

## APLICAÇÃO DO PADRÃO DE EXATIDÃO PLANIMÉTRICA PARA PRODUTOS CARTOGRÁFICOS DIGITAIS (PEC-PCD)

Elias Nasr Naim Elias<sup>1</sup>, Priscyla Carvalho de Assis Miranda<sup>2</sup>, Alexandre Aquino da Cunha<sup>3</sup>, Vivian de Oliveira Fernandes<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Eng. Agrimensor e Cartógrafo, Mestrando do PPEC-UFBA, Salvador, BA, elias\_naim2008@hotmail.com

<sup>2</sup> Graduanda do curso de Engenharia de Agrimensura e Cartográfica - UFBA, Salvador, BA, priscylamiranda@hotmail.com

<sup>3</sup> Eng. Agrimensor e Cartógrafo, Mestrando do PPEC-UFBA, Salvador, BA, alexandre.aquino@ufba.br

<sup>4</sup> Eng. Cartógrafa, Professora da UFBA, Salvador, BA, vivian.fernandes@ufba.br

**RESUMO:** O avanço da tecnologia tem possibilitado aos usuários a elaboração de mapas digitais muitas vezes sem o conhecimento necessário, gerando preocupação em relação à sua confiabilidade, dado que visando o cumprimento da sua função enquanto mapa precisam se enquadrar nos padrões determinados para o mapeamento, sendo o Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais – PEC PCD a versão atualizada voltada para produtos cartográficos digitais. Este artigo tem como finalidade demonstrar as etapas para a aplicação do PEC-PCD. Para isso foi utilizado uma comparação entre as coordenadas coletadas em campo com receptor GNSS de dupla frequência e as coordenadas homólogas encontradas na planta topográfica na escala de 1:2000 do campus da Universidade Federal da Bahia (UFBA), obtida por meio de um levantamento topográfico planialtimétrico realizado no ano de 2009. Primeiramente foi calculado a quantidade de amostras, em seguida foi escolhida as feições para a realização da comparação das suas coordenadas, para em seguida calcular a acurácia posicional e por fim aplicar o PEC-PCD. A avaliação de qualidade posicional planimétrica realizada através de testes estatísticos apresentou resultados que indicam a constância geométrica da planta digital, classificada como de Classe A para planimetria na escala de 1:2000.

**PALAVRAS-CHAVE:** controle de qualidade, PEC-PCD, INDE

**INTRODUÇÃO:** A determinação da acurácia posicional de um produto cartográfico é de extrema importância no que diz respeito a obtenção de dados referentes a precisão das coordenadas especificadas e as formas de aplicação para fins de mapeamento de acordo com os parâmetros utilizados. A qualidade posicional indica o quanto uma representação equivale (em escala) a realidade. Segundo Salisso (2013), a posição de um determinado elemento no mundo real é analisada e descrita em um mapeamento a partir dos valores que representam o seu sistema de coordenadas apropriado. Este trabalho pretende apresentar os passos para aplicação do PEC-PCD, indicador estatístico do ET-ADGV (CONCAR-EB, 2011). É importante ressaltar que no dia 10 de fevereiro de 2016 foi publicada a Portaria Nº 009-DCT aprovando a Norma da Especificação Técnica para Controle de Qualidade de Dados Geoespaciais (EB80-N-72.004), 1ª Edição - 2016. Em relação à acurácia posicional planimétrica, a norma vem com o instrumento que indica o Padrão de Exatidão Cartográfica para um produto geoespacial baseado no erro máximo admissível (EM) e no erro-padrão (EP) para a planimetria.

**MATERIAL E MÉTODOS:** As etapas a seguir têm o intuito de determinar a acurácia posicional planimétrica do produto em questão. Primeiramente a determinação do número de amostras. Embora seja de extrema importância determinar o tamanho da amostra para fins de análises cartográficas a legislação em vigência no Brasil, referente ao Decreto Lei 89.817/84, não trata do assunto e a Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais – ET-ADGV (2012) também não cita essa aplicabilidade. Nogueira Jr. (2003), baseado nas pesquisas de Pereira (1979) e Rocha (2002) desenvolveu um estudo sobre amostragem onde a partir de parâmetros estatísticos tornou-se possível desenvolver uma técnica para a determinação do tamanho da amostra para controle de qualidade em cartografia. O tamanho mínimo de amostras a serem utilizadas podem ser calculadas a partir da expressão (01) onde determina-se por meio de uma população finita com estimação da média populacional ( $\mu$ ) e erro máximo admissível ( $\epsilon$ ) e um nível de confiança ( $1 - \alpha$ ) em que se deseja determinar os parâmetros.

$$n = \frac{Z^2 \sigma^2 N}{(N - 1) \varepsilon^2 + Z^2 \sigma^2} \quad (01)$$

Em que  $n$  corresponde ao tamanho da amostra,  $Z$  é o intervalo de Confiança,  $N$  é o tamanho da população,  $\sigma$  é o desvio padrão amostral e  $\varepsilon$  é erro Amostral Relativo. A próxima etapa foi a escolha das Feições localizadas na planta que pudessem ser facilmente vistas em campo na área que contempla a região de estudo As Figuras (1) e (2) a seguir exibem, respectivamente, o exemplo de uma feição localizada na Planta Topográfica da UFBA e após as vistorias em campo, a fotografia da feição da mesma na área de estudo do campus.

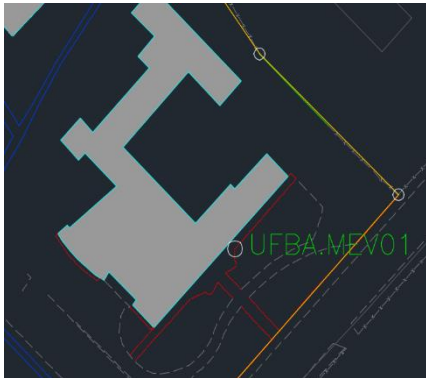


Figura 1 – Feição na Planta Topográfica  
 Fonte: Planta Topográfica da UFBA (2009)



Figura 2 – Fotografia da Feição em campo  
 Fonte: Elaborada pelos autores (2016)

Para o levantamento foi utilizado o método de posicionamento relativo, utilizando um receptor GNSS Promark 220, operando com as portadoras L1 e L2 e o pós-processamento realizado no software Topcon Tools v.7.5.1 utilizando como vértices de referência duas estações da Rede Brasileira de Monitoramento Contínuo (RBMC), sendo denominadas Salvador – INCRA (SAVO) e Salvador – Capitania (SSA) obtidos de forma online no site ([www.ibge.gov.br/geociencias](http://www.ibge.gov.br/geociencias)). Sendo o período de rastreamento de aproximadamente 01:00 hora. Na determinação da acurácia posicional foram utilizados parâmetros estatísticos propostos por Nogueira Jr. (2003), onde são realizados testes de tendência e de precisão. A análise de tendência consiste nas análises estatísticas entre as coordenadas de referência do mundo real de determinadas feições obtidas por algum método de levantamento ( $X_i$ ) em relação as coordenadas da carta a ser avaliada ( $X_{i_c}$ ). O principal intuito desta análise é verificar a existência de tendência de erros em alguma direção da carta, utilizando o cálculo as discrepâncias entre os pares de coordenadas. Calcula-se a média ( $\overline{\Delta X}$ ) e o desvio padrão ( $S_{\Delta x}$ ) dos mesmos afim de que sejam parâmetros para determinar a tendência decorrente na carta. Para que seja realizado o teste de tendência são utilizadas as hipóteses  $H_0: \overline{\Delta X} = 0$  e  $H_1: \overline{\Delta X} \neq 0$ . Logo conhecendo as hipóteses a serem identificadas, o próximo passo é a realização do cálculo da estatística amostral “t” com o intuito de verificar se o resultado está no intervalo de aceitação ou rejeição da hipótese nula. O valor de “t” amostral é obtido da seguinte maneira:

$$t_x = \frac{\overline{\Delta X}}{S_{\Delta x}} \sqrt{n} \quad (02)$$

Onde  $n$  é o número de amostras utilizadas. Para a análise do valor encontrado para “t” é necessário associa-lo a um valor tabelado, dessa maneira é utilizada o intervalo de confiança referente ao teste “t” Student que é dado da seguinte maneira:

$$|t_x| < t_{(n-1; \frac{\alpha}{2})} \quad (03)$$

onde o valor de “t” Student tabelado possui  $(n - 1)$  graus de liberdade e a um nível de significância  $\alpha$ . Dessa maneira se o módulo calculado para o “t” amostral for menor que o valor de “t” tabelado aceita-

se a hipótese nula ( $\overline{\Delta X} = 0$ ), ou seja, a carta pode ser considerada livre de tendências significativas, contrariamente caso a desigualdade não seja satisfeita rejeita-se a hipótese nula ( $\overline{\Delta X} \neq 0$ ) e a carta avaliada poderá apresentar erros significativos para um determinado nível de confiança. Segundo GALO e CAMARGO (1994), o fato de haver tendência indica possíveis erros em uma determinada direção sendo decorrentes por uma série de fatores. Contudo conhecidas as discrepâncias e a direção das falhas o seu o efeito pode ser minimizado realizando o procedimento de subtração do seu valor em cada coordenada em análise da carta. Para a análise de precisão, Nogueira Jr. (2003), indica a comparação do Desvio Padrão encontrado a partir das discrepâncias entre as coordenadas levantadas e as coordenadas da carta com o Erro Padrão (EP) avaliado pelo Padrão de Exatidão Cartográfica – PEC em relação a Classe em que se deseja avaliar a precisão da carta. O teste de hipótese formulado para análise da precisão é dado da seguinte forma:

$$H_0: S^2_{\Delta x} = \sigma^2 x \quad (04)$$

$$H_1: S^2_{\Delta x} \neq \sigma^2 x \quad (05)$$

Onde  $\sigma^2 x$  corresponde ao desvio padrão ou erro padrão esperado de acordo com a classe da carta em que se deseja analisar. Assumindo o valor da resultante gerada como sendo Erro Padrão e considerando ser equivalente nas componentes horizontais determinadas, tem-se que:

$$\sigma x = EP/\sqrt{2} \quad (06)$$

Com esses parâmetros iniciais aplica-se o teste Qui-quadrado amostral afim de utilizar dos métodos estatísticos e determinar a classe da carta. O teste Qui-quadrado amostral é dado da seguinte forma:

$$X_x = (n - 1)S^2_{\Delta x}/\sigma^2 x \quad (07)$$

A partir desse cálculo é realizada a análise do enunciado que diz respeito ao teste de hipótese onde utiliza-se o valor de Qui-quadrado tabelado de acordo com a seguinte condição:

$$X^2_x \leq X^2_{(n-1;\alpha)} \quad (08)$$

onde o valor de Qui- Quadrado tabelado possui (n - 1) graus de liberdade e a um intervalo de confiança  $\alpha$ . Dessa maneira se a expressão anterior for satisfeita aceita-se a hipótese nula de que a carta atende a classe estabelecida de acordo com a precisão da mesma, caso contrário rejeita-se a hipótese nula de que a carta atende a classe estabelecida. A análise é realizada até que a expressão seja atendida, caracterizando a classe a carta de acordo com a sua precisão. A próxima etapa é a aplicação PEC-PCD por meio da classificação do Padrão de Exatidão Cartográfica para Produtos Cartográficos Digitais (PEC-PCD) Planimétrico estabelecida na Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geoespaciais Vetoriais (ET-ADGV, 2012). Através dela é possível estabelecer uma comparação do PEC-PCD planimétrico atual (2012) com o PEC do ano de 1984, onde as classes “B”, “C” e “D” do PEC-PCD equivalem respectivamente as classes “A”, “B” e “C” do PEC antigo (1984).

**RESULTADO E DISCUSSÃO:** De acordo com as análises feitas e os cálculos estatísticos realizados, os resultados foram obtidos de acordo com as etapas a seguir e baseados nos procedimentos descritos anteriormente. Para a determinação do número de Amostras os cálculos utilizados para a determinação do número de amostras foram desenvolvidos a partir da equação (1). Foi utilizado um intervalo de confiança (Z) de 99,50% e o cálculo da população amostral estatística (N) foi realizada através do software Dxf2xyz v.2.0, obtendo para Planta Topográfica do campus da UFBA um total de, aproximadamente, 24.000 pontos. Para a realização dos cálculos considerou-se o Erro Amostral Relativo ( $\epsilon$ ) como sendo 1/5 do Desvio Padrão Amostral ( $\sigma$ ). O número de amostras para o campus da UFBA necessárias, totalizam um mínimo de 24 amostras a serem utilizadas como pontos de controle. De acordo com a metodologia utilizada para a realização do levantamento dos pontos de controle descritas anteriormente a figura 3 exhibe a distribuição desses pontos na área de estudo. Na etapa para a

determinação da acurácia posicional, para realização dos cálculos é necessário que as coordenadas obtidas estejam referenciadas na projeção UTM, uma vez que o sistema de medidas caracterizado pela mesma, viabiliza a realização das etapas posteriores. A conversão das coordenadas geodésicas para coordenadas na projeção UTM foi realizada com o auxílio do software TCGeo. A análise de tendência ocorreu por meio das seguintes etapas: Calcular as discrepâncias entre as coordenadas levantadas e do produto cartográfico de referência nas direções Norte e Leste de forma análoga e em seguida calcular a Média e Desvio Padrão das discrepâncias. Os resultados encontrados no estudo de caso utilizados são apresentados na tabela 2.

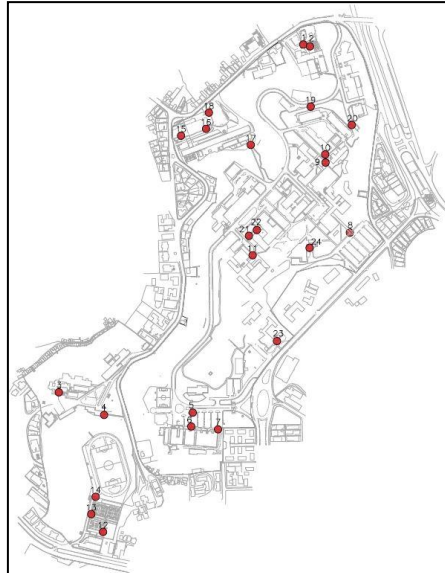


Figura 3 – Distribuição dos pontos de controle no campus da UFBA

Tabela 2 – Média e Desvio Padrão das Discrepâncias

	Média das Discrepâncias	Desvio Padrão
Delta (N)	-0,024	0,230
Delta (E)	0,054	0,206

Cálculo do valor de t amostral para as direções Norte e Leste utilizando a equação (05). Os resultados obtidos são: para a direção Norte -0,513841638 e para direção Leste 1,280876234. Em seguida deve-se utilizar os parâmetros de classificação do PEC-PCD estabelecida na Especificação Técnica para a Aquisição de Dados Geospaciais Vetoriais (ET-ADGV, 2012) de acordo com o fator de escala aplicado ao estudo realizado. Uma vez que o produto cartográfico utilizado é na escala de 1:2.000, multiplicam-se seus parâmetros pelo fator apresentado, obtendo os resultados da Tabela 3 a seguir:

Tabela 3 – Aplicação PEC-PCD para escala 1:2.000

PEC-PCD	1:2.000	
	PEC (m)	EP (m)
A	0,56	0,34
B	1	0,6
C	1,6	1
D	2	1,2

Dessa forma, a obtenção do Erro Padrão Esperado consiste na aplicação da equação (06) para o erro padrão de cada classe estabelecida na tabela 3, obtendo os resultados apresentados na tabela 4.

Tabela 4 – Erro Padrão Esperado

PEC-PCD	Erro Padrão Esperado
A	0,240416306
B	0,424264069
C	0,707106781
D	0,848528137

Com os parâmetros iniciais aplica-se o teste Qui-quadrado amostral afim de utilizar os métodos estatísticos atribuídos e determinar a classe da carta. Obtendo os resultados apresentados na tabela 5 a seguir:

Tabela 5 – Aplicação Teste Qui-Quadrado

PEC-PCD	Delta (N)	Delta (E)
A	21,05170638	16,81720588
B	6,759936827	5,400191667
C	2,433577258	1,944069
D	1,689984207	1,350047917

Na comparação dos valores obtidos para cada classe do PEC-PCD a partir do teste Qui-quadrado em relação ao Qui-Quadrado Tabelado é utilizado um intervalo de confiança de 95% para área de estudo, onde o Qui-Quadrado Tabelado é de 32,007. A análise é feita por meio da aplicação da expressão (8) e para área de estudo utilizada de acordo com as amostras estabelecidas, obteve-se Classe A para as ambas as direções da planta topográfica (Norte e Leste).

**CONCLUSÕES:** A avaliação de qualidade posicional planimétrica realizada através de testes estatísticos apresentou resultados que indicam a constância geométrica da planta digital, classificada como de Classe A para planimetria na escala de 1:2000. Realizou-se uma investigação com relação ao teste estatístico que vem sendo utilizado na prática para a análise de tendência, o qual usa a distribuição *t de Student*. Após verificação das hipóteses, no nível de significância de 95%, verificou-se a inexistência de erros sistemáticos na planta digital dentro deste intervalo de confiança.

## REFERÊNCIAS

- COSTA NETO, P. L. de O. **Estatística**. São Paulo: Edgard Blücher, 2002.
- FERREIRA, E. B.; OLIVEIRA, M. S. **Introdução à Estatística Básica com R**. Lavras: Editora UFLA/FAEPE, 2008.
- GALO, M.; CAMARGO, P. de O. **Utilização do GPS no Controle de Qualidade de Cartas**. Presidente Prudente. 2014. Faculdade de Ciências e Tecnologia, UNESP. São Paulo.
- MARANHÃO, Vanessa Costa. **Modelo e Controle de Qualidade de uma Infraestrutura de Dados Espaciais para o Estado de Pernambuco**. Recife, 2013, 140p Dissertação (Mestrado) – Centro de Tecnologia e Geociências, Universidade Federal de Pernambuco.
- NOGUEIRA JR., J. B. **Controle de qualidade de produtos cartográficos: uma proposta metodológica**. Presidente Prudente. 2003, 147 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Cartográfica) - UNESP, Campus Presidente Prudente.
- RICE, John A. **Mathematical Statistics and Data Analysis**. 2 ed. Duxbury Press, Belmont, CA, 1995.
- ROCHA, R.S. **Exatidão Cartográfica para cartas digitais urbanas**. Florianópolis, 2002. 123f. Tese (Doutorado em Engenharia de Produção) – Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção. UFSC. Florianópolis – SC.
- SALISSO FILHO, J.L. **Avaliação da Qualidade do Dado Espacial Digital de acordo com os Parâmetros Estabelecidos por Usuário**. São Paulo, 2013. 114 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Escola Politécnica, Universidade de São Paulo.
- WEBER, E.; ANZOLCH, R.; LISBOA FILHO, J.; COSTA, A. C.; IOCHPE, C. **Qualidade dos dados geoespaciais**. Porto Alegre: Instituto de Informática, UFRGS, 1999. (RPN°293).