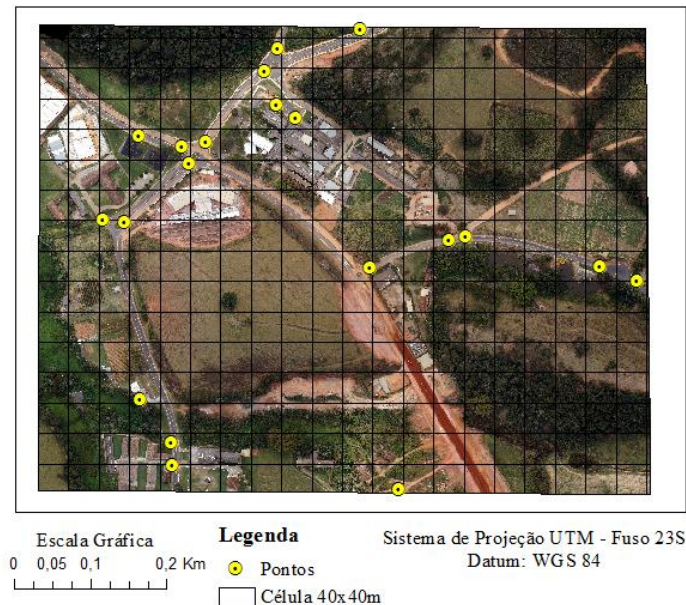
Para a coleta dos pontos de checagem em campo, foram verificadas as especificações de cada norma. De posse de uma área de estudo com aproximadamente 44 ha, a norma ASPRS especifica um tamanho de amostra de 20 pontos (Tabela 1).

Figura 2 – Distribuição dos 20 pontos coletados em campo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Figura 3 - Distribuição dos 20 pontos coletados em campo após dividir a área em células de 40x40m.

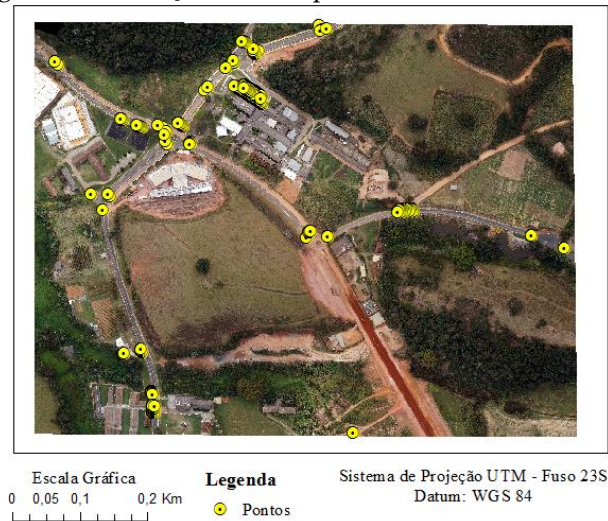


Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Segundo as especificações da norma ET-CQDG, a área de estudo foi dividida em células de 40X40m (Figura 3), contabilizando 108 células com condições para coletas de pontos de checagem. Dessa forma, seguindo a norma ET-CQDG, exige-se que sejam coletados 20 pontos de checagem conforme os padrões especificados pela diretriz. Já a norma STANAG define uma amostra

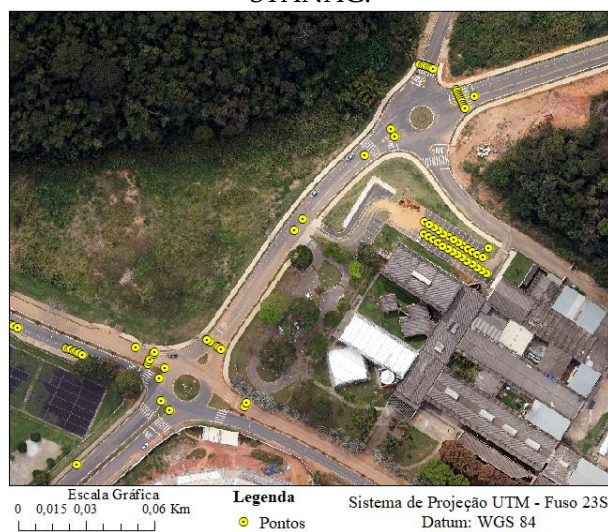
de 167 pontos independentemente do tamanho da área (Figura 4 e Figura 5). Ressalta-se que os pontos foram coletados evitando locais com obstruções dos sinais dos satélites pela vegetação e/ou edificações nas imediações dos pontos escolhidos, pontos com acesso facilitado, bem definidos optando-se pela escolha de intersecção de estradas, faixas de pedestres e meio fio.

Fig. 4 – Distribuição dos 167 pontos coletados em campo.



Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Figura 5 – Ênfase na área de coleta onde foram coletados mais pontos para análise da norma STANAG.

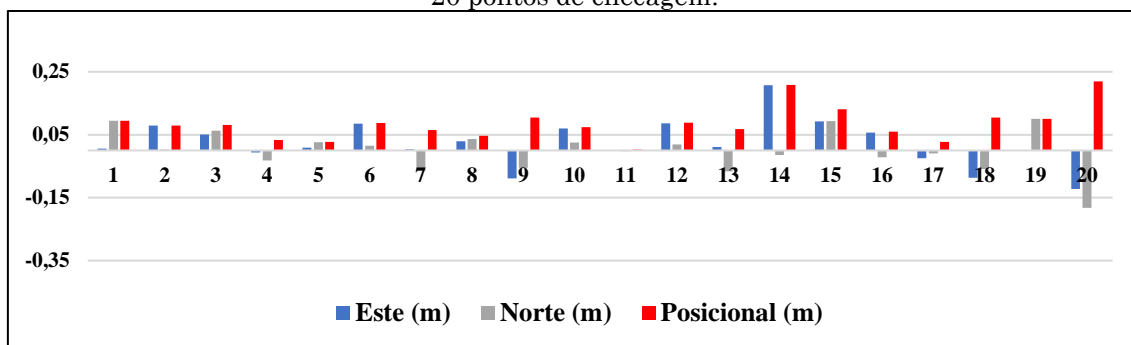


Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

6.4 Resultados e análises

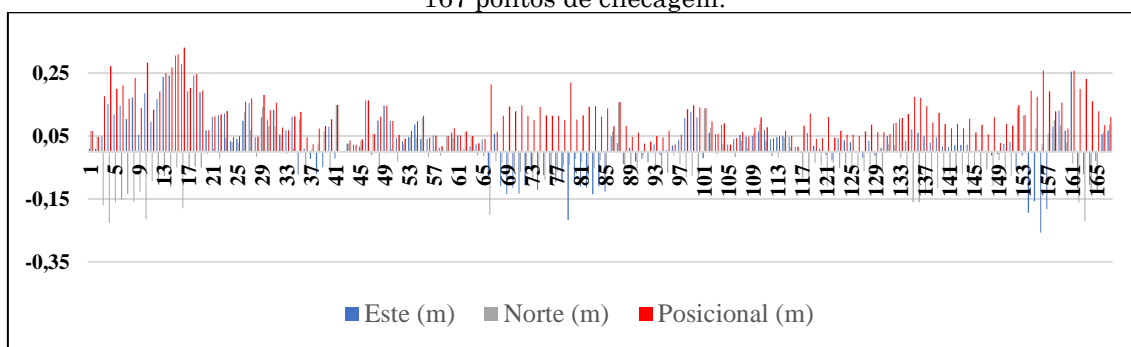
A partir dos pontos de checagem coletados em campo e dos pontos homólogos extraídos da ortofoto, foram calculadas as discrepâncias posicionais planimétricas dos 20 pontos de checagem (Figura 6) e dos 167 pontos de checagem (Figura 7). As Tabelas 10 e 11 apresentam as estatísticas descritivas, como a média, desvio padrão, variância e RMS.

Figura 6 – Gráfico de discrepâncias, em metros, das componentes planimétricas dos 20 pontos de checagem.



Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Figura 7 – Gráfico de discrepâncias, em metros, das componentes planimétricas dos 167 pontos de checagem.



Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Tabela 10 – Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais planimétricas da avaliação dos 20 pontos.

Estatística	Este (m)	Norte (m)	Resultante (m)
Média	0,002	-0,002	0,085
Desvio Padrão	0,074	0,067	0,054
Variância	0,006	0,004	0,003
RMS	0,078	0,067	0,103
Máximo	0,207	0,010	0,219
Mínimo	-0,123	-0,182	0,003

Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Tabela 11 – Estatísticas descritivas das discrepâncias posicionais planimétricas da avaliação dos 167 pontos.

Estatística	Este (m)	Norte (m)	Resultante (m)
Média	0,029	-0,025	0,109
Desvio Padrão	0,093	0,080	0,066
Variância	0,009	0,006	0,004
RMS	0,097	0,083	0,128
Máximo	0,306	0,251	0,331
Mínimo	-0,257	-0,226	0,000

Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

A norma ASPRS não inclui padrões de posição de acurácia com base em valores do RMS. Os valores de RMSE_x e RMSE_y foram 0,078 m e 0,067 m, respectivamente. Referindo-se à lista de classes comuns definidas pela ASPRS e listadas na Tabela 3, isto coloca a acurácia horizontal na classe RMSE_x ou RMSE_y de 0,1 m. Segundo a mesma norma, como a resolução da ortofoto é de 4,6 cm e os valores de RMSE_x e RMSE_y encontrados, a ortofoto pode ser utilizada para trabalhos de “mapeamento padrão e SIG”, já que o RMSE_x e RMSE_y se enquadram em 2 pixels. Ao nível de confiança de 95%, o produto apresenta uma acurácia posicional absoluta de 0,245 metros.

Tabela 12 - Resultados da aplicação das normas na área de estudo.

Normas	ET-CQDG	ASPRS	STANAG
Resultado	Escala 1:1.000 Classe A	0,245m	Escala 1:1.000 Classe A

Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

Aplicando o padrão brasileiro (Decreto nº 89.817/ET-CQDG), a ortofoto obteve classe A na avaliação, conforme a Tabela 9, apresentando RMS de aproximadamente 0,103m (Tabela 10). Ressalta-se também que as normas

ASPRS e ET-CQDG não citam nem especificam fórmulas para cálculos de tendência e outlier. Assim, no presente estudo, foi utilizado o teste *t de Student* na amostra de discrepâncias posicionais de modo 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. Vale ressaltar que o teste *t de Student* (teste de hipótese), exige que a amostra siga distribuição normal (SANTOS et al. 2016). Em relação à detecção de *outliers*, fez-se o uso do teste 3σ para a verificação da sua presença (NERO, 2005; SANTOS et al. 2016), sendo esta tarefa realizada para fins de comparação com a norma da STANAG. Verificou-se que tanto a norma ASPRS quanto a norma ET-CQDG não apresentaram *outliers* e nem tendência nos dados

O produto obteve classificação A de acordo com as categorias estabelecidas na norma STANAG expostas na Tabela 5, dado que o valor de CMAS foi de aproximadamente 0,195m (vide Equação 10). No entanto, a norma acusou a presença de tendência e um *outlier* nos dados.

Constatou-se que, dentre as normas avaliadas nesse estudo, a STANAG é melhor estruturada e detalhada metodologicamente. Além de especificar testes para detecção de *outlier* e tendência, a classificação geral de um produto compreende a avaliação separada dos seguintes aspectos: acurácia geométrica absoluta em termos de datum WGS84; acurácia horizontal; acurácia vertical; grau de atualização do produto e sua data efetiva. Desse modo, a classificação de uma carta, em suporte analógico ou digital, é feita por um código alfanumérico de acordo com esses cinco grupos. No entanto, esta norma exige um número significativamente alto de pontos de checagem (167), independentemente do tamanho da área. Este aspecto é inviável para uso prático em enorme faixa de aplicações, impactando diretamente no custo de sua aplicação. Outro aspecto, é a utilização de equações na norma sem explicação de suas origens, como ocorre nas Equações 10, 13 e 15.

Ressalta-se que nenhuma das normas analisa o padrão de distribuição espacial dos pontos na área de estudo, fato importante para avaliar se a amostragem é representativa do produto em análise, conforme sugerido por Santos *et al.* (2016).

A norma ASPRS não classifica o produto segundo uma escala, apenas calcula a acurácia do produto baseada no RMS da resultante posicional para o nível de confiança de 95%. Além disso, essa norma considera responsabilidade do avaliador ou produtor verificar análise de tendência e detecção de *outliers*.

Em se tratando do padrão brasileiro (Decreto nº 89.817/ET-CQDG), verifica-se que os pontos de validação estariam bem distribuídos no produto em análise se fosse coletado um ponto de amostra em cada célula gerada; contudo, de acordo com a norma após gerar as células, é necessário verificar o tamanho da amostra a ser coletada, o mesmo não retrata uma distribuição espacial de toda a área em estudo.

Outra constatação com relação à norma ET-CQDG é que a definição da fórmula do RMS está sendo nomeada na norma como “Erro Médio Quadrático”.

Em resumo, apesar das diferenças metodológicas de cada norma aplicada nesse estudo, os resultados em relação aos indicadores estatísticos foram bem próximos para avaliação da acurácia posicional da ortofoto.

De posse da análise bibliográfica das três normas e da aplicação prática, o Quadro 1 mostra uma visão global dos diferentes aspectos entre as normas avaliadas.

Quadro 1 - Resumo dos aspectos revisados das metodologias de avaliação da acurácia posicional das normas analisadas.

Nome da Norma	ASPRS	Decreto nº 89.817/ ET-CQDG	STANAG
Ano de publicação	2014	2016	2010
Indicação de escala	-	-	≤1:250.000
Indicação do tipo de elemento ao qual a avaliação é aplicada	Mapas, ortofotos, Lidar, MDEs e dados geoespaciais de forma geral	Mapas	Cartas aeronáuticas, mapas, dados geoespaciais
Tamanho amostral	De acordo com área	De acordo com área e baseada na ISO 2859	167 pontos
Distribuição espacial	Não	Não	Não
Precisão do Produto de Referência	-	3x mais precisa	5x mais precisa
<i>Outliers</i> : se há uma indicação relativa à sua eliminação ou como lidar com eles	Não	Não	Sim
<i>Tendência</i> : Se houver uma indicação de como lidar	Não	Não	Sim
Controle na componente Horizontal	Sim	Sim	Sim
Controle na componente Vertical	Sim	Sim	Sim
Desvio-padrão é a medida de acurácia proposta	Não	Não	Sim
RMS é a medida de acurácia proposta	Sim	Sim	Não
Normalidade explícita	Sim	Não	Sim
Nível de confiança: Nível de probabilidade considerado para o resultado da avaliação	95%	90%	90%
Relatório de Controle de Qualidade	Não	Sim	Sim
Circular / linear: se as componentes planimétricas (XY) são analisados em conjunto (circular) ou independentemente (linear)	Circular	Circular	Circular
Exemplos de aplicações	Não	Sim	Sim

Fonte: Elaborado pelos autores (2017).

7 Conclusão

O aspecto posicional é um componente primordial na avaliação da qualidade de um produto cartográfico. O estudo revela a existência de diferenças dentro das normas consideradas; de forma resumida, algumas das principais conclusões analisadas foram as seguintes:

- a) Na maioria dos casos, as normas não apresentam formalismo na sua definição e não utilizam a terminologia padronizada quando se referem à incerteza;
- b) As normas são baseadas em estatística, mas diferem muito nos métodos de estimativa e apresentam disparidade no tamanho mínimo recomendado para a amostra de pontos de checagem;
- c) Não é detalhado de forma explícita o tratamento para tendência e *outliers*, exceto para norma STANAG. Além disso, as normas consideradas não apresentam um guia sobre a distribuição espacial apropriada da amostra de controle.

Considerado que a maioria das normas apresentam problemas da falta de definição, caráter estatístico, falta de informação explicativa, elas podem levar a interpretações erradas dos resultados e metodologia, criando, assim, falsas expectativas. Entende-se que o custo de algumas das melhorias indicadas aqui é relativamente baixo devido às possibilidades computacionais e de relatório disponíveis no momento. Eis uma oportunidade que não deve ser rejeitada para uma melhor compreensão e para a melhoria dos processos.

As instituições cartográficas e normativas devem unir forças no desenvolvimento de padrões específicos de avaliação de acurácia posicional com alto nível de definição. Por sua vez, este desenvolvimento deve contemplar diferentes opções de amostragem, risco e proteção dos usuários e produtores. Também deve incluir, ao lado de sua parte prescritiva, uma descrição com exemplos práticos, permitindo a eliminação de dúvidas e fornecendo exemplos para os procedimentos de trabalho. Deve-se ter em

mente que a ausência de prescrição ou orientação em uma análise da qualidade cartográfica pode causar efeito contraditório à ideia de padronização em si.

Referências

- ARIZA, F.J. **Calidad en la Producción Cartográfica**, RA-MA, Madrid. 2002a. 389p. ISBN 84-7897-524-1.
- ASPRS. ASPRS positional accuracy standards for digital geospatial data. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**. Edition 1, Version 1.0 – November, 2014, 26p.
- BRASIL. Decreto N° 89.817 de 20 de Junho de 1984. Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Brazil. Brasília, **Diário Oficial da União**, 20 de junho de 1984.
- BRASIL. Decreto n° 6666, de 27 de novembro de 2008. Institui, no âmbito do Poder Executivo Federal, a Infraestrutura Nacional de Dados Espaciais - INDE, e dá outras providências. Brasília, **Diário Oficial da União**, 27 de novembro de 2008.
- BUENO, F. S. **Minidicionário da Língua portuguesa**. Editora FTD, São Paulo, 1996. 542p.
- BURITY, E. F. **A carta cadastral urbana - Seleção de dados a partir da análise das necessidades dos usuários**. Dissertação de Mestrado. Instituto Militar de Engenharia, Engenharia Cartográfica - Rio de Janeiro, RJ, 1999. 106 p.
- CAMARGO, P.O. **Controle de qualidade aplicado ao filtro de Kalman**. Curitiba. Dissertação (Mestrado), Universidade Federal do Paraná, 1992, 94p.
- DSG. **Norma da especificação técnica para controle de qualidade de dados geoespaciais**. 1ª. Edição. Brasília, 2016, 94p.
- FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE (FGDC). **Geospatial positioning accuracy standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy**. 1998, 28p. Site: <<http://www.fgdc.gov/standards/projects/FGDC-standards-projects/accuracy/part3/chapter3>> acessado em agosto de 2016.
- GALO, M.; CAMARGO, P. O. Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas. **In: 1º Congresso Brasileiro de Cadastro Técnico e Multifinalitário**. Florianópolis, 1994. **Anais**. Tomo II, 1994. pp. 41-48.

- GOODCHILD, M. F. "Foreword". In: SHI, W. **Principles of Modeling Uncertainties in Spatial Data and Spatial Analyses**. Boca Raton, FL: CRC Press, 2010. 432 p.
- ISO 2859-2:1985: **sampling procedures for inspection by attributes: part 2: sampling plans indexed by limiting quality (LQ) for isolated lot inspection**. Geneva: ISO, 1985. 21 p.
- ISO 2859- 1:1999: **Sampling procedures for inspection by attributes: part 1: sampling schemes indexed by acceptance quality limit (AQL) for lot-by-lot inspection**. 2nd ed. Geneva: ISO, 1999. 87 p.
- ISO 19157:2013: **Geographic information: data quality**. Geneva: ISO, 2013c. 146 p.
- JURAN, J. M. **Controle de qualidade**. Fundação Getúlio Vargas, São Paulo, SP, 1991, p. 22.
- 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**, séc. Comunicações, Curitiba, vol.15, n°3, 2009. pp.469-483.
- NERO, M. A. **Proposta para controle de qualidade de bases cartográficas com ênfase na componente posicional**. Tese de Doutorado. Escola Politécnica da Universidade de São Paulo. 2005, 186p.
- NOGUEIRA JR., J. B. **Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica**. Dissertação de .UNESP, Engenharia Cartográfica Presidente Prudente. 2003, 147 p.
- NSA (2010), **Evaluation of land maps, aeronautical charts and digital topographic data**, STANAG (Standardization Agreement) n°2215 (Edition 7). Tex not published, NATO Standardization Agency,Bruxelas, 29p.
- NERO, M. A. **Propostas para o controle de qualidade de bases cartográficas com ênfase na componente posicional**. TESE (Doutorado em Engenharia) - Escola Politécnica da Universidade de São Paulo, São Paulo, 2005, 186p.
- SANTOS, A. P. **Avaliação da Acurácia Posicional em Dados Espaciais com Uso da Estatística Espacial** (Viçosa, MG). Tese (Mestrado) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2010, 128p.

SANTOS, A. P.; MEDEIROS, N. das G.; SANTOS, G.R dos; RODRIGUES, D. D.
Avaliação da acurácia posicional planimétrica em Modelos Digitais de Superfície com uso de feições lineares. **Boletim Ciências Geodésicas**, v. 22, n. 1, 2016. pp.157 – 174.