



# Métodos para avaliação da acurácia posicional altimétrica no Brasil

*Methods for Evaluating Altimetric Positional Accuracy in Brazil*

*João Alberto Batista de Carvalho*<sup>1</sup>

*Daniel Carneiro da Silva*<sup>2</sup>

Recebido em março de 2017.  
Aprovado em janeiro de 2018.

## RESUMO

No Brasil, o estimador de qualidade utilizado para avaliar um produto geoespacial consiste no Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), atualizado posteriormente para Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD), que divide os dados geoespaciais em categorias, conforme o nível de qualidade por este apresentado. Todavia, tanto o PEC quanto o PEC-PCD não apresentam de forma clara os procedimentos metodológicos a serem aplicados no processo de avaliação da qualidade. Devido a isto, métodos complementares de análise vêm sendo utilizados com o objetivo de verificar a acurácia posicional. Em termos internacionais, diversas normas e artigos abordam a avaliação da qualidade posicional de dados geoespaciais. Este artigo tem como objetivo realizar uma revisão dos métodos de análise da acurácia posicional altimétrica no Brasil, bem como criar um paralelo com as normas e padrões internacionais.

**PALAVRAS-CHAVE:** Qualidade. Acurácia. Altimetria.

## ABSTRACT

In Brazil, the quality estimator used to evaluate a geospatial product consists of the Cartographic Accuracy Standard (PEC), later updated to the Cartographic Accuracy Standard of Digital Cartographic Products (PEC-PCD). These divide the geospatial data into categories, according to the level of quality presented by it. However, both the PEC and the PEC-PCD do not clearly state the methodological procedures to be applied in the quality assessment process. Due to this, complementary methods of analysis have been used in order to verify positional accuracy. In international terms, several standards and articles address the evaluation of the positional quality of geospatial data. This article aims to perform a review of the methods of analyzing the altimetric positional accuracy in

---

<sup>1</sup>Diretoria do Serviço Geográfico. 3º Centro de Geoinformação. Brasil. E-mail: alberto.carvalho@eb.mil.br

<sup>2</sup>Universidade Federal de Pernambuco. Programa de Pós-graduação em Ciências Geodésicas e Tecnologias da Geoinformação, Brasil. E-mail: carneirodasilvadaniel@gmail.com

Brazil, as well as creating a parallel with international norms and standards.

**KEYWORDS:** Quality. Accuracy. Altimetric.

\* \* \*

## **Introdução**

A avaliação da qualidade de um dado geoespacial consiste em uma das etapas mais importantes de sua construção. Devido a isto, normas e padrões são gerados, de forma a permitir que os produtos geoespaciais possam ser classificados.

No Brasil, o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC) é o indicador estatístico utilizado como valor padrão para classificar dados planialtimétricos, definido pelo decreto presidencial nº 89.817 de 20 de Junho de 1984 e atualizado para Padrão de Exatidão Cartográfica dos Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) pela Diretoria do Serviço Geográfico (DSG), em 2015.

No âmbito internacional, diversas normas e padrões foram produzidos. A America Society of Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS), por exemplo, desenvolveu três normas referentes à acurácia de dados geoespaciais: a primeira, ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps (1990) apresenta definições sobre a acurácia espacial para mapas topográficos em grandes escalas; a segunda, é a ASPRS Guidelines Vertical Accuracy Reporting for LIDAR Data (2004) que apresenta normas referentes à acurácia de dados de elevação obtidos usando LIDAR; e a terceira tem como objetivo substituir as duas anteriores, tendo sido desenvolvida em 2014 com o nome ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data. Outras agências também desenvolveram normas e padrões como o Federal Geographic Data Committee (FGDC); a United States Geological Survey (USGS); e a National Digital Elevation Program (NDEP).

Devido ao fato de que as normas brasileiras não apresentam muitos detalhes sobre a sua aplicação prática, análises complementares foram propostas, estando presentes em várias monografias, teses, dissertações e artigos no Brasil. Este artigo visa realizar uma revisão sobre os procedimentos metodológicos utilizados para a avaliação da qualidade posicional altimétrica no Brasil e realizar uma comparação destes com os presentes em normas e artigos internacionais.

## 2 Padrão de exatidão cartográfica

No Brasil, o decreto nº 89.817 de 20 de Junho de 1984 é responsável por definir os parâmetros de qualidade para os dados planialtimétricos. Neste é definido o conceito de PEC, em que se estabelecem os valores padrões de qualidade, divididos em categorias (A, B e C).

Para dados altimétricos, o decreto estabelece que, para que um dado geoespacial seja considerado pertencente a uma determinada categoria, deve ser aceito que noventa por cento dos pontos isolados de altitude, interpolados a partir de curvas de nível, quando testados com no terreno, não deverão apresentar discrepância superior ao PEC altimétrico estabelecido. Em termos de categorias, tem-se que os dados altimétricos são classificados de acordo com a equidistância das curvas de nível (EC), conforme apresentado na tabela 1. O termo equidistância aqui utilizado se refere ao espaçamento vertical entre cada curva de nível. O valor EP é definido como sendo o erro padrão, sendo este tratado como equivalente ao erro médio quadrático e desvio padrão.

Tabela 1 – Categorias do PEC e EP para Dados Altimétricos.

<b>Categoria</b>	<b>PEC</b>	<b>EP</b>
A	$\frac{1}{2} \cdot EC$	$\frac{1}{3} \cdot EC$
B	$\frac{3}{5} \cdot EC$	$\frac{1}{2} \cdot EC$
C	$\frac{3}{4} \cdot EC$	$\frac{1}{2} \cdot EC$

Fonte: decreto nº 89.817 de 20 de Junho de 1984.

Inicialmente, o PEC foi previsto somente para produtos analógicos. Em DSG (2015), é apresentada uma nova proposta de valores para o PEC, incluindo os produtos digitais. Este conjunto de padrões foi denominado como PEC-PCD. Esta atualização ocorreu devido ao fato de que os produtos digitais, comparados aos analógicos, possuem um significativo ganho de qualidade devido à modernização dos equipamentos de aquisição e softwares de processamento de dados.

O PEC-PCD estabelece novas categorias para a planimetria e altimetria, tendo, especificamente, um conjunto de padrões para classificação de pontos cotados altimétricos e Modelos Digitais de Elevação (MDE), conforme apresentado na tabela 2.

Tabela 2: Categorias do PEC-PCD para Modelos Digitais de Elevação e Pontos Contados Altimétricos.

Categoria	PEC	EP
A	$0,27 \cdot EC$	$\frac{1}{6} \cdot EC$
B	$\frac{1}{2} \cdot EC$	$\frac{1}{3} \cdot EC$
C	$\frac{3}{5} \cdot EC$	$\frac{2}{5} \cdot EC$
D	$\frac{3}{4} \cdot EC$	$\frac{1}{2} \cdot EC$

Fonte: DSG (2015).

Realizando uma análise sobre as terminologias apresentadas pelo PEC e PEC-PCD, tem-se uma questão importante a se levantar sobre o uso do termo erro médio quadrático e erro padrão, pois estes são tratados como equivalentes. Todavia, isto não é necessariamente verdade. Erro médio quadrático (equação 1) é uma medida de acurácia para estimadores, sendo que este pode ser expresso pela soma de sua variância com o viés do estimador (equação 2). Estimador ( $\Theta$ ) é uma estatística criada com o objetivo de se estimar algum parâmetro ( $\theta$ ) (WALPOLE et al, 2009). O viés de um estimador é definido como sendo  $(E(\theta) - \theta)$ .

$$EMQ(\theta) = E(\theta - \theta)^2 \quad (1)$$

$$EMQ(\theta) = V_{\theta} + (E(\theta) - \theta)^2 \quad (2)$$

O erro padrão mede a variabilidade de um estimador, conforme apresentado na equação 3 (MONTGOMERY; RUNGER, 2003).

$$\sigma(\theta) = \sqrt{V(\theta)} \quad (3)$$

Percebe-se pelas equações 2 e 3 que o erro médio quadrático somente será equivalente ao erro padrão quando o viés do estimador tem valor igual a zero e for retirada a raiz quadrada da variância do estimador.

Sobre o termo erro médio quadrático, é importante realizar uma análise. Em Gemael (1994), o erro médio quadrático é tratado como sendo a raiz quadrada da média quadrática dos erros verdadeiros. Em Monico et al (2009), o erro médio quadrático é definido como sendo uma relação entre a dispersão das medidas e o vício do estimador, sendo considerado equivalente à média quadrática dos erros de medição para amostras grandes. Esta diferença de notação pode causar dúvidas, pois em um autor, temos a presença da raiz quadrada e em outro, não. Em Montgomery e Runger (2003), o termo erro médio quadrático encontra-se coerente com a definição apresentada em Monico et al (2009), conforme visto na equação 2, sendo aceitável considerar esta forma como correta. A definição usada em Gemael (1994) esta coerente com o termo raiz do erro médio quadrático (equação 4), apresentada em normas internacionais de qualidade, como por exemplo a norma ASPRS (2014).

$$REM\bar{Q} = \sqrt{EM\bar{Q}} = \sqrt{\sum_{i=1}^n \frac{e_i^2}{n}} \quad (4)$$

Sobre o PEC e o PEC-PCD é importante destacar que ambos são calculados como sendo 1,6449 vezes o valor do erro padrão, sendo este valor relativo ao valor de probabilidade 90% dentro da curva da distribuição normal. Por conta disso, é válido aceitar que tanto o PEC, quanto o PEC-PCD são válidos somente se a variável de estudo tiver distribuição normal.

### 3 Análise de tendência e precisão

Em Tomaselli, Monico e Camargo (1988), Galo e Camargo (1994) e Dalmolin e Leal (2001), é proposta uma análise estatística complementar ao procedimento do PEC, de forma a verificar a precisão e a existência de tendência na análise de medições de coordenadas planialtimétricas em cartas. Estas análises se baseiam no estudo de Merchant (1982).

A verificação de existência de tendências (tendência é o equivalente ao viés das equações 1 e 2) dos dados é feita usando análise de exatidão. Esta análise consiste em verificar se a média das discrepâncias (diferença entre o valor da coordenada de estudo obtida no campo e o mesmo obtido na carta) pode ser considerada igual a zero.

O procedimento comum adotado para a análise de tendência é aplicar o t de student, que é adequado para comparação de médias em um teste de hipóteses. Serão avaliadas, segundo Galo e Camargo (1994), as seguintes hipóteses:

$$H_0: \Delta\bar{X} = 0 \text{ (Hipótese Nula)} \quad (5)$$

$$H_1: \Delta\bar{X} \neq 0 \text{ (Hipótese Alternativa)} \quad (6)$$

O valor  $\Delta\bar{X}$  corresponde ao valor da média das discrepâncias amostrais. O valor de X corresponde à coordenada analisada. O teste t baseia-se no cálculo da variável aleatória T (equação 7) que possui distribuição t quando a variável aleatória X tem distribuição normal. Para que a hipótese nula seja aceita (equação 5) o valor do módulo de T calculado deve ser inferior ao valor de t (distribuição t) para um nível de significância  $\alpha$  e com n-1 graus de liberdade (equação 8). Caso contrário, será aceita a hipótese alternativa (equação 6). O valor na equação 7 corresponde ao valor da média populacional a ser verificada no teste de hipóteses enquanto que corresponde ao desvio padrão amostral para a variável aleatória X. Em Galo e Camargo (1994), o valor de  $\mu_0$  não aparece, pois é considerado como sendo igual a zero, o que é razoável ao supor que as discrepâncias de posição são aleatórias e se compensam completamente entre si tomando toda a população.

$$T_x = \frac{(\Delta\bar{X} - \mu_0)}{S_{\Delta X}} \cdot \sqrt{n} \quad (7)$$

$$|T_x| < t_{(n-1, \frac{\alpha}{2})} \quad (8)$$

A segunda análise proposta pelos autores diz respeito à precisão dos dados. Esta análise se baseia em comparar o desvio padrão da amostra com o erro padrão previsto no decreto do PEC. Para isto, é utilizado teste de comparação entre variâncias, usando a distribuição qui-quadrado. As hipóteses a serem analisadas, segundo Galo e Camargo (1994), podem ser vistas nas equações 9 e 10. O valor de  $\sigma_x^2$  é tomado como sendo igual ao EP previsto no decreto, de acordo com a escala. O teste entre variâncias baseia-se no cálculo da variável aleatória de teste (equação 11), onde esta terá

distribuição qui-quadrado, quando a variável aleatória  $x$  tem distribuição normal. O valor da variável de teste é comparado com o valor  $\chi^2$  (distribuição qui-quadrado) com um grau de liberdade  $(v - 1)$  e nível de significância  $\alpha$  (inequação 12). A hipótese nula será aceita se a desigualdade for aceita (equação 9). Caso contrário, será aceita a hipótese alternativa (equação 10).

$$H_0: S_{\Delta X}^2 = \sigma_X^2 \text{ (Hipótese Nula)} \quad (9)$$

$$H_1: S_{\Delta X}^2 > \sigma_X^2 \text{ (Hipótese Nula)} \quad (10)$$

$$x_{o^2} = \frac{(n - 1) \cdot S^2}{\sigma^2} \quad (11)$$

$$X_0^2 \leq \chi_{(v-1, \alpha)}^2 \quad (12)$$

O nível de significância usado em ambas as análises corresponde à probabilidade em se rejeitar a hipótese nula, sendo ela verdadeira.

É interessante realizar uma avaliação do uso do termo acurácia. Em Merchant (1984), o termo acurácia é definido como sendo a composição da análise de tendência com a precisão. Em Galo e Camargo (1994), precisão é definida como sendo a dispersão entre os valores observados e o valor médio, enquanto que exatidão é entendida aqui como sinônimo de acurácia e corresponde à proximidade entre os valores observados com os valores de referência. Em Quintino e Leal (2001), o termo acurácia é visto de forma a similar a Galo e Camargo (1994). Em Monico et al (2009), o termo acurácia é definido como sendo a combinação da precisão mais a tendência (viés do estimador), o que implica que para um dado ser considerado acurado, deve ser preciso e livre de tendência, se aproximando ao conceito inicial apresentado por Merchant (1984). Convém, então, aceitar como correto o

conceito de acurácia apresentado em Monico et al (2009), visto que contempla tanto a variabilidade das medições quanto a sua tendência. Estatisticamente, a acurácia pode ser expressa pela equação 2.

Em relação às análises de tendência e precisão, convém acrescentar uma correção na forma de expressar os testes de hipóteses. Testes de hipóteses são realizados sobre parâmetros e não sobre estatísticas. Logo, a forma correta de se utilizar seria utilizando os parâmetros média populacional para a análise de tendência e a variância populacional para a análise de precisão, conforme visto nas equações 13, 14, 15 e 16.

$$H_0: \mu = 0 \text{ (Hipótese Nula)} \quad (13)$$

$$H_1: \mu \neq 0 \text{ (Hipótese Alternativa)} \quad (14)$$

$$H_0: \sigma^2 = \sigma_X^2 \text{ (Hipótese Nula)} \quad (15)$$

$$H_1: \sigma^2 > \sigma_X^2 \text{ (Hipótese Alternativa)} \quad (16)$$

Por último, existe discordância entre alguns autores de como utilizar o EP para a análise de coordenadas planimétricas. Tanto é possível observar o  $\sigma_X^2$  como sendo  $EP/\sqrt{2}$  como também EP. Isto ocorre porque alguns consideram a análise das discrepâncias das coordenadas planimétricas segundo às suas componentes, enquanto que outros compreendem como sendo a resultante de suas componentes. No caso da altimetria este tipo de questão não é problema, pois somente é analisada uma coordenada.

#### **4 Padrões internacionais de qualidade**

Tanto o PEC e o PEC-PCD, quanto as análises de tendência e precisão têm em comum o fato de que a distribuição utilizada pela variável aleatória

de estudo tem que ser normal. Todavia, isto não pode ser considerado sempre como verdade. Em normas e artigos internacionais, percebe-se que as discrepâncias altimétricas em dados geoespaciais podem não ter, necessariamente, distribuição normal.

Em Zandbergen (2008), é apresentado que a distribuição das discrepâncias posicionais em pontos levantados usando LIDAR pode ser aproximada a uma distribuição normal somente quando excluídos os valores outliers dos dados. Entende-se por valores outliers uma ou mais observações presentes em uma amostra, com valores distantes do conjunto de dados, de tal forma que demonstram fazer parte de outra população (MONTGOMERY; RUNGER, 2003).

Já em Höhle e Höhle (2009), é apresentado que Modelos Digitais de Elevação possuem diversas fontes de incertezas que geram valores outliers aos dados. Estes valores perturbam os resultados de medidas estatísticas e podem causar desvio da distribuição normal.

Em relação às normas e padrões internacionais, percebe-se que a questão de ser ou não normal vem evoluindo de acordo com o tempo, conforme pode ser observado a seguir.

#### 4.1 United States Map Accuracy Standards

Documento elaborado no ano de 1947 que apresenta as normas de acurácia vertical e horizontal para mapas, bem como o teste de acurácia. A acurácia vertical é definida de tal forma que no mínimo 90% dos pontos amostrais devem ter discrepância inferior à metade do valor da equidistância das curvas de nível.

#### 4.2 ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps

Desenvolvida pela ASPRS (1990), com o objetivo de normatizar a avaliação de acurácia de dados planimétricos e altimétricos para mapas

topográficos em grandes escalas com o propósito de ser usado em obras de engenharia. No que diz respeito à altimetria, usa como medida estatística o REMQ. Os testes para altimetria são realizados comparando pontos medidos no mapa com pontos obtidos no terreno com alta acurácia.

#### 4.3 Digital Elevation Model Standards

Produzida pela USGS (1997). É dividida em três partes, sendo que a parte um e três foram lançadas em 1997, enquanto que a parte dois em 1998. Esta usa como medida estatística o REMQ. Para a realização dos testes estatísticos, a norma recomenda que o usuário deva medir 28 pontos, no mínimo, sendo 20 pontos localizados no interior do modelo e 8 nas bordas. A avaliação consiste em comparar pontos interpolados do modelo digital com pontos medidos no terreno. Estes devem ser bem distribuídos, representativos no terreno e com acurácia das elevações coerentes com a acurácia do modelo.

#### 4.4 Geospatial Positioning Accuracy Standards

Produzida pela FGDC em 1998. A parte três desta norma corresponde aos padrões nacionais para a acurácia de dados espaciais. Em termos de medida estatística, usa-se o REMQ. Nesta norma assume-se que as discrepâncias sistemáticas foram, da melhor forma possível, eliminados e que estes se encontram normalmente distribuídos. Logo, a acurácia vertical ( $Z$ ) passa a ser calculada  $Acurácia_z = 1,96.REMQ_z$  como sendo com um nível de confiança de 95%.

#### 4.5 Guidelines for Digital Elevation Data

Guia desenvolvido em 2004, pela NDEP, e, na verdade, é uma união dos padrões até então desenvolvidos pelas agências americanas para Modelos Digitais. Esta norma prevê dois tipos de testes para altimetria:

a. Teste Fundamental de Acurácia Vertical: Considera que os pontos de controle se encontram em terreno aberto, onde a probabilidade do sensor medir a coordenada do terreno é alta. Considera então que as discrepâncias estão normalmente distribuídos e o valor da acurácia vertical é calculado como sendo  $Acurácia_z = 1,96.REMQ_z$  com um nível de confiança de 95%.

b. Teste Suplementar de Acurácia Vertical: Usada para os casos em que os pontos de controle não estão em terreno aberto. Por conta disso, passa a considerar que a distribuição das discrepâncias pode não estar normalmente distribuída. Neste caso, a acurácia vertical é calculada usando o valor do 95<sup>th</sup> percentil .

#### 4.6 ASPRS Guidelines Vertical Accuracy Reporting for LIDAR Data

Desenvolvida pela ASPRS em 2004, com objetivo de servir como metodologia para análise de Modelos Digitais oriundos de tecnologia LIDAR. Em termos de metodologia, segue de forma análoga a NDEP (2004).

#### 4.7 ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data

Esta norma foi proposta pela ASPRS em 2014, com o objetivo de substituir as normas de 1990 e 2004. Em termos de análise, passa a considerar duas regiões de estudo para análise. Define-se então:

a. Non-vegetated Vertical Accuracy (NVA): Corresponde à acurácia para regiões sem vegetação. Considera-se neste caso que a distribuição das discrepâncias segue a distribuição normal. Uma região sem vegetação é definida como sendo aquela que possui terreno exposto, rochas, areia, grama

baixa, asfalto e concreto. Para um intervalo de confiança de 95%, o valor de acurácia deve ser 1,96 vezes o REMQ;

b. *Vegetated Vertical Accuracy (VVA)*: Acurácia para regiões com vegetação. Neste caso, a hipótese que a distribuição das discrepâncias segue uma distribuição normal pode não ser verdadeira. Um terreno com vegetação é definido como sendo aquele com culturas altas, cerrado e regiões totalmente arborizadas. Para se obter uma acurácia com 95% de confiança utiliza-se aqui o valor do p95<sup>th</sup>ercentil. A norma apresenta que a acurácia VVA é 1,5 vezes superior a acurácia NVA;

#### 4.8 Comparação com as Normas Brasileiras

No Brasil, a questão do tipo de distribuição estática dos dados não vem sendo considerada, visto que tanto o PEC, quanto o PEC-PCD ainda se utilizam da hipótese de que as discrepâncias posicionais presentes em dados geoespaciais seguem necessariamente distribuição normal.

Já em termos de medida estatística de acurácia, os documentos apresentados acima mostram que é padrão o uso do valor do REMQ (equação 4), que de forma compacta e simples, com um só indicador, já compreende as componentes de precisão e acurácia, diferentemente como é analisado em alguns trabalhos acadêmicos do Brasil. Note-se ainda que embora o trabalho de Merchant (1982) tenha servido de referência para os trabalhos no Brasil, onde propõe a análise de tendência, essa sugestão não foi seguida nas normas internacionais posteriores, nem pelo próprio Merchant, como membro do comitê da ASPRS, (Merchant, 1987), que passaram a utilizar o REMQ.

### 5 Exemplo prático

Para exemplificar o que foi apresentado neste artigo foi realizada uma comparação, entre o valor de acurácia obtido usando a análise de tendência

e precisão e o mesmo sendo obtido usando os padrões da ASPRS (2014). Para isto foram utilizados os dados apresentados em Merchant (2014), conforme a tabela 3 e calculados os valores de média e desvio-padrão.

Inicialmente, foi realizada a análise de tendência e precisão. Para definir o valor a ser usado na análise de precisão foi realizado a classificação PEC-PCD, de forma a verificar em que categoria o dado recebe melhor classificação, dentro de todas as escalas previstas no PEC-PCD. Neste caso, considera-se os dados de Merchant como dados altimétricos. Como resultado, percebe-se que os dados podem ser classificados na categoria B, dentro da escala 1:5.000. O valor de logo recebe o valor do quadrado de EP para a categoria B, dentro da escala 1:5.000. Em seguida, foi realizada a análise de tendência e precisão, usando como valor de significância 5%. Os resultados das análises podem ser visualizados na tabela 4. Estes mostram que os dados não possuem tendência e podem ser considerados precisos. Logo, como a acurácia é a combinação da análise de tendência com precisão, sendo matematicamente expressa pelo REMQ (equação 2), temos que o valor obtido de acurácia é o próprio valor de EP, visto que o valor tendência é igual a zero (teste t).

Tabela 3: Dados Utilizado para o Experimento.

<b>Id</b>	<b>Valor</b>	<b>Id</b>	<b>Valor</b>
1	-0,25	13	0,24
2	-0,15	14	-0,23
3	-0,21	15	0,61
4	-0,2	16	0,12
5	-0,32	17	0,92
6	-0,07	18	1,02
7	-0,21	19	0,23
8	0,55	20	1,22
9	-0,23	21	0,22
10	-0,16	22	-0,23
11	-0,22	23	-0,24
12	-0,21	24	0,14
<b>Média</b>	<b>0,133</b>		
<b>Desvio-padrão</b>	<b>0,441</b>		

Fonte: Merchant (1984).

Tabela 4: Valor de Acurácia, Conforme a Análise de Tendência e Precisão.

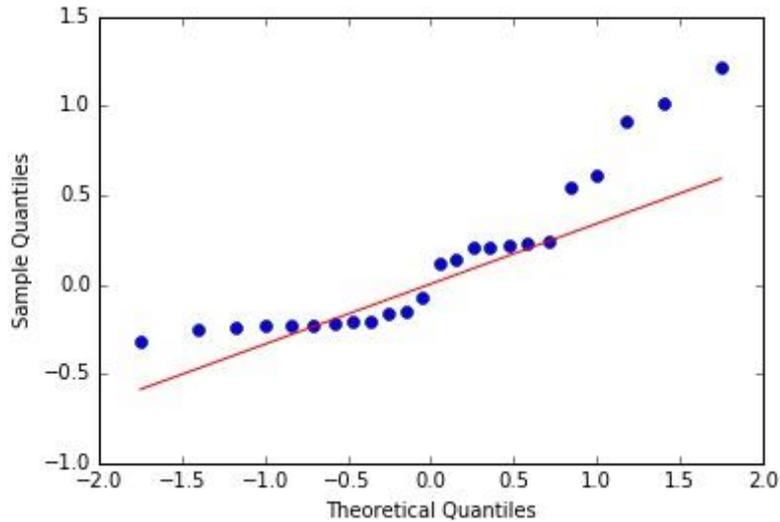
<b>Escala</b>	1:5.000
<b>PEC-PCD</b>	0,5
<b>EP</b>	0,66
<b>Classificação PEC-PCD</b>	B
<b>T Calculado</b>	1,471
<b>T Referência</b>	2,069
<b>Resultado Análise de Tendência</b>	Sem Tendência
<b>Qui-Quadrado Calculado</b>	10,276
<b>Qui-Quadrado Referência</b>	35,172
<b>Resultado Análise de Precisão</b>	Preciso
<b>Acurácia</b>	0,66

Fonte: elaborado pelo autor.

Todavia, para se aplicar este tipo de análise, é necessário que os dados tenham distribuição normal. Uma forma de verificar se a distribuição dos dados é normal é usando o gráfico quantil-quantil normal (HÖHLE; HÖHLE, 2009). O gráfico quantil-quantil normal é construído de tal forma que nas abscissas encontram-se os quantis previstos para uma distribuição normal, enquanto nas ordenadas estão os valores dos quantis amostrais. Quando os dados possuem distribuição normal tendem a se aproximar de uma reta.

O gráfico quantil-quantil normal (figura 1) obtido a partir dos dados mostram que estes não se comportam como uma reta, o que implica que não possuem distribuição normal, tornando assim duvidoso o resultado obtido pela análise de tendência e precisão.

Figura 1 – Gráfico quantil-quantil normal.



Fonte: elaborado pelo autor.

Devido a isto, uma forma de se obter o valor de acurácia é utilizando os padrões da ASPRS (2014), visto que estes contemplam a possibilidade da distribuição não ser normal.

Considerando o valor de REMQ obtido para os dados de Merchant e os padrões de acurácia previstos pela ASPRS(2014), tem-se que os valores de acurácia podem ser expressos conforme a tabela 5. Percebe-se que ambos os valores de acurácia encontrados são superiores ao verificado utilizando a análise de tendência e precisão. Conclui-se que as análises de tendência e precisão possibilitam chegar um valor de acurácia melhor, quando comparadas com os valores de acurácia da ASPRS(2014). Contudo, como existem indícios de que a distribuição das discrepâncias não tem distribuição normal, esta acurácia pode estar equivocada. Sendo assim é aconselhável utilizar os valores de acurácia da ASPRS ao invés do resultado obtido pela análise de tendência e precisão, pois esta apresenta a possibilidade de distribuição não normal.

Tabela 3: Valores de Acurácia Conforme os Padrões da ASPRS.

<b>Medidas</b>	<b>Valores Obtidos</b>
<b>REMQ</b>	0,553
<b>NVA</b>	1,085
<b>VVA</b>	1,627

Fonte: elaborado pelo autor.

## 6 Conclusão

Pelo que foi apresentado, percebe-se que as normas e as análises complementares de acurácia utilizadas no Brasil funcionam desde que a variável de estudo possua distribuição normal. Todavia, isto não vai ocorrer sempre, conforme se tem mostrado em artigos e normas internacionais. Logo, para o Brasil é essencial que os padrões de qualidade também contemplem estas possibilidades de forma a ficarem mais próximos com os padrões internacionais e também evitar problemas de classificação, visto que diversos produtos geoespaciais podem estar sendo classificados com padrões de qualidade não adequados.

Outra questão importante, presente em normas internacionais, que as normas nacionais devem acrescentar, é o uso do REMQ como medida estatística de acurácia pois contempla tanto o viés (tendência) de um estimador e sua variância (precisão). O uso de análises de tendência e precisão devem ser utilizados de forma cuidadosa, sendo importante realizar primeiramente um estudo sobre a normalidade dos dados amostrais. Verificada a possibilidade de não normalidade dos dados, deve-se evitar o uso destes tipos de análises para evitar resultados equivocados. Neste caso, uma possível solução é utilizar os padrões da ASPRS, visto que estes contemplam a situação de distribuição não-normal para discrepância de dados altimétricos. Sugere-se ainda maiores estudos sobre o assunto, de forma a verificar se há alguma distribuição estatística, no qual as discrepâncias de dados altimétricos possam ser enquadradas. Caso não haja

esta distribuição, devem ser verificados procedimentos que permitam aferir a acurácia dos dados, de forma a transmitir confiabilidade tanto para os órgãos consumidores, quanto para os produtores de geoinformação.

## Referências

- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING.  
**ASPRS: Accuracy Standards for Large-Scale Maps.** Bethesda, ASPRS, 1990.
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING.  
**ASPRS: Guidelines Vertical Accuracy Reporting for LIDAR. Data.** Bethesda, ASPRS, 2004.
- AMERICAN SOCIETY OF PHOTOGRAMMETRY AND REMOTE SENSING.  
**ASPRS: Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data.** Bethesda, ASPRS, 2014.
- BRASIL. Decreto nº 89817, de 20 de junho de 1984. Dispõe Sobre As Instruções Reguladoras das Normas Técnicas da Cartografia Nacional. Brasília: **Diário Oficial da República Federativa do Brasil**, 22 jun. 1984.
- GEMAEL, Camil. **Introdução ao Ajustamento de Observações: Aplicações Geodésicas.** Curitiba: UFPR, 1994. 319 p.
- COX, Nicholas J.. Speaking Stata: The limits of sample skewness and kurtosis. **The Stata Journal**, College Station, v. 10, 2010. pp.482-495.
- DALMOLIN, Quintino; LEAL, Evilázio da Mota. Análise da Qualidade Posicional em Bases Cartográficas Geradas em CAD. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 7, n. 1, 2001. pp.21-40.
- DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO. **ET-PCDG: Especificação Técnica para Produtos de Conjuntos de Dados Geoespaciais.** 2 ed. Brasília: DSG, 2016.
- DIRETORIA DO SERVIÇO GEOGRÁFICO. **ET-ADGV: Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais.** 2 ed. Brasília: DSG, 2015.

- FEDERAL GEOGRAPHIC DATA COMMITTEE. **FGDC-STD-007.3-1998: Geospatial Positioning Accuracy Standards, Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy.** Reston, 1998.
- GALO, Mauricio; CAMARGO, Paulo de Oliveira. Utilização do GPS no controle de qualidade de cartas. In: **CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO - COBRAC**, 1., 1994, Florianópolis. Anais... . Florianópolis: UFSC, 1994. pp.41-48.
- HÖHLE, J; HÖHLE, M. Accuracy Assessment of Digital Elevation Models by Mean of Robust Statistical Methods. **ISPRS Journal Of Photogrammetry And Remote Sensing**, Amsterdã, v. 64, 2009. pp.398-406.
- MERCHANT, Dean C.. Spatial accuracy standards for large scale line maps. In: **AMERICAN CONGRESS ON SURVEYING AND MAPPING**, 42., 1982, Falls Church. Proceedings... . Gaithersburg: ACSM, v. 1, 1982. pp. 222 – 231.
- MONTGOMERY, Douglas C.; RUNGER, George C.. **Statics and Probability for Engineers**. 3. ed. Nova Iorque: John Wiley e Sons, 2003.
- MONICO, J F et al. Acurácia e Precisão: Revendo os Conceitos de Forma Acurada. **Boletim de Ciências Geodésicas**, Curitiba, v. 15, 2009. pp.469-483.
- NATIONAL DIGITAL ELEVATION PROGRAM. **NDEP: Guideline for Digital Elevation Data**. Reston: NDEP, 2004.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **NMAS: United States National Map Accuracy Standards**. Reston, 1947.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **USGS: Part 1: General, Standards for Digital Elevation Models**. Reston, 1997.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **USGS: Part 2: Specifications, Standards for Digital Elevation Models**. Reston, 1998.
- UNITED STATES GEOLOGICAL SURVEY. **USGS: Part 3: Quality Control, Standards for Digital Elevation Models**. Reston, 1997.
- TOMASELLI, Antonio Maria Garcia; MONICO, João F G; CAMARGO, P O. Análise da exatidão cartográfica da carta imagem "São Paulo". In: **V SIMPOSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO**, 5., 1988, Natal. Anais... . Natal: Inpe, 1988. pp. 253 - 257.

WALPOLE, R. E. et al. **Probabilidade e Estatística para Engenheiros e Ciências**. 8. ed. São Paulo: Pearson, 2009. Tradução de Luciane F. Pauleti Viana.

ZANDBERGEN, Paul A.. Positional accuracy of spatial data: Non-normal distributions and a critique of the national standard for spatial data accuracy. **Transactions In GIS**. Nova Jersey, 2008. pp. 103-130.