

NOTA TÉCNICA

DESEMPENHO COMPARATIVO ENTRE RECEPTORES GPS

Nelson Luis Cappelli¹
Claudio Kiyoshi Umezu²
Augusto Cesar da Silveira³
Angel Pontin Garcia⁴

RESUMO – A liberação do sinal de erro Disponibilidade Seletiva (SA) e o baixo custo dos receptores portáteis de navegação criaram novos campos para a utilização destes aparelhos, não mais ficando restrita somente ao uso em navegação e recreação, mas também possibilitando sua aplicação em outros setores, em especial o agrícola. O objetivo deste trabalho foi comparar o desempenho, em termos de acurácia e precisão, dos aparelhos modelos e-Trex e III Plus, ambos marca Garmin, em relação ao modelo AgGPS 132, marca Trimble. A comparação foi realizada com os aparelhos operando de forma autônoma e com correção diferencial em tempo real. No modo de operação autônoma os aparelhos AgGPS 132, e-Trex e III Plus obtiveram, respectivamente, os seguintes erros absolutos de posicionamento: 1,834 m, 2,620 m e 3,704 m. Os respectivos Erros Circulares Prováveis (CEPs) foram: 1,283 m, 2,198 m e 2,485 m. No modo de operação com correção diferencial em tempo real os aparelhos AgGPS 132, e-Trex e III Plus obtiveram, respectivamente, os seguintes erros absolutos de posicionamento: 0,180 m, 0,860 m e 0,318 m. Os respectivos CEPs foram: 0,319 m, 1,330 m e 1,388 m. Os resultados mostram que estes aparelhos podem ser utilizados em operações agrícolas desde que sejam observados: a magnitude do erro total de posicionamento admissível para a operação e o modo de operação utilizado.

Palavras chaves: sistema de posicionamento global, acurácia, precisão

¹ Engenheiro Agrícola, Professor Doutor. cappelli@agr.unicamp.br.

² Engenheiro Eletricista, Pesquisador Doutor. Professor Adjunto Doutor, Universidade São Francisco, Campinas, SP.

³ Engenheiro Agrimensor, Mestre em Engenharia Agrícola.

⁴ Engenheiro Agrícola, Mestrando. angel.garcia@agr.unicamp.br.

^{1,2,3,4} Laboratório de Instrumentação e Controle, Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas.

COMPARATIVE PERFORMANCE OF THE GPS RECEIVERS

ABSTRACT – The liberation of Selective Availability (SA) and the low cost of the portable navigation GPS receivers created new fields for its use. This made its application possible in other sectors, specially in agriculture. This work aimed to compare the performance, in accuracy and precision, of the e-Trex and III Plus equipment, in relation to the AgGPS 132. The comparison was accomplished with the equipments operating in an autonomous mode and with real-time differential correction. Operating in autonomous mode, the accuracy and precision values, obtained with AgGPS 132, e-Trex and III Plus were, respectively, EA = 1,834 m, 2,620 m and 3,704 m and the Circular Error Probable (CEP) were 1,283 m, 2,198m and 2,485 m. With real-time correction, the accuracy and precision values obtained with AgGPS 132, e-Trex and III Plus were, respectively, EA = 0,180 m, 0,860 m and 0,318 m and the CEP were 0,319 m, 1,330 m and 1,388 m. The results show that these pieces of equipment can be used in agricultural operations since users are concerned with the magnitude of the total error of acceptable positioning for the operation and with the operation mode.

Keywords: global positioning system, accuracy, precision

1 INTRODUÇÃO

O Sistema de Posicionamento Global (GPS) teve seu desenvolvimento iniciado na década de 60 com a finalidade de uso exclusivamente militar. A partir de maio de 2000 o Departamento de Defesa Norte Americano, gerenciador do sistema NAVSTAR/GPS, desabilitou o código de segurança SA (*Selective Availability*) que limitava o desempenho do sistema quanto ao posicionamento, ampliando assim sua possibilidade de uso e viabilizando as operações relativas à chamada “agricultura de precisão”.

A categoria de equipamentos receptores de sinais GPS que mais se beneficiou com a liberação do SA foi a dos receptores portáteis de navegação. Este fato, aliado ao baixo custo destes receptores, criou possibilidades diversas de utilização, em especial no ambiente agrícola.

No segmento agrícola, a utilização do GPS tem sido feita em uma ampla gama de atividades, tais como: mapeamento cadastral; mapeamento topográfico; amostragem de solo; demarcações; georreferenciamento de imagens aéreas e orbitais; auxílio na implementação e manutenção de bancos de dados para Sistemas de Informações Geográficas (SIG); localização de infestações de pragas e ervas daninhas; mapeamento de produtividade; localização de equipamentos de aplicação de insumos a taxas variáveis, entre outras.

Algumas destas atividades podem fazer uso diretamente dos receptores de navegação, pois não exigem acurácias e/ou precisões elevadas, outras, podem fazer uso destes receptores por meio de correções posteriores ou em tempo real do seu posicionamento. Outras, ainda, podem fazer uso de receptores de mapeamento com correção diferencial pós-processada.

As características de desempenho quanto à acurácia e à precisão dos aparelhos GPS são normalmente fornecidas pelos respectivos fabricantes. No entanto, observa-se que nem sempre as características de desempenho são apresentadas utilizando a mesma metodologia de testes, o que pode provocar erros ao se comparar diferentes equipamentos.

Segundo a Defense Mapping Agency (DMA) (2001) os erros em aparelhos receptores GPS podem ser separados em três classes gerais, categorizadas de acordo com sua origem, ou seja, os erros podem ser classificados como erros grosseiros (*blunders*), como erros sistemáticos (*systematic errors*) ou como erros aleatórios (*random errors*).

Os erros grosseiros podem ser causados por leitura errada dos instrumentos, erro na transcrição de números, equipamentos danificados, entre outros. São geralmente de grande magnitude, sendo facilmente detectados. Sob o ponto de vista estatístico, os erros grosseiros não podem ser considerados como parte dos dados amostrados.

Os erros sistemáticos afetam a observação sempre da mesma maneira e, portanto, são difíceis de serem detectados em observações repetidas. Podem ter o mesmo sinal e valores e são também chamados de “erro constante” ou “*bias*”. Podem seguir algum padrão, tais como uma refração ou distorção devido à curvatura da terra.

Os erros aleatórios provêm de uma combinação acidental e desconhecida de causas fora do controle do observador. Os erros aleatórios são os erros que permanecem após os erros grosseiros e os sistemáti-

cos terem sido removidos. Este tipo de erro, devido à sua característica imprevisível, não podem ser eliminados dos dados observados. Por causa dos erros aleatórios é impossível medir o valor “real” de uma observação.

Ainda que seja impossível prever os erros aleatórios, estes erros possuem características que podem ser expressas matematicamente. Os erros aleatórios de uma observação repetida usualmente apresentam uma distribuição normal de frequência e, portanto, podem ser descritos pela função de distribuição normal.

Assumindo-se que todos os erros sejam independentes e aleatórios (de acordo com a função de distribuição normal), sua análise possibilita que sejam extraídas informações precisas sobre suas observações. Portanto, a probabilidade de que o erro aleatório não excederá uma certa magnitude pode ser inferida por meio de uma análise da distribuição normal de frequência deste erro.

Apesar dos termos “precisão” e “acurácia” serem indistintamente utilizados, há uma diferença conceitual importante entre ambos. O termo precisão relaciona-se com a variação do valor, medido repetidamente sob mesmas condições experimentais, em torno do valor médio observado, enquanto que o termo acurácia refere-se à exatidão da medida, ou seja, refere-se a quão próximo está o valor medido do valor real. A precisão é afetada somente pelos erros aleatórios no processo de medição, enquanto a acurácia é afetada pela precisão, bem como, pela existência de erros desconhecidos ou erros sistemáticos.

A motivação deste estudo baseia-se na significativa diferença de custo, acurácia

e precisão entre os receptores GPS das categorias de navegação e a imediatamente superior; na possibilidade de aumento do número de usuários no segmento agrícola por meio da redução do custo dos sistemas de posicionamento e, na necessidade de se conhecer a real acurácia e precisão dos receptores GPS em diversos modos de operação.

Este trabalho teve como objetivo comparar o desempenho, em termos de acurácia e precisão, dos aparelhos receptores modelos e-Trex e III Plus, marca Garmin, em relação ao modelo AgGPS 132, marca Trimble.

2 MATERIAIS E MÉTODOS

A comparação foi realizada com os aparelhos operando de maneira estática tanto no modo autônomo, quanto no modo com correção diferencial em tempo real. Optouse em realizar os testes com correção diferencial já que, segundo Blitzkow (1991) este método elimina os erros sistemáticos de posicionamento, sobretudo *C/A (Course Aquisition)*, melhorando, desta forma, o desempenho dos aparelhos.

Os equipamentos utilizados para o georreferenciamento dos pontos onde foram avaliados os equipamentos (marcos) foram dois receptores geodésicos de dupla frequência, modelo Z-Xtreme, marca Thales Navigation/Ashtech, cujas principais especificações técnicas fornecidas no catálogo do fabricante são: 12 canais de recepção de sinais GPS; precisão pós-processada horizontal de 5mm + 1ppm e vertical de 10mm + 1ppm, operando nos modos estático e rápido-estático;

O equipamento utilizado para fornecer o sinal de correção diferencial foi: GPS Base, constituído por um receptor modelo AgGPS 122 Base, marca Trimble, cujas principais especificações técnicas fornecidas no catálogo do fabricante são: 12 canais de recepção de sinais GPS; categoria: estação base; precisão submétrica; transmite correções diferenciais no padrão RTCM-SC 104;

Os receptores GPS escolhidos para serem avaliados foram:

Receptor GP modelo AgGPS 132, marca Trimble, cujas principais especificações técnicas fornecidas no catálogo do fabricante são: categoria: mapeamento; precisão submétrica; recebe correções diferenciais no padrão RTCM-SC 104.

Receptor GPS, modelo e-Trex, marca Garmin, cujas principais especificações técnicas fornecidas no catálogo do fabricante são: categoria: navegação; antena interna; recebe correção diferencial no padrão RTCM-SC 104; precisão métrica.

Receptor GPS, modelo III Plus, marca Garmin, cujas principais especificações técnicas fornecidas no catálogo do fabricante são: categoria: navegação; antena articulada com possibilidade de operação com antena externa; recebe correção diferencial no padrão RTCM-SC 104; precisão métrica.

Para a determinação do Erro Absoluto (EA) dos aparelhos foram utilizados marcos georreferenciados para posicionamento dos mesmos. O local para a realização dos testes para a avaliação dos aparelhos selecionados procurou atender a maioria das recomendações de Bueno (1995). Para tanto,

inicialmente fez-se um estudo visando identificar os marcos da Rede de Referência Cadastral Municipal de Campinas e da Rede de Referência Cadastral da Universidade Estadual de Campinas - UNICAMP. A Rede de Referência Cadastral Municipal de Campinas possui 41 marcos, sendo que dois deles se situam no interior do Campus da Unicamp (Cidade Universitária “Zeferino Vaz”). A Rede de Referência Cadastral da Unicamp é constituída por 11 marcos que foram obtidos a partir dos marcos da rede municipal.

Como o objetivo era alocar os marcos georreferenciados com a maior precisão possível, adotou-se como estratégia, considerar como referência o marco da Rede de Referência Cadastral Municipal de Campinas situado no “Observatório a Olho Nu” da Unicamp (Latitude Sul 22° 48' 54,14760”, Longitude Oeste 47° 03' 27,65470”), onde foi instalado o equipamento Z-Xtreme.

Os marcos foram georreferenciados utilizando-se o método “*stop and go*” (ROCHA, 2000), com a permanência de 20 minutos em cada marco do segundo receptor Z-Xtreme.

Os dados foram tomados concomitantemente no período compreendido entre as 10:00 horas e as 22:00 horas com intervalos de 30 minutos em dois dias consecutivos e o procedimento adotado foi o denominado “*hot start*” (ROCHA, 2000). No primeiro dia foram realizados os testes com os aparelhos operando no modo autônomo e no segundo, com os aparelhos operando com correção diferencial em tempo real. No modo de operação com correção diferencial, realizada em tempo real, o sinal de correção

foi transmitido via cabo entre a estação GPS base e os aparelhos sob teste.

O processamento dos dados contemplou a sua transferência para o computador, a transformação dos sistemas de coordenadas, o cálculo dos índices de precisão e acurácia e a análise estatística dos resultados.

Para a transferência dos dados experimentais dos aparelhos modelos e-Trex e III Plus para o computador foi utilizado o software TrackMaker. A utilização de um software para transferência dos dados foi necessária para obtenção de uma maior resolução nos dados de posicionamento, alcançando-se a resolução de milésimos de segundo para os valores registrados nas memórias dos aparelhos, pois nos seus indicadores os valores eram visualizados com a resolução de apenas um décimo de segundo.

Os dados experimentais foram coletados na forma de coordenadas geodésicas (latitudes e longitudes), tomando como referência o sistema WGS-84 e, transferidos para o microcomputador sem qualquer transformação de coordenadas.

As coordenadas geodésicas normalmente não são utilizadas para representações gráficas, por se tratarem de coordenadas curvilíneas. Sendo assim, utilizou-se o software DataGeosis para transformar as coordenadas geodésicas em coordenadas plano retangulares (N, E), no sistema de projeção denominado UTM (Universal Transversa de Mercator). Nestas transformações manteve-se o referencial WGS-84, possibilitando assim a representação gráfica dos pontos experimentais. Os dados representados nas

coordenadas planas, no sistema UTM, apresentam resolução na ordem de milímetros.

Cálculo da coordenada média

A coordenada média plano-retangular no sistema de projeção UTM (WGS-84) foi calculada por meio das Equações 1 e 2.

$$\bar{X} = \frac{\sum_{i=1}^n X_i}{n} \quad (1)$$

$$\bar{Y} = \frac{\sum_{i=1}^n Y_i}{n} \quad (2)$$

em que:

\bar{X}, \bar{Y} = média do valor Este e Norte da coordenada [m];

X_i, Y_i = i-ésima medição do valor Este e Norte da coordenada [m];

n = número total de medições.

Índices de acurácia

A definição básica de uma distribuição de erros assume que os erros sistemáticos e os grosseiros tenham sido removidos e que somente os erros aleatórios permaneçam no conjunto de dados. Contudo, os erros sistemáticos não podem ser removidos a menos que exista uma forma para sua detecção, tal como a comparação do dado com uma informação de controle. Uma forma alternativa para a obtenção da distribuição de erros é realizar o cálculo da distribuição em torno do valor médio dos erros.

O erro absoluto tem o mesmo significado da acurácia em si, ou seja, relaciona-

se a quão bem as coordenadas medidas de um ponto se comparam ao seu real valor. O erro absoluto é determinado pela comparação das coordenadas medidas de um ponto, obtida por meio de um aparelho GPS, com as coordenadas reais deste mesmo ponto, em um sistema geodésico de referência.

As acurácias de posicionamento Este e Norte foram calculadas e apresentadas como um erro de posicionamento em cada uma destas direções. Os erros de posicionamento Este e Norte, bem como o erro radial resultante, foram definidos e calculados conforme as Equações 3, 4 e 5.

$$x = X_i - \bar{X} \quad (3)$$

$$y = Y_i - \bar{Y} \quad (4)$$

$$ER = \sqrt{x^2 + y^2} \quad (5)$$

em que:

x, y = diferença entre a i-ésima medição do valor Este e Norte da coordenada e a média do valor Este e Norte da coordenada [m].

ER = Erro radial de posicionamento [m].

A combinação destes erros em um único erro absoluto de posicionamento define o índice de acurácia e está definido e calculado conforme a Equação 6.

$$EA = \sqrt{(X_r - \bar{X})^2 + (Y_r - \bar{Y})^2} \quad (6)$$

em que:

EA = Erro absoluto de posicionamento [m].

X_r e Y_r = Coordenadas Este e Norte obtidas no georreferenciamento dos pontos.

Índices de precisão

Os índices de precisão são medidas da dispersão dos erros em uma distribuição e representam o erro que é improvável de ser excedido em um determinado nível de probabilidade. Os índices de precisão circular calculados foram o erro circular padrão (σ_c) e o Erro Circular Provável (CEP).

Para a obtenção destes índices são necessários os cálculos prévios dos desvios padrão dos valores medidos Este e Norte do par coordenado. O desvio padrão calculado a partir das medições dos valores Este foi obtido por meio da Equação 7, enquanto que o desvio padrão das medições dos valores Norte foi obtido por meio da Equação 8.

$$\sigma_x = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \bar{X})^2}{n-1}} \quad (7)$$

$$\sigma_y = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}} \quad (8)$$

em que:

σ_x, σ_y = desvio padrão linear do valor Este e Norte da coordenada [m].

O erro circular padrão (σ_c), cujo valor espera-se que 39,35% de todos os erros em uma distribuição circular não exceda, foi aproximado por meio da Equação 10.

Para que este cálculo pudesse ser realizado, inicialmente foi verificada a relação apresentada na Equação 9. Esta relação deve

permanecer entre 0,2 e 1,0 para que o erro padrão circular possa ser convertido em outros índices de precisão circular por um fator de conversão constante.

$$\frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}} \quad (9)$$

em que:

σ_{\min} = menor valor obtido entre σ_x e σ_y ;

σ_{\max} = maior valor obtido entre σ_x e σ_y .

$$\sigma_c \approx 0,5(\sigma_x + \sigma_y) \quad (10)$$

O CEP indica o valor para o qual 50% de todos os erros em uma distribuição circular não deverão exceder. Pode ser aproximado, no intervalo de $\frac{\sigma_{\min}}{\sigma_{\max}}$ entre 0,2 e 1,0 pela Equação 11.

O CEP foi obtido por meio da Equação 11, já que calculado desta forma é compatível com o erro padrão circular calculado pela Equação 10.

$$CEP = 1,1774 \sigma_c \quad (11)$$

O EA foi adotado como o índice que representa a acurácia de posicionamento e o CEP como o índice que representa a precisão.

3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os valores das coordenadas dos marcos georreferenciados estão apresentados na Tabela 1 e estão representados com o sinal negativo indicando, respectivamente, a latitude sul e a longitude oeste.

Tabela 1 - Marcos georreferenciados no sistema de coordenadas geodésicas e em coordenadas plano-retangulares no sistema de projeção UTM, segundo o referencial geodésico WGS-84

| MARCO | Aparelho | COORDENADAS GEODÉSICAS | | COORDENADAS UTM | |
|-------|-----------|---------------------------|---------------------|--------------------|-------------|
| | | Latitude | Longitude | E [m] | N [m] |
| TC01 | AgGPS 122 | - 22° 50' 02,10629" | - 47° 03' 29,19054" | 288792,781 | 7473392,738 |
| PE03 | III Plus | - 22° 50' 02,18763" | - 47° 03' 29,16483" | 288793,549 | 7473390,246 |
| PE04 | e-Trex | - 22° 50' 02,20334" | - 47° 03' 29,17402" | 288793,294 | 7473389,759 |
| PE05 | AgGPS 132 | - 22° 50' 02,22011" | - 47° 03' 29,18459" | 288793,000 | 7473389,239 |

A Figura 1 apresenta, na forma polar, a distribuição dos erros radiais de posicionamento, obtidos com os aparelhos operando sem correção diferencial, em função do horário de sua observação. Os valores correspondentes a estes índices estão apresentados na Tabela 2 que possui os parâmetros para comparação dos aparelhos operando sem e com correção diferencial em tempo real: EA, o erro radial médio (ERM), o erro padrão circular - σ_c e o CEP.

O aparelho AgGPS 132, operando sem correção, apresentou um erro radial médio de 1,547 m, sendo que os valores variaram na faixa de 0,153 m a 2,910 m e apresentaram um coeficiente de variação, calculado em relação ao erro circular padrão, de 70,41 %.

O aparelho e-Trex, operando sem correção, apresentou um erro radial médio de 2,414 m, sendo que os valores variaram na faixa de 0,520 m a 4,595 m e apresentaram um coeficiente de variação, calculado em relação ao erro circular padrão, de 77,35 %.

O aparelho III Plus, operando sem correção, apresentou um erro radial médio de 2,681 m, sendo que os valores variaram

na faixa de 0,698 m a 7,578 m e apresentaram um coeficiente de variação, calculado em relação ao erro circular padrão, de 78,73 %.

A Figura 2 apresenta, na forma polar, a distribuição dos erros radiais de posicionamento, obtidos com os aparelhos operando com correção diferencial em tempo real, em função do horário de sua observação. A mesma figura apresenta os índices de precisão adotados. Os valores correspondentes a estes índices estão apresentados na Tabela 2.

O aparelho AgGPS 132, operando com correção diferencial em tempo real, apresentou um erro radial médio de 0,330 m, sendo que os valores variaram na faixa de 0,070 m a 0,788 m e apresentaram um coeficiente de variação, calculado em relação ao erro circular padrão, de 82,00 %.

O aparelho e-Trex, operando com correção diferencial em tempo real, apresentou um erro radial médio de 1,384 m, sendo que os valores variaram na faixa de 0,302 m a 3,886 m e apresentaram um coeficiente de variação, calculado em relação ao erro circular padrão, de 81,51 %.

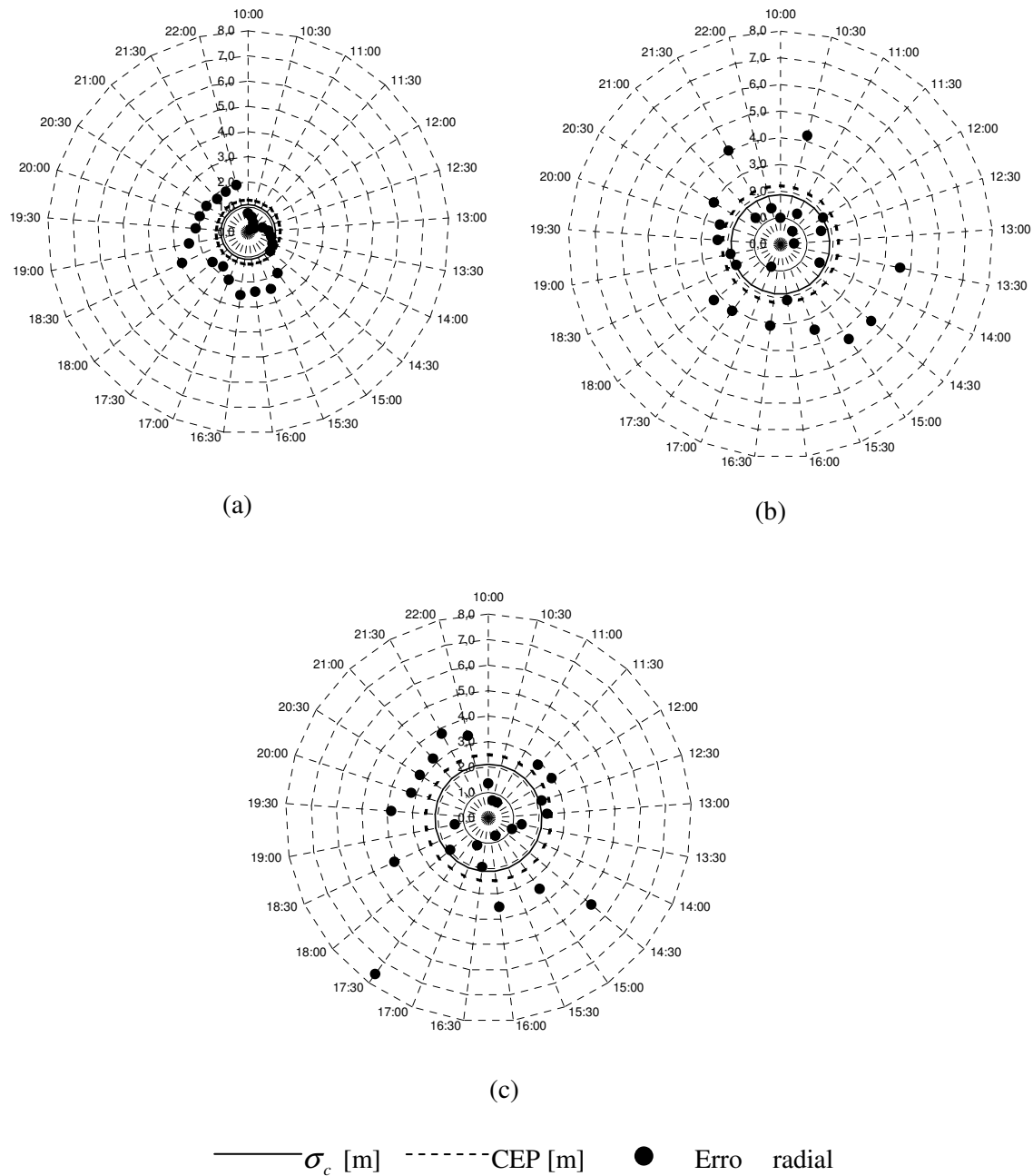


Figura 1. Erro radial e índices: σ_c e CEP, obtidos com os aparelhos operando sem correção diferencial. (a) AgGPS 132, (b) e-Trex e (c) III Plus.

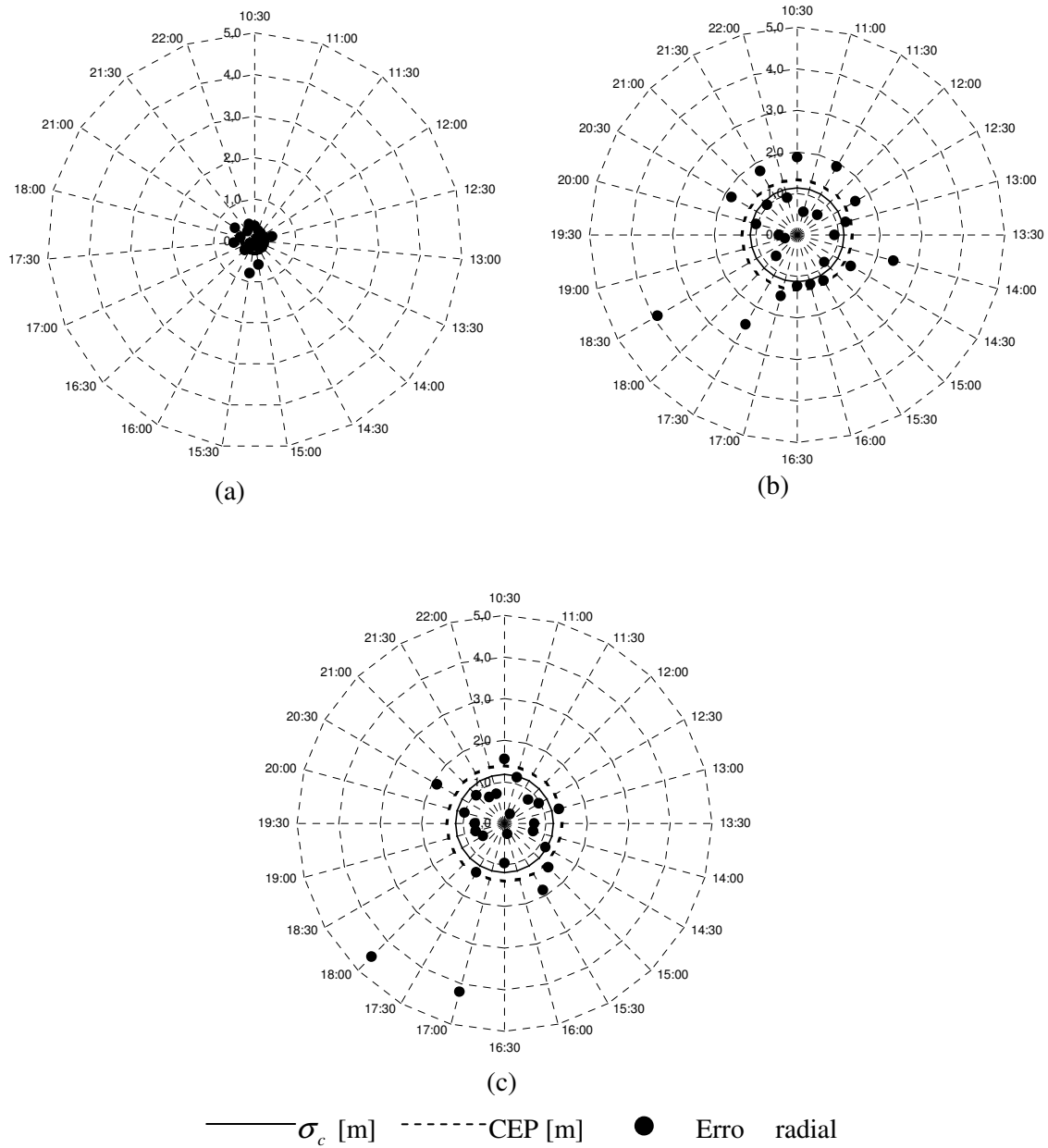


Figura 2. Erro radial e índices: σ_c e CEP, obtidos com os aparelhos operando com correção diferencial em tempo real. (a) AgGPS 132, (b) e-Trex e (c) III Plus.

Tabela 2 - Resultados obtidos com os aparelhos receptores de sinal GPS operando sem correção diferencial e com correção diferencial em tempo real

| Aparelho | sem correção diferencial [m] | | | | com correção diferencial [m] | | | |
|-----------|------------------------------|-------|------------|-------|------------------------------|-------|------------|-------|
| | EA | ERM | σ_c | CEP | EA | ERM | σ_c | CEP |
| AgGPS 132 | 1,834 | 1,547 | 1,089 | 1,283 | 0,180 | 0,330 | 0,271 | 0,319 |
| e-Trex | 2,620 | 2,414 | 1,867 | 2,198 | 0,860 | 1,384 | 1,129 | 1,330 |
| III Plus | 3,704 | 2,681 | 2,111 | 2,485 | 0,318 | 1,276 | 1,179 | 1,388 |

O aparelho III Plus, operando com correção diferencial em tempo real, apresentou um erro radial médio de 1,276 m, sendo que os valores variaram na faixa de 0,263 m a 4,527 m e apresentaram um coeficiente de variação, calculado em relação ao erro circular padrão, de 92,39 %.

Os gráficos das Figuras 3 e 4 ilustram as posições dos pontos obtidos experimentalmente, em coordenadas planas no sistema UTM, além do ponto amostral médio e do erro absoluto em relação ao marco georreferenciado para os aparelhos, respectivamente, operando sem e com correção diferencial.

A Figura 5 apresenta comparativamente os erros absolutos e os erros circulares prováveis obtidos com os aparelhos em ambos os modos de operação.

Observou-se que nos casos em que os aparelhos operaram sem correção diferencial, o erro absoluto foi maior do que o erro radial médio.

Pôde-se observar que o melhor desempenho em termos do erro absoluto (acurácia) e do CEP (precisão), no caso dos aparelhos operando de forma autônoma, foi obtido com o aparelho AgGPS

132, seguido, respectivamente, pelo receptor e-Trex e pelo receptor III Plus.

Observou-se que nos casos em que os aparelhos operaram com correção diferencial, o erro absoluto foi menor do que o erro radial médio, denotando um comportamento inverso ao obtido com os aparelhos operando de forma autônoma.

Na operação com correção diferencial em tempo real, o melhor desempenho em termos do erro absoluto (acurácia) foi obtido com o aparelho AgGPS 132, seguido, respectivamente, pelo receptor III Plus e pelo receptor e-Trex. Em relação ao CEP (precisão), o melhor desempenho foi obtido com o aparelho AgGPS 132, seguido, respectivamente, pelo receptor e-Trex e pelo receptor III Plus.

Analisando-se os resultados obtidos, observa-se, ainda, que a correção diferencial em tempo real reduziu consideravelmente o erro absoluto e o CEP e que o efeito da correção no erro absoluto foi ainda mais significativo do que o CEP. Isto se deve ao fato que a correção diferencial reduz com maior propriedade os erros sistemáticos do que os erros aleatórios do processo de medição.

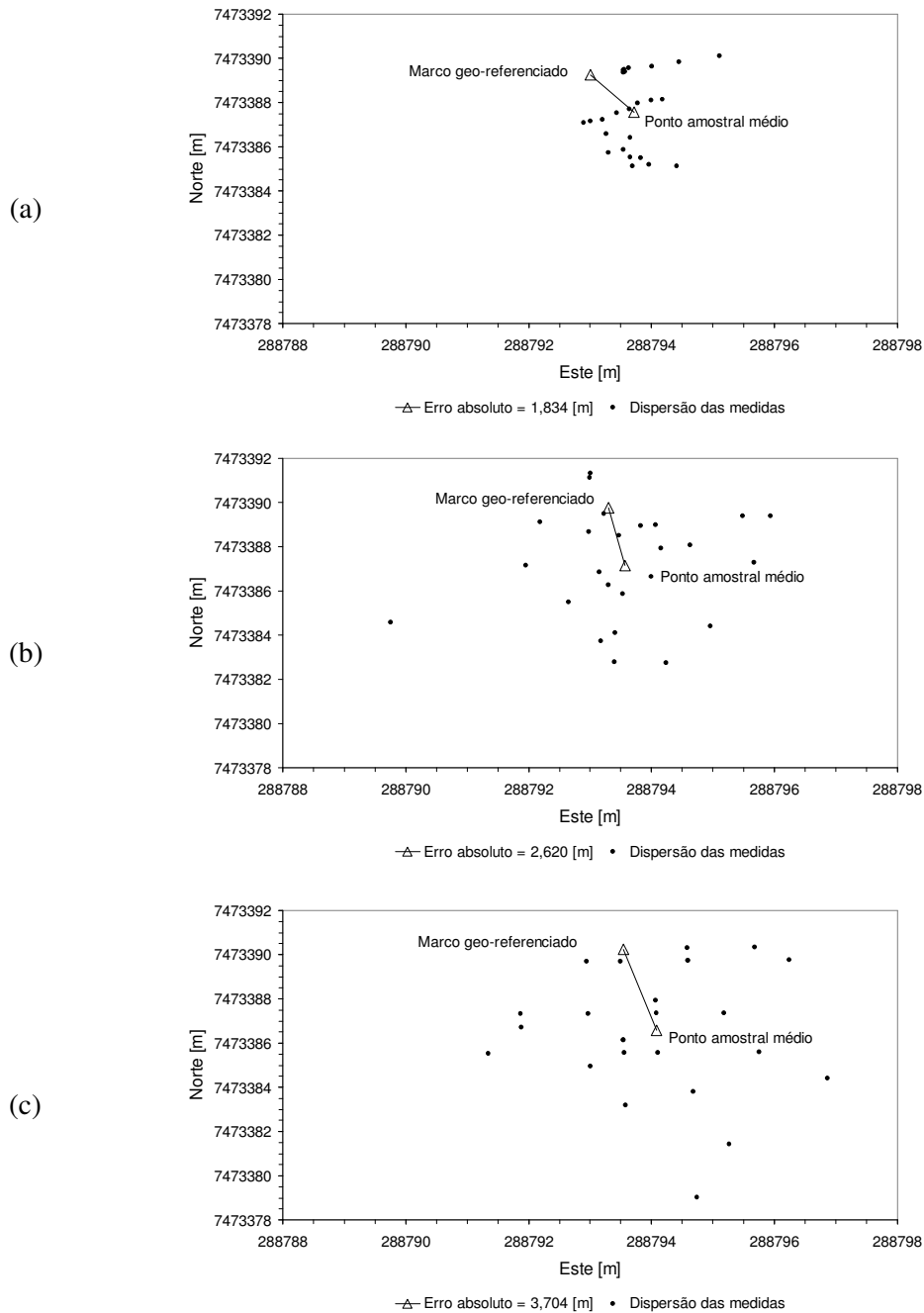


Figura 3. Erro de posicionamento absoluto e dispersão das medidas obtidas com os aparelhos operando sem correção diferencial. (a) AgGPS 132, (b) e-Trex e (c) III Plus.

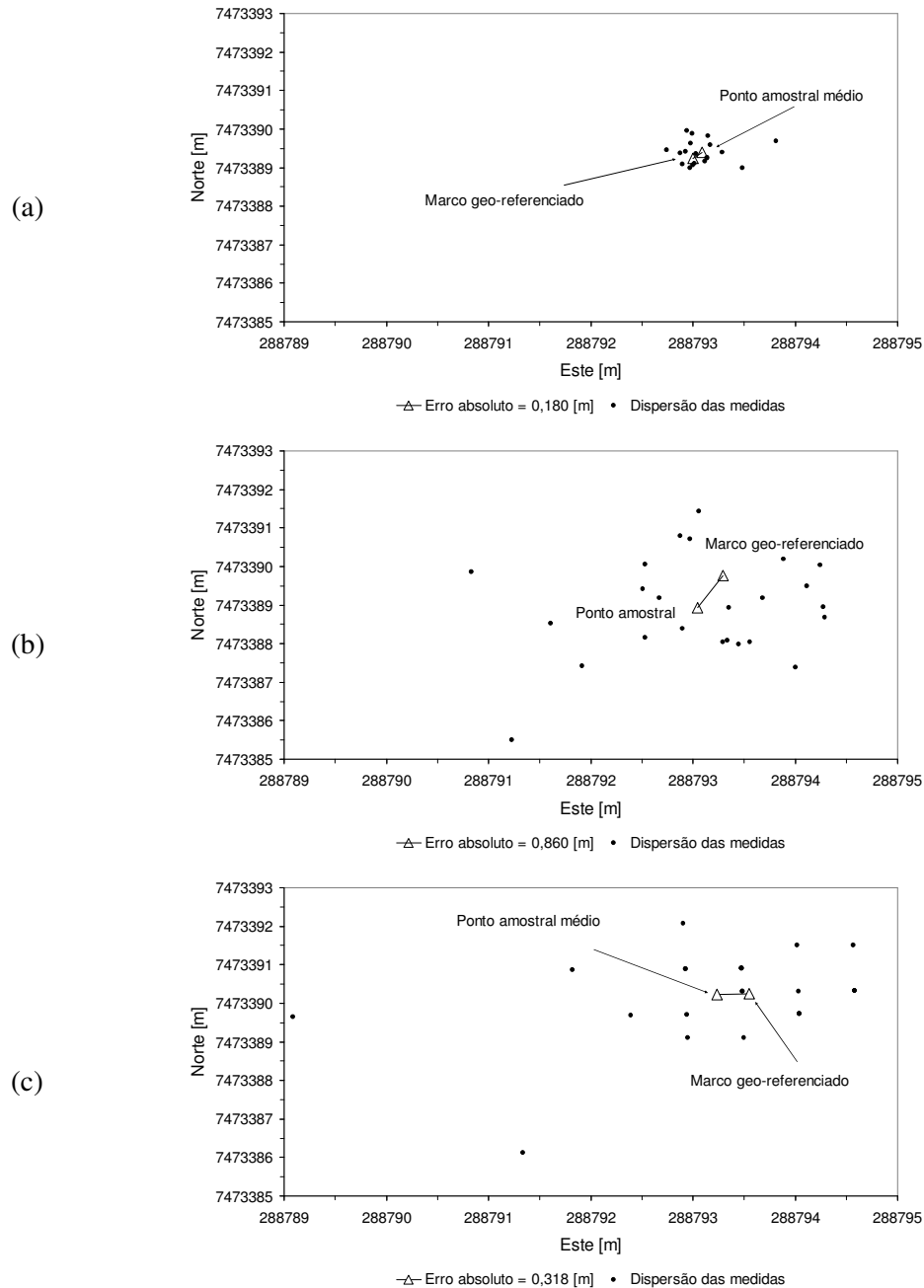


Figura 4. Erro de posicionamento absoluto e dispersão das medidas obtidas com os aparelhos operando com correção diferencial em tempo real. (a) AgGPS 132, (b) e-Trex e (c) III Plus.

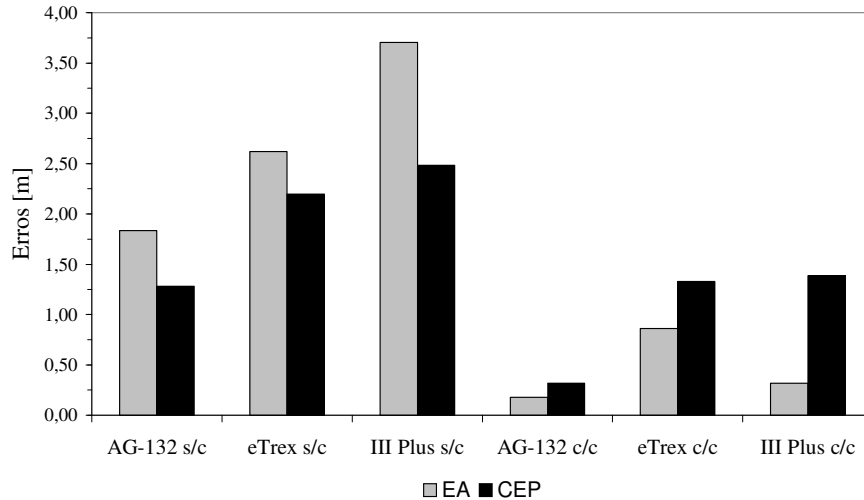


Figura 5. Comparação entre os desempenhos obtidos com os aparelhos. O índice “s/c” corresponde à operação sem correção diferencial. O índice “c/c” corresponde à operação com correção diferencial em tempo real.

Um teste de Tukey realizado para comparar as médias dos erros radiais de posicionamento, obtidas com os aparelhos receptores de sinais GPS operando sem correção diferencial, mostrou que, no nível estatístico de 5 %, não houve uma diferença estatisticamente significativa entre o erro radial médio de posicionamento do aparelho AgGPS 132 em relação ao obtido pelo aparelho e-Trex. Porém houve uma diferença estatisticamente significativa entre o erro radial médio de posicionamento do aparelho AgGPS 132 em relação ao obtido pelo aparelho III Plus. Entre os aparelhos e-Trex e III Plus não houve diferença estatisticamente significativa.

Com os aparelhos operando com correção diferencial em tempo real, o mesmo teste mostrou que, no nível estatístico de 5 %, houve uma diferença estatisticamente

significativa entre as médias dos erros radiais de posicionamento obtidas com o aparelho AgGPS 132 em relação aos demais e que não houve diferença estatisticamente significativa (5 %) entre as médias obtidas com os aparelhos e-Trex e III Plus.

4 CONCLUSÕES

O presente trabalho permitiu concluir que há diferenças, quanto a acurácia e precisão, entre os receptores GPS avaliados. A correção diferencial melhorou consideravelmente a qualidade do posicionamento fornecido pelos receptores GPS.

A metodologia utilizada neste trabalho permitiu uma comparação do desempenho dos aparelhos receptores GPS operando sob iguais condições.

REFERÊNCIAS

BUENO, R. F. **Avaliação do sistema NAVSTAR/GPS**. 1995. 208 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Transportes) – Universidade de São Paulo, São Paulo, 1995.

BLITZKOW, D. **Posicionamento por satélite: NAVSTAR/GPS**. São Paulo: EPUSP, 1991. 36p. (Apostila).

DMA. DEFENSE MAPPING AGENCY. **Error theory as applied to mapping, charting and geodesy**. Washington: DMA, 2001. 109p. (Technical Report, 8400.1).

ROCHA, C. H. B. **Geoprocessamento: tecnologia transdisciplinar**. Juiz de Fora: Ed. do Autor, 2000.