

ANÁLISE DA QUALIDADE POSICIONAL EM BASES CARTOGRÁFICAS GERADAS EM CAD

Positional quality based on mapping bases generated from CAD

Prof. QUINTINO DALMOLIN
Departamento de Geomática
Universidade Federal do Paraná
dalmolin@geoc.ufpr.br

MSc. EVILÁZIO DA MOTA LEAL
Instituto de Geociências Aplicadas
Belo Horizonte - MG.
zambeta@bigfoot.com

RESUMO

Neste trabalho é discutida a qualidade posicional de bases cartográficas. Estas bases, além de se constituírem nas ferramentas básicas para o mapeamento temático, são de fundamental importância para as ações de planejamento do desenvolvimento. Os pontos de controle para a verificação e a apuração dos erros planimétricos e altimétricos foram coletados com receptores geodésicos GPS. A verificação foi feita com base em: (1) um documento gerado por restituição fotogramétrica analógica, (2) um arquivo digital gerado por digitalização manual em mesa digitalizadora e (3) uma carta digital impressa em *plotter*. Testes estatísticos foram conduzidos de forma a avaliar os erros cometidos, e se mostraram eficientes na validação da qualidade posicional das bases cartográficas, além de darem subsídios ao usuário para classificá-las conforme a norma vigente e julgá-las como satisfatórias ou não aos fins a que se destinam.

ABSTRACT

In this paper the positional quality is discussed. These bases are very important for developing planning, besides being basic tools for thematic mapping. Geodetic GPS receptors were used to collect control points to check and define planimetric and altimetric errors. The checking out was done relying upon: (1) a document generated by analogical photogrammetric restitution, (2) a digital file generated by manual digitising in digitising table and (3) a digital chart printed by plotter. Statistical tests were carried to evaluate errors and showed effectiveness in the

validation of the positional quality of cartographic bases as well as providing subsidies for users to classify them according to the valid rule, evaluating its usefulness to the task of mapping and planning.

1 INTRODUÇÃO

Os órgãos responsáveis pela cartografia oficial no Brasil, tanto na esfera Federal quanto Estadual, historicamente desenvolveram uma cartografia norteada pelos métodos analógicos tradicionais. Com o avanço da tecnologia digital e a inserção da cartografia neste contexto, problemas antigos foram resolvidos, mas outros começaram a surgir, como a falta de normas adequadas, parâmetros de avaliação e conversão de dados.

A cartografia digital foi pensada e desenvolvida a princípio para acelerar a produção de mapas e tornar mais ágeis os processos de edição, incluindo as generalizações, correções, atualizações e todo um rol de procedimentos que no processo cartográfico convencional se torna dispendioso e demorado.

A questão da manutenção e da melhoria da qualidade do produto surgiu como uma abordagem secundária, não que estas fossem menos importantes do que as demais, mas, principalmente, devido à necessidade de produção e pelo dinamismo que domina as tecnologias de *software* e *hardware*. A necessidade de mapear e a demanda são crescentes, enquanto as alternativas são paradoxais, pois, quando se prioriza produção, a qualidade tende a decrescer, correndo assim os riscos de:

- atender a demanda sem atingir a qualidade desejada, ou
- atingir a qualidade por meio de planejamento adequado, mas não obter produção satisfatória.

O ideal é o equilíbrio, representado pelo meio termo entre as duas situações acima colocadas, utilizando para isto normas e parâmetros mínimos que garantam a qualidade do produto no final do processo sem que se perca a evolução das tecnologias.

Os trabalhos hoje ofertados pela cartografia digital, provocam discussões e muitas vezes resistência entre os especialistas nesta área, pois de um lado há a necessidade de se representar o mais fielmente possível todas as feições da área mapeada, para que esta possa cumprir a sua função enquanto carta e se enquadrar nos padrões determinados para o mapeamento em território nacional, dentre eles o Padrão de Exatidão Cartográfica (PEC), estabelecido pelo Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984 .

Por outro lado, faltam diretrizes que determinem a uniformidade destes trabalhos, visto que, no decreto supracitado, não estão contemplados procedimentos para avaliação da cartografia digital, mesmo porque, na data da sua publicação, poucas eram as experiências registradas nesta área.

Segundo ÖSTMAN (1997), padrões para especificações de qualidade de dados espaciais e rotinas de garantia de qualidade estão sendo desenvolvidos pelo

European Committee for Standardisation (CEN) e pela *International Standardisation Organisation* (ISO), mas um dos problemas é exatamente a falta de experiências documentadas. Na proposta de padronização apresentada pelo CEN são considerados os parâmetros de acurácia posicional, temática, temporal, consistência lógica e perfeição.

Neste trabalho tomou-se como objeto de investigação a qualidade posicional em bases cartográficas digitais, e devido à falta de padrões estabelecidos nesta área, principalmente no Brasil, adotou-se os padrões de avaliação previstos no decreto 89.817, por entender que estes se aplicam à situação de transição.

Tem-se, portanto, com este trabalho o objetivo geral de analisar a qualidade posicional das feições planimétricas e altimétricas em bases cartográficas digitais e estabelecer procedimentos capazes de classificá-las conforme preconiza a legislação.

Como objetivos específicos, pretende-se sistematizar procedimentos que permitam avaliar a qualidade posicional de documentos cartográficos analógicos e digitais pela análise do produto e não pelo controle do processo, e posteriormente implantá-los no Instituto de Geociências Aplicadas (IGA), órgão que tem por finalidade coordenar e executar pesquisas e trabalhos técnicos-científicos nas áreas de Cartografia, Geografia e Geologia, no âmbito do Estado de Minas Gerais.

Julga-se relevante a discussão deste tema, pois cobre um assunto pouco abordado na literatura nacional e ao mesmo tempo discute e propõe o emprego de procedimentos estatísticos mais flexíveis e tão eficazes quanto aqueles implícitos no Decreto 89.817.

2 QUALIDADE POSICIONAL SOB O PONTO DE VISTA DO USUÁRIO E DO PRODUTOR

A qualidade de uma carta pode ser abordada considerando dois pontos de vista distintos, o do produtor e o do usuário ou contratante.

Na literatura estrangeira observa-se que os procedimentos adotados para auferir a qualidade de uma carta consideram estas duas posições e analisam o risco do produtor, que consiste em rejeitar incorretamente uma carta qualificada e o risco do consumidor, que consiste em aceitar uma carta desqualificada (ARONOFF, 1982-a; ARONOFF, 1982-b; GINEVAN, 1979; YEU *et al.*, 1996).

No Brasil, o que se pratica em termos de controle de qualidade de produtos cartográficos difere dos padrões internacionais, visto que as nossas organizações não têm tradição neste controle. O que se verifica no ato da contratação de serviços são exigências mínimas com relação à qualidade do produto. O produtor por meio de procedimentos próprios pode controlar o processo, mas geralmente não controla o produto.

Controlando o processo pode-se calcular o erro médio quadrático total previsível e obter a estimativa de precisão de uma carta. Valores empíricos são

adotados e variam em função da escala dos diapositivos, escala da carta, método de aerotriangulação e equipamento utilizado na restituição.

O produtor, no entanto, não adota procedimentos que confrontam dados confiáveis de campo com o material cartográfico produzido e desta forma não pode avaliar a acurácia.

Ao usuário cabe certificar a qualidade do produto e, neste trabalho, é apresentado e sugerido o controle de qualidade pela equipe do usuário contratante, pois garante a lisura do processo e a independência de procedimentos. Desta forma não se corre o risco de trabalhar com dados "viciados", além de poder adequar o rigor do processo às suas necessidades e condições financeiras.

Os testes estatísticos para avaliar precisão e a seqüência de procedimentos apresentados no desenvolver deste trabalho, não objetivam apurar erros isoladamente, mas considerá-los globalmente como um conjunto de erros e se baseiam na análise do desvio padrão.

A opção pelo tratamento global dos erros permite ainda avaliar a precisão de outras cartas não produzidas pela restituição, como é o caso dos levantamentos diretos em suas diversas modalidades.

A análise global dos erros não implica na inobservância dos cuidados necessários para que se tenha uma carta de boa qualidade, onde deverão ser consideradas, rotineira e individualmente, cada fase da construção, conforme previsto na Norma Brasileira 13133 que trata o procedimento à execução de levantamento topográfico, (ABNT, 1994) e manuais técnicos de aerolevantamentos e fotogrametria. Garante-se desta forma, uma carta de boa precisão e com chances de aprovação nos testes a que serão submetidas.

Testes de acurácia também são conduzidos observando o erro médio cometido entre o posicionamento das feições e suas posições equivalentes no terreno, obtidas por levantamentos GPS. Supre-se com este teste a lacuna deixada pelo produtor, além de dar credibilidade ao produto gerado.

Segundo ANTUNES & LINGNAU (1997), um mapeamento só deve ser utilizado como fonte fidedigna de informações quando associado a processos de avaliação da acurácia dos dados que o compõem. Acredita-se que a observância de padrões avaliadores de acurácia seja adequada para o processo de entrada, edição e controle de qualidade, pois certamente dá o real valor da informação cartográfica digital.

O decreto 89.817 não se refere às escalas que deverão ser contempladas pela avaliação, porém estabelece o PEC, o erro padrão que permitem classificar cartas como A, B ou C, deixando implícito que, para todas as escalas este padrão poderá ser usado. A distinção se dá apenas nos valores encontrados conforme a escala em que se deseja trabalhar.

3 CONSIDERAÇÕES SOBRE CLASSIFICAÇÃO DE DOCUMENTOS CARTOGRÁFICOS

Pela análise estatística, é possível avaliar documentos cartográficos e classificá-los observando determinado grau de confiança estabelecido a priori. A classificação decorrente se baseia no Padrão de Exatidão Cartográfica, que traduz a composição de acurácia e precisão do documento avaliado e pode gerar as seguintes situações:

- 1 – carta não acurada e precisa
- 2 – carta não acurada e imprecisa
- 3 – carta acurada e imprecisa
- 4 – carta acurada e precisa

As cartas com as características apresentadas nos itens 2 e 3 deverão ser desclassificadas, pois no caso 2, a carta não acurada revela falta de coerência nas posições quando comparadas aos valores de campo considerados verdadeiros, enquanto a carta imprecisa, revela falta de coerência interna entre suas feições. No caso 3, a carta apesar de acurada não apresenta coerência entre as feições representadas, e conforme ANDRADE (1991), normalmente admite-se que a imprecisão conduz a falta de acurácia, ainda que a estimativa desta esteja dentro do erro máximo admissível. Assim, uma carta acurada e imprecisa será desclassificada.

As cartas que se enquadram nos itens 1 e 4 devem ser classificadas, pois no caso 1, apesar da falta de acurácia, a carta apresenta precisão quando considerada a coerência entre as feições representadas. Desta forma, esta carta seria classificada no aspecto precisão, porém valendo-se de cautela no seu uso, pois suas feições não apresentam coerência com a realidade física. A classificação ideal é aquela retratada no item 4 (carta acurada e precisa), pois apresenta posições coerentes tanto entre si quanto com a realidade física.

As situações admissíveis para classificação seriam, portanto:

- carta acurada e precisa;
- carta não acurada e precisa.

Para a classificação geral, ou seja, análise da qualidade das cartas acuradas e precisas, adota-se o critério de considerar conjuntamente acurácia e precisão, prevalecendo aquela que possuir ordem inferior, evitando assim classificar uma carta inadequadamente pela introdução de incertezas de uma classe inferior (quadro I).

Quadro I: Classificação geral, considerando classes de acurácia e precisão

Precisão	Acurácia	A	B	C
	A	Classe A	Classe B	Classe C
	B	Classe B	Classe B	Classe C
	C	Classe C	Classe C	Classe C

Para as cartas não acuradas e precisas a classificação inevitavelmente obedece a classificação em precisão, mesmo porque não existe classificação em acurácia.

4 ASPECTOS IMPORTANTES SOBRE CLASSIFICAÇÃO DE CARTAS

O Decreto 89.817 estabelece em seu artigo 8^o que "90% dos pontos bem definidos numa carta, quando testados no terreno, não deverão apresentar erro superior ao Padrão de Exatidão Cartográfica estabelecido", deixando implícito o critério da proporção amostral simples para se alcançar o percentual aceitável estabelecido.

Na proporção amostral simples, não se considera a representatividade dos pontos considerados "bons"¹ perante a carta como um todo, o que torna pouco flexível a classificação de um documento cartográfico. Corre-se o risco de analisar a amostra isoladamente, e assim, não classificar ou classificar inadequadamente uma carta quando a amostra tiver um número menor de pontos atendendo ao PEC do que aqueles inicialmente exigidos. Pela distribuição binomial comprova-se que, mesmo que os pontos considerados "bons" não representem 90% da amostra, estes poderão representar a população como um todo.

5 ESCOLHA DOS CRITÉRIOS DE AVALIAÇÃO

Neste trabalho rejeita-se a proporção amostral simples como critério de avaliação devido a sua rigidez e adota-se critérios estatísticos mais flexíveis e igualmente válidos, portanto, aceitos para o teste de classificação.

Para a análise da acurácia, utilizou-se a estimativa intervalar dada pela distribuição *t* de *Student*, pois esta é particularmente válida para amostras menores que 30, consideradas pequenas. Consiste em construir um intervalo de confiança de 90% de certeza para a média populacional μ a partir da média amostral \bar{x} e da variância amostral s^2 , conhecidas.

A restrição a esta análise seria para os casos onde a população se apresenta assimétrica, mas segundo BRITO (1987), devido ao caráter accidental dos erros de posicionamento, não há razão para pressupor esta assimetria. Para assegurar esta assertiva, foi aplicado o teste de normalidade proposto por FILLIBEN (1975).

Para analisar a precisão, ou seja, a coerência interna dos elementos da carta, utilizou-se da estimativa intervalar dada pela distribuição Qui-quadrado χ^2 , que consiste em construir um intervalo de confiança de 90% para a variância populacional σ^2 a partir da variância amostral s^2 .

6 DESCRIÇÃO DOS TESTES DE CARTAS

Os testes de cartas consistem em confrontar coordenadas planimétricas N, E e altimétricas h, e a partir de parâmetros de precisão e acurácia pré-estabelecidos, verificar sua qualidade dentro de determinado grau de confiança, podendo desta

¹ Pontos que apresentam erros inferiores ao Padrão de Exatidão Cartográfica estabelecido pelo Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984.

forma classificá-las de acordo com o que estabelece o Decreto 89.817 de 20 de junho de 1984.

Neste trabalho, adota-se como objeto de análise os erros da resultante entre as discrepâncias planimétricas das componentes Norte e Este.

Para altimetria, avaliam-se os erros em valores absolutos apurados entre as componentes h. Estes erros são tratados como valores absolutos, pois o que se deseja é quantificá-los e não identificar em que sentido eles ocorrem.

Foram executados três testes, conforme descrito a seguir:

a) Carta gráfica x campo

Nesta etapa é possível classificar a carta gráfica, pois serão qualificados os erros cometidos no processo de restituição e compilação - no caso de levantamentos fotogramétricos - e os erros cometidos no processo de desenho convencional, no caso de levantamentos diretos.

b) Arquivo digital x campo

Nesta etapa é possível classificar o arquivo digital, pois serão qualificados os erros cometidos no processo de captura de dados por meio da digitalização, além daqueles oriundos da carta gráfica de origem.

c) Carta digital impressa x campo

Este teste visa classificar o produto digital impresso, contemplando desta forma todo o espectro de erros cometidos e introduzidos no decorrer do processo, ou seja, desde a restituição, compilação ou pelo desenho convencional até a entrada em meio digital por meio da digitalização e finalmente pelo processo de impressão por *plotter*.

7 ETAPAS DOS TESTES

Apresenta-se um roteiro da aplicação dos testes propostos no item anterior, contemplando desde a verificação da normalidade da amostra até a classificação do documento cartográfico.

7.1 TESTE DE NORMALIDADE

Para avaliação de amostras de populações, muitos testes estatísticos requerem a normalidade da distribuição, especialmente aquelas consideradas amostras pequenas ($n < 30$).

Segundo ANDRADE (1991), "é imprescindível testar a amostra quanto à normalidade da distribuição". Testes como o χ^2 (Qui-quadrado) podem ser empregados na verificação da aderência de uma distribuição amostral a um modelo teórico, mas apresentam o inconveniente de não serem recomendados para pequenas amostras, que é exatamente o que ocorre nos testes apresentados neste trabalho.

Segundo GAGG (1997), pesquisadores têm se valido do teste de verificação de normalidade apresentado por FILLIBEN (1975), pois este se constitui numa ferramenta confiável na avaliação da normalidade de amostras e torna-se satisfatoriamente adequado para testes em pequenas amostras. Baseia-se no gráfico de probabilidades denominado *Q-Q Plot* e no coeficiente de correlação r , dado por:

$$r = \text{corr}(X_i, Z_i) = \frac{\left[n \cdot \sum_{i=1}^n (X_i \cdot Z_i) - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right) \left(\sum_{i=1}^n Z_i \right) \right]}{\sqrt{\left[n \cdot \left(\sum_{i=1}^n X_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n X_i \right)^2 \right] \left[n \cdot \left(\sum_{i=1}^n Z_i^2 \right) - \left(\sum_{i=1}^n Z_i \right)^2 \right]}} \quad (1)$$

O teste consiste em calcular o coeficiente de correlação e compará-lo a valores tabelados em função do número de pontos da amostras e o nível de confiança a ser utilizado no teste.

7.2 AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA

Para a análise da acurácia, utilizou-se a estimativa intervalar dada pela distribuição *t* de *Student*, pois esta é particularmente válida para amostras consideradas pequenas. Consiste em construir um intervalo de confiança de 90% de certeza para a média populacional μ a partir da média amostral \bar{x} e da variância amostral s^2 , conhecidas.

$$\mu \leq \bar{x} + (t_{\alpha}) \cdot \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right) \quad (2)$$

Posteriormente aplica-se um teste de hipótese com nível de significância de 10%, para validação da acurácia, confrontado-se a hipótese $H_0: \mu \leq x$ com a hipótese $H_1: \mu > x$, onde x são os erros máximos em acurácia admissíveis para as classes A, B e C, conforme estabelecido pelo Decreto. O cálculo da estatística é dado por:

$$t = \frac{(\bar{x} - \mu_0)}{\frac{s}{\sqrt{n}}} \quad (3)$$

7.3 AVALIAÇÃO DA PRECISÃO

Para analisar a precisão, ou seja, a coerência interna dos elementos da carta, utilizou-se da estimativa intervalar dada pela distribuição Qui-quadrado χ^2 , que

consiste em construir um intervalo de confiança de 90% para o desvio padrão populacional σ a partir do desvio padrão amostral s .

$$\sigma \leq \sqrt{\frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{1-\alpha}}} \quad (4)$$

Posteriormente aplica-se um teste de hipótese com nível de significância de 10%, para validação da precisão, confrontado-se a hipótese $H_0: \sigma^2 \leq x^2$ com a hipótese $H_1: \sigma^2 > x^2$, onde x são os erros máximos admissíveis em precisão para as classes A, B e C, conforme estabelecido pelo Decreto. O cálculo da estatística é dado por:

$$\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma_0^2} \quad (5)$$

7.4 CLASSIFICAÇÃO DO DOCUMENTO CARTOGRÁFICO

Após a classificação, esta deverá constar no rodapé da carta, conforme prevê o Decreto.

Acurácia em planimetria e altimetria

Valores obtidos pelos testes de hipótese e classificação em acurácia, observadas as tolerâncias estabelecidas no Decreto 89.817.

Precisão em planimetria e altimetria

Valores obtidos pelos testes de hipótese e classificação em precisão, observadas as tolerâncias estabelecidas no Decreto 89.817.

Qualidade planimétrica e altimétrica

Qualidade planimétrica e altimétrica obtidas pela composição da classificação em acurácia e precisão, observadas as condições discutidas no item 3 e resumidas no quadro I.

8 APLICAÇÃO DA METODOLOGIA – EXECUÇÃO DO TESTE "CARTA GRÁFICA X CAMPO"

O roteiro apresentado no item 7, aqui é executado com base em dados coletados com receptores geodésicos GPS, no Distrito Industrial de Itaúna-MG, que comparados a uma restituição fotogramétrica na escala 1:10 000 da mesma área, possibilitam a execução dos testes que se seguem.

8.1 PLANIMETRIA

As discrepâncias apuradas entre os dados obtidos da carta gráfica e o levantamento de campo são as amostras utilizadas neste teste e são individualizadas na coluna 4 da tabela 1.

Tabela 1: Erros entre coordenadas da carta gráfica e coordenadas de campo

Ponto	Erros apurados (m)			
	Norte	Este	Plan.	Altim.(Abs)
1	0,31	-2,07	2,09	0,92
2	-16,00	-15,75	22,45	2,61
3	2,48	2,13	3,27	8,68
5	0,90	-25,77	25,79	0,29
6	4,04	-16,43	16,92	0,92
7	-1,20	-7,87	7,96	0,29
9	-4,22	-9,80	10,67	10,58
10	-3,08	6,15	6,88	3,30
11	-2,89	6,61	7,21	2,21
12	-1,88	-6,18	6,46	0,09
Média dos Erros planim/Altim.			10,97	2,99
Desvio padrão planim/Altim.			8,06	3,69

8.1.1 TESTE DE NORMALIDADE

Calculo do coeficiente de correlação dado pela expressão (1);

$$r = \frac{(673,99)}{\sqrt{513810,5182}} \Rightarrow r = 0,940$$

Determinação do coeficiente de correlação tabelado r_{tab} ;

conforme tabela de Filliben, para $n = 10$ e $\alpha = 0,1$

coeficiente de correlação $r_{\text{tab}} = 0,934$

Comparando o coeficiente de correlação calculado $r = 0,940$, com o coeficiente de correlação tabelado $r_{\text{tab}} = 0,934$, conclui-se que a distribuição é considerada normal pois $r = 0,940 > r_{\text{tab}} = 0,934$.

construção do gráfico *Q.Q Plot* (figura 1).

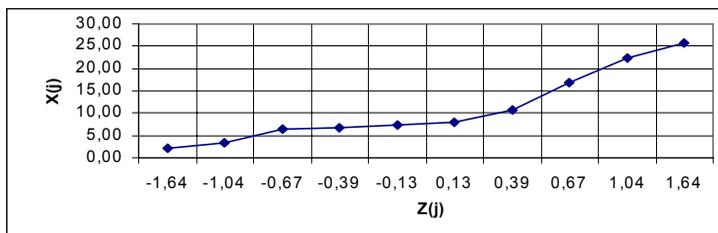


Figura 1: gráfico *Q.Q Plot* para planimetria – teste 1

Analisando o gráfico conclui-se que a distribuição se apresenta normal, corroborando a análise do coeficiente de correlação feita anteriormente. Verifica-se

uma pequena discrepância, mas, no aspecto geral, os pontos se distribuem aproximadamente como uma reta.

8.1.2 AVALIAÇÃO DA ACURÁCIA

A estimação da média populacional μ a partir da média amostral \bar{x} , sendo o desvio padrão populacional σ desconhecido é dada por (2):

$$\mu \leq \bar{x} + (t_{\alpha}) \cdot \left(\frac{s}{\sqrt{n}} \right)$$

Dados:

média amostral $\bar{x} = 10,97$ m

desvio padrão amostral $s = 8,06$ m

média populacional $\mu = ?$

intervalo de confiança I.C = 90% (figura 2)

graus de liberdade $v = n - 1$; $v = 10 - 1$; $v = 9$

conforme tabelado, $t_{\alpha} = 1,38$

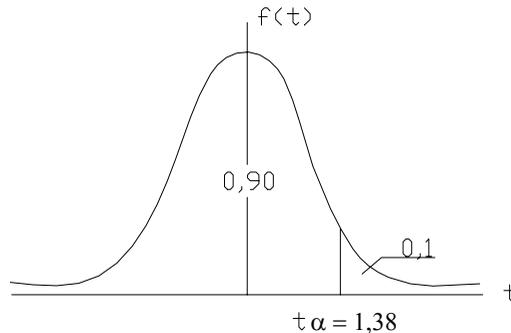


Figura 2: intervalo de confiança de 90% para o teste 1 – planimetria construção do intervalo unilateral

$$\mu \leq 10,97 + (1,38) \cdot \left(\frac{8,06}{\sqrt{10}} \right) \Rightarrow \mu \leq 14,49$$

Ou seja, a média μ estimada da população é inferior a **14,49 m** no intervalo de confiança de 90%.

Para a classificação nos padrões A, B ou C, tem-se como erro máximo permitido 0,5 mm, 0,8 mm e 1,00 mm que correspondem respectivamente a 5 m, 8 m e 10 m no terreno na escala 1:10 000, portanto inferiores à maior média possível para o intervalo determinado.

Porém, não basta o erro máximo permitido ser menor que a maior média possível para o intervalo, é preciso certificar qual a probabilidade deste ser menor ou igual a 5, 8 ou 10 m.

Na verificação para a classe A, faz-se um teste de hipótese onde se confronta a hipótese $H_0: \mu \leq 5$ m com a hipótese $H_1: \mu > 5$ m com um nível de significância de 10%. Rejeitando-se a hipótese H_0 , aceita-se a hipótese H_1 .

Para o teste usa-se a expressão (3) que se relaciona com a distribuição *t* de Student, pois o desvio padrão populacional é desconhecido.

$$t = \frac{(\bar{x} - \mu_0)}{\frac{s}{\sqrt{n}}}$$

Onde:

t = estatística amostral calculada

\bar{x} = média amostral

s = desvio padrão amostral

μ_0 = média populacional esperada

n = tamanho da amostra.

Tem-se assim a formulação do teste

- 1) $H_0: \mu \leq 5$ m
- 2) $H_1: \mu > 5$ m
- 3) $\alpha = 0,1$ (1 - 0,9)
- 4) Região de rejeição (figura 3)
- 5) Cálculo da estatística t

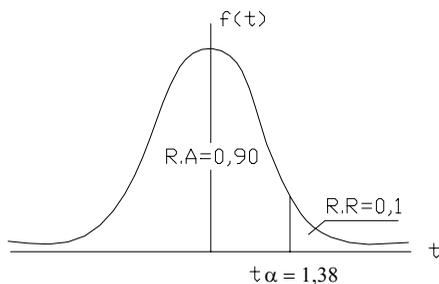


Figura 3: região de rejeição e aceitação para acurácia – planimetria - classe A e a sua resolução

$$t = \frac{(10,97 - 5)}{\frac{8,06}{\sqrt{10}}} \Rightarrow t = 2,34$$

Para consulta aos valores tabelados:

graus de liberdade $\nu = 9$ ($n-1$), área de rejeição $p = 0,1$ ($1-0,9$) $\Rightarrow t_{\alpha} = 1,38$

Conclusão

Como $t = 2,34 > t_{\alpha} = 1,38$, rejeita-se a hipótese H_0 ao nível de significância de 10%, ou seja, a média populacional é maior que 5 m, portanto acima do erro máximo permitido para a classe A, impedindo desta forma a classificação nesta classe.

Na impossibilidade de classificação em carta padrão A, passa-se a analisar as tolerâncias para a classe B, que tem como erro máximo permitido 0,8 mm na escala da carta que corresponde a 8 m no terreno na escala 1:10 000, portanto inferior a 14,49 m e passível de classificação a partir da confirmação pelo teste de hipótese.

O teste aplicado é análogo ao anterior, divergindo apenas na tolerância admitida para o erro médio.

- 1) $H_0: \mu \leq 8$ m
- 2) $H_1: \mu > 8$ m
- 3) $\alpha = 0,1$ ($1 - 0,9$)
- 4) Região de rejeição (figura 4)
- 5) Cálculo da estatística t

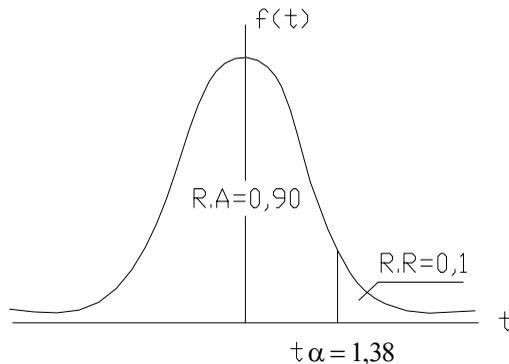


Figura 4: região de rejeição e aceitação para acurácia– planimetria - classe B

$$t = \frac{(10,97 - 8)}{\frac{8,06}{\sqrt{10}}} \Rightarrow t = 1,17$$

conforme tabela $t_{\alpha} = 1,38$

Conclusão

Como $t = 1,17 < t_{\alpha} = 1,38$, a hipótese H_0 é aceitável ao nível de significância de 10%, ou seja, a média populacional é menor ou igual a 8 m no intervalo considerado, portanto inferior ao erro máximo permitido para a classe B, permitindo desta forma a classificação em acurácia nesta classe.

8.1.3 AVALIAÇÃO DA PRECISÃO

Para apurar a precisão de uma carta ou documento cartográfico qualquer, trilha-se de forma análoga o caminho desenvolvido na determinação da acurácia, diferenciando-se pelo tipo de teste a ser aplicado, utilizando-se o desvio padrão onde se tomava como base a média.

A estimação do desvio padrão populacional σ a partir do desvio padrão amostral s é dada por (4):

$$\sigma \leq \sqrt{\frac{(n-1)s^2}{\chi^2_{1-\alpha}}}$$

Dados:

média amostral $\bar{x} = 10,97$

desvio padrão amostral $s = 8,06$

desvio padrão populacional $\sigma = ?$

intervalo de confiança I.C = 90%

graus de liberdade $v = n-1$; $v = 10 - 1$; $v = 9$

conforme tabelado, $\chi^2_{\alpha} = 14,684$ ($v = 9$, $p = 0,10$)

$\chi^2_{1-\alpha} = 4,168$ ($v = 9$, $p = 0,90$)

construção do intervalo unilateral

$$\sigma \leq \sqrt{\frac{(10-1) \cdot 8,06^2}{4,168}} \Rightarrow \sigma \leq 11,84$$

Ou seja, o desvio padrão σ estimado da população é inferior a **11,84 m** no intervalo de confiança de 90%.

Para classificação nos padrões A, B ou C, tem-se como erro máximo permitido 0,3 mm, 0,5 mm e 0,6 mm que corresponde respectivamente a 3 m, 5 m e 6 m no terreno, na escala 1:10 000, portanto inferiores ao maior desvio possível para o intervalo determinado.

Porém, não basta o desvio máximo permitido ser menor que o maior desvio possível para o intervalo, é preciso ainda certificar qual a probabilidade deste ser menor ou igual a 3 m, 5 m ou 6 m.

Na verificação para a classe A, faz-se um teste de hipótese onde se confronta a hipótese $H_0: \sigma^2 \leq 3^2$ m com a hipótese $H_1: \sigma^2 > 3^2$ m com um nível de significância de 10%. Rejeitando-se a hipótese H_0 , aceita-se a hipótese H_1 .

Para o teste, usa-se a expressão (5) que se relaciona com a distribuição Qui-quadrado (χ^2), e utiliza da variância na formulação.

$$\chi^2 = \frac{(n-1)s^2}{\sigma_0^2}$$

onde:

χ^2 = estatística amostral calculada

s = desvio padrão amostral

σ_0^2 = variância populacional esperada

n = tamanho da amostra.

Tem-se assim a formulação do teste

1) $H_0: \sigma^2 \leq 3^2$ m

2) $H_1: \sigma^2 > 3^2$ m

3) $\alpha = 0,1$ (1 - 0,9)

4) Região de rejeição (figura 6)

6) Cálculo da estatística χ^2

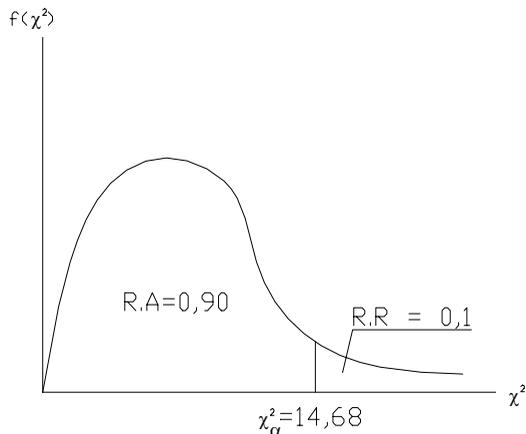


Figura 6: região de rejeição e aceitação para precisão – planimetria - classe A e a sua resolução

$$\chi^2 = \frac{(10-1)8,06^2}{3^2} \Rightarrow \chi^2 = 64,96$$

Conforme tabela $\chi^2_{\alpha} = 14,68$

Conclusão

Como $\chi^2 = 64,96 > \chi^2_{\alpha} = 14,68$, rejeita-se a hipótese H_0 ao nível de significância de 10%, pois a variância populacional é maior que 9 m, ou seja, o desvio padrão é maior que 3 m, portanto superior ao erro de dispersão máximo permitido para a classe A, não permitindo desta forma a classificação nesta classe.

Na impossibilidade de classificação na classe A, avalia-se possibilidade de classificação na classe B.

- 1) $H_0: \sigma^2 \leq 5^2$ m
- 2) $H_1: \sigma^2 > 5^2$ m
- 3) $\alpha = 0,1$ (1 - 0,9)
- 4) Região de rejeição (figura 7)
- 6) Cálculo da estatística χ^2

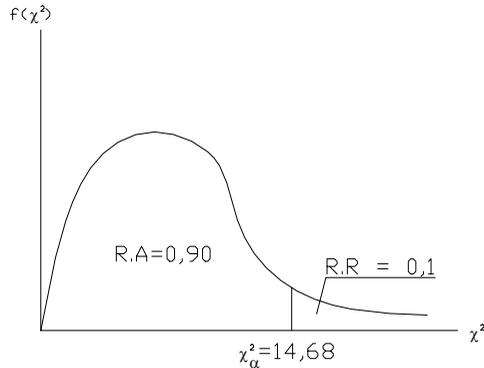


Figura 7: região de rejeição e aceitação para precisão – planimetria - classe B

$$\chi^2 = \frac{(10-1) \cdot 8,06^2}{5^2} \Rightarrow \chi^2 = 23,39$$

Conforme tabela $\chi^2_{\alpha} = 14,68$

Conclusão

Como $\chi^2 = 23,39 > \chi^2_{\alpha} = 14,68$, rejeita-se a hipótese H_0 ao nível de significância de 10%, pois a variância populacional será maior que 25 m, ou seja, o desvio padrão é maior que 5 m, portanto superior ao erro de dispersão máximo permitido para a classe B, não permitindo desta forma a classificação nesta classe.

Resta ainda a classe C, que admite desvios de até 6 m. Analogamente aos testes anteriores, é formulada a hipótese, diferenciando apenas no valor do desvio padrão.

- 1) $H_0: \sigma^2 \leq 6^2$ m
- 2) $H_1: \sigma^2 > 6^2$ m
- 3) $\alpha = 0,1$ (1 - 0,9)
- 4) Região de rejeição (figura 8)
- 5) Cálculo da estatística χ^2

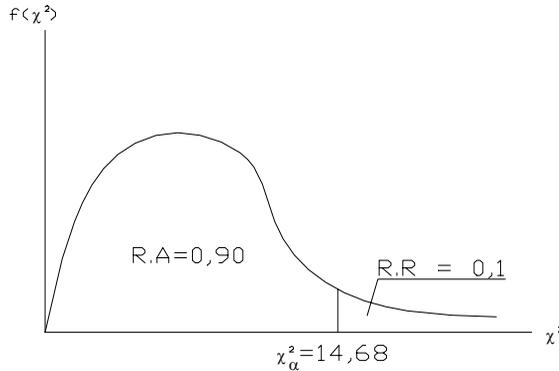


Figura 8: região de rejeição e aceitação para precisão – planimetria - classe C

$$\chi^2 = \frac{(10-1) \cdot 8,06^2}{6^2} \Rightarrow \chi^2 = 16,24$$

Conforme tabela $\chi^2_{\alpha} = 14,68$

Conclusão

Como $\chi^2 = 16,24 > \chi^2_{\alpha} = 14,68$, rejeita-se a hipótese H_0 ao nível de significância de 10%, pois a variância populacional será maior que 36 m, ou seja, o desvio padrão é maior que 6 m, portanto superior ao erro de dispersão máximo permitido para a classe C, não permitindo desta forma a classificação nesta classe.

Apurados os valores para a média e para o desvio padrão, classifica-se a carta como acurada para o nível B, pois esta apresenta discrepâncias dos valores "verdadeiros" obtidos de campo de até 8 m e imprecisa para os demais níveis por não apresentar coerência entre suas feições, visto que a dispersão apurada em torno da média está acima dos limites estabelecidos pela legislação.

Conforme discutido na seção 3, se presumido que não há acurácia quando não há precisão, não resta outra alternativa senão desclassificar planimetricamente a carta em questão, mesmo esta tendo apresentado acurácia suficiente para classificá-la como padrão B.

8.2 ALTIMETRIA

Os testes para avaliação de acurácia e precisão em altimetria são análogos aos testes planimétricos, diferenciando-se apenas nos valores das discrepâncias tomadas para

análise (coluna 5, tabela 1) e os valores admitidos para erro máximo dentro das classes A, B e C em altimetria conforme estabelecido pelo decreto.

8.3 CLASSIFICAÇÃO DA CARTA GRÁFICA

Após a classificação, esta deverá constar no rodapé da carta, conforme prevê o decreto.

8.3.1 PLANIMETRIA

Acurácia: padrão B – posições com no máximo 8 m de afastamento das posições de campo consideradas verdadeiras.

Precisão: fora de padrão – posições com dispersão em torno da média acima da tolerância estabelecida.

Qualidade planimétrica: carta sem classificação, conforme padrões especificados pelo Decreto 89.817, de 20 de junho de 1984.

8.3.2 ALTIMETRIA

Em altimetria o procedimento é o mesmo, isto é, classificação em acurácia, em precisão e a composição de ambas, resultando na qualidade altimétrica.

9 CONCLUSÕES

Concluiu-se que:

- A metodologia proposta é viável e se apresenta mais flexível e tão eficiente quanto a proporção amostral simples implícita do Decreto 89.817, além de proporcionar ao usuário uma forma de proceder sua própria avaliação e conhecer a qualidade do produto que vai utilizar.

- Altitudes obtidas com o GPS, não se mostram adequadas para as avaliações em escalas grandes, onde a equidistância entre curvas é reduzida, requerendo por isto uma interpolação de maior precisão, o que não é oferecido pelo mapa geoidal do IBGE.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. **Execução de Levantamento Topográfico**, NBR 13133. Rio de Janeiro, 1994.

- ANDRADE, D. F. P. N. Avaliação da Exatidão de Documentos Cartográficos. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 44, p. 8-11, 1991.
- ANTUNES, A. F. B. & LINGNAU, C. Uso de Índices de Acurácia para Avaliação de Mapas Temáticos Obtidos por Meio de Classificação Digital. In: **III Congresso e Feira para Usuários de Geoprocessamento**. Curitiba, p. s/n, 1997.
- ARONOFF, S. Classification Accuracy: A User Approach. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, v. 48, n. 8, p. 1299-1307, 1982-a.
- ARONOFF, S. The Map Accuracy Report: A User's View. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, v. 48, n. 8, p. 1309-1312, 1982-b.
- BRITO, J. L. N. S. Proposta de Metodologia para a Classificação de Documentos Cartográficos. **Revista Brasileira de Cartografia**, Rio de Janeiro, n. 41, p. 27-42, 1987.
- FILLIBEN, J. J. The Probability Plot Correlation Coefficient Test for Normality. **Technometrics**, Washington, v. 17, n. 1, p. 111-117, 1975.
- GAGG, G. **Auscultação Gravimétrica na Região da Barragem Bento Munhoz da Rocha**. Curitiba, 1997. Dissertação de Mestrado, Curso de Pós-Graduação em Ciências Geodésicas – Universidade Federal do Paraná.
- GINEVAN, M. E. Testing Land-Use Map Accuracy: Another Look. **Photogrammetric Engineering & Remote Sensing**, Falls Church, v. 45, n. 10, p. 1371-1377, 1979.
- ÖSTMAN A. The Specification and Evaluation of Spatial Data Quality. In: **18th ICA/ACI international Cartographic Conference**. Stockholm, v. 4, p. 836-847, 1997.
- YEU, B.; KWON, H.; LEE, S.; SHIN, D. Statistical Test for Evaluation of the Accuracy of Digital Maps for Geo-spatial. **International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing**, Vienna, v. XXXI, Part B2, p. 411-414, 1996.

(Recebido em 10/01/01. Aceito para publicação em 19/03/01.)