

Universidade de São Paulo
“Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz”

Projeto FINEP: Sistema de monitoramento, tomada de decisão, recomendação e intervenções para aplicação de fertilizantes em taxa variável e avaliação de indicadores de qualidade em lavouras com o uso de sensores de refletância para plantas e solo – PROSENSAP

Iniciação Científica (IC) (2012)

AVALIAÇÃO DE RECEPTORES GPS EM CONDIÇÕES CINEMÁTICAS

DOCENTE: Prof. Dr. José Paulo Molin
BOLSISTA: Fernando Garcia Espolador

Piracicaba, São Paulo
Setembro, 2012

AValiação DE RECEPTORES GPS EM CONdições CINEMÁTICAS

Fernando Garcia Espolador¹, José P. Molin²

¹Graduando de Eng. Agrônômica, ESALQ/USP, Piracicaba-SP, Bolsista FINEP-CNPq

² Prof. Associado, Departamento de Engenharia de Biossistemas, ESALQ/USP, Piracicaba-SP

RESUMO: Aparelhos receptores de GPS têm sido mais frequentemente utilizados em operações agrícolas, desde aquisição de localização de exatidão métrica à sub-métrica. Modelos para avaliação da qualidade de sinal desses receptores foram desenvolvidos para condições estáticas e cinemáticas. Utilizando-se desses modelos este trabalho avaliou sete receptores GNSS distintos com recepção de sinais CA, L1 e L1/L2, sob regime cinemático com o uso de um veículo percorrendo sobre um trilho circular. Além disto, avaliou-se também a exatidão com o uso de das constelações de satélites GPS e GLONASS, além da influência do sinal WAAS. Apesar de as condições de avaliação não considerarem referência longitudinal, receptores CA de mostraram uma grande variação de performance, mas alcançando desempenhos surpreendentes; não se observou melhora significativa de exatidão no uso dos sinais GLONASS e WAAS.

PALAVRAS-CHAVE: receptores GNSS, ensaio cinemático, agricultura de precisão.

INTRODUÇÃO

Dos Sistemas de Navegação Global por Satélite, do inglês *Global Navigation Satellite System* (GNSS), destacam-se os sistemas GPS, GLONASS, Galileo e Compass. O desenvolvimento da maior parte dos sistemas de navegação por satélite foi motivado por finalidades militares (CAPPELLI *et al.*, 2004) à exceção do Galileo, mas com o passar do tempo os sinais, que eram restritos ao uso militar, passaram a ser disponibilizados para uso civil.

A difusão do GPS também ocorreu no setor agrícola, principalmente com o advento de práticas de agricultura de precisão na qual o GNSS é tido como a ferramenta mais empregada (ANSELMi, 2012).

Os receptores GPS tiveram grande evolução desde as primeiras gerações lançadas na década de 1980, assim como houve melhoras nos modelos para o cálculo de posicionamento e na eletrônica dos componentes dos receptores, permitindo equipamentos com diferentes precisões para diferentes usos, segundo SEGANTINE (2005).

Os fabricantes de receptores de GPS disponibilizam relatórios do desempenho de seus receptores no modo estático em condições de alta visibilidade (MACHADO & MOLIN, 2011), mas na agricultura pode haver divergências em relação à eficiência cinemática dos receptores, variando entre receptores ou mesmo no sistema de constelação selecionado para o ensaio. MACHADO (2011) ensaiou estes fatores em alguns receptores C/A em condição cinemática usando um RTK (*Real Time Kinematic*) e um trator em operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar.

O objetivo deste trabalho foi estudar a acurácia e estabilidade de posicionamento de receptores de sinal GNSS sob condições cinemáticas e sob diferentes sistemas de constelações.

MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado nas dependências do Departamento de Engenharia de Biossistemas (LEB) do campus “Luiz de Queiroz”, ESALQ/USP, em Piracicaba-SP, entre os dias 20 de Março e 20 de Julho de 2012. Durante a realização do trabalho foi utilizado um trajeto circular definido por um trilho de dois tubos de aço calandrados paralelos e circulares com raio de 10 m e 62,8 m de perímetro, onde um veículo de deslocamento propelido por um pneu tracionado por um motor elétrico, sobre o qual uma superfície plana de madeira acondiciona os receptores (CAMARGO et al, 2011).

Realizou-se o posicionamento do trilho em um local aberto livre de possíveis interferências como árvores ou prédios. Dados coletados de um receptor RTK (GR-3, Topcon®), que se encontrava entre os receptores do veículo, sugeriram uma pequena deformação elíptica no trilho. Para a realização de uma mensuração de erro foi proposto um modelo que corrigisse o erro do trilho com os dados obtidos pelo receptor RTK.

O ensaio foi dividido em duas etapas sendo:

- 1 - com vários modelos de receptores;
- 2 - com um mesmo modelo e o uso de constelações diferentes

Ambos os ensaios ocorreram em condições cinemáticas.

Para o ensaio 1 foram utilizados, além do RTK, seis receptores de sinal GNSS sendo cinco receptores de sinal C/A da marca Garmin modelos eTrex® Legend (Serial), eTrex® Legend H, eTrex® Vista CX, GPSMap® 62s e eTrex® 30 (este último sendo um receptor híbrido para aquisição de dados de constelações GPS e GLONASS); e um receptor de sinal L1 marca StarFire™. Em relação ao ensaio 2 foram utilizados três receptores GPS30, porém com recepção diferenciada de sinais, sendo os sinais (GPS), (GPS + GLONASS) e (GPS + GLONASS + WAAS), avaliando a diferença de posicionamento entre essas configurações. A disposição dos receptores no carro para os ensaios 1 e 2 podem ser observadas na Figura 1.

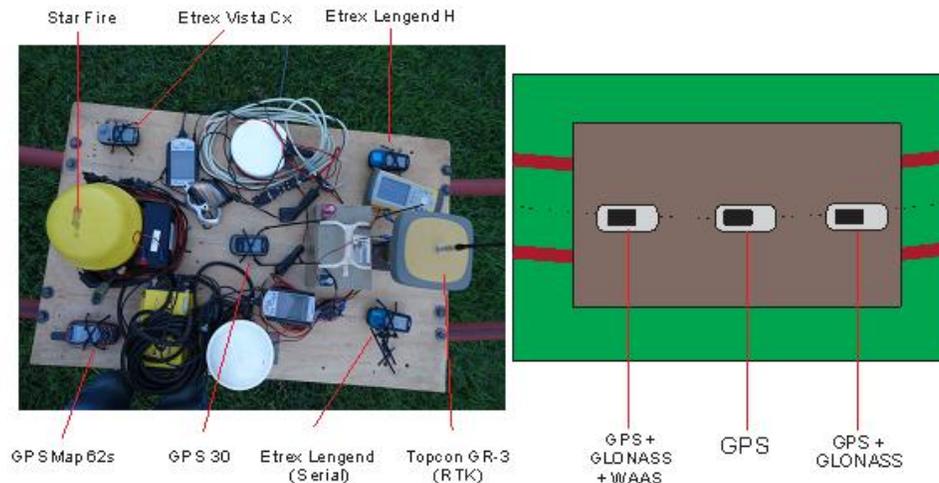


Figura 1. Caracterização e disposição dos receptores GNSS sobre o veículo que percorria o percurso durante o Experimento 1 (esquerda) e Experimento 2 (direita).

Nos ensaios, a velocidade de movimentação no trilho foi de $1,5 \text{ m s}^{-1}$ durante 60 minutos de coleta. Os erros remetentes à aceleração e desaceleração do carro foram eliminados na análise. No total foram realizadas quatro repetições com um intervalo de 1 hora entre repetições objetivando que os dados fossem coletados sob diferentes configurações das constelações e também diluir o erro do experimento. A frequência de coleta configurada nos aparelhos foi de 10 Hz.

O erro médio de cada receptor foi calculado a partir da distância das coordenadas ao centro do trilho determinado pelo RTK. A equação (1) mostra a forma de cálculo de erro médio circular.

$$Erro = \left| \frac{\sum_{i=1}^N \sqrt{(X_{mensurado} - X_{centro})^2 + (Y_{mensurado} - Y_{centro})^2}}{N} - R \right| \quad (1)$$

em que:

$X_{mensurado}$ e $Y_{mensurado}$ longitude e latitude do ponto na circunferência (coordenadas métricas);

X_{centro} e Y_{centro} longitude e latitude do centro da circunferência do trilho (coordenadas métricas);

N número de aquisições de cada receptor;

R raio da circunferência (m).

O Erro Médio RTK é utilizado como valor referência, o qual considera o formato real do trilho. Entretanto vale ressaltar que este erro observado é mais precisamente o erro mínimo que o GPS apresenta, visto que não foi retirada uma referência longitudinal no momento da coleta do ponto. O desvio padrão foi calculado para observar a consistência da precisão fornecida pelo receptor, mesmo não representando com exatidão o percurso.

Por problemas técnicos, a correção diferencial do receptor StarFire™ estava inativa durante os ensaios.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

As deformações existentes no trilho levaram, em condições de altas velocidades, a vibração do conjunto carro e receptores provocando, por vezes, o seu descarrilamento; isto levou a definição da velocidade de $1,5 \text{ m s}^{-1}$ para ambos os ensaios.

O gráfico da Figura 2 compara a circunferência perfeita e hipotética (em vermelho) que os aparelhos deveriam percorrer e os pontos (obtidos do receptor RTK) mostrando o percurso real destes. Nota-se que em grande parte do percurso as duas circunferências são muito semelhantes uma da outra, permitindo assim adotar o sistema de equações anteriormente mencionado para calcular o Erro Médio corrigido de cada receptor.

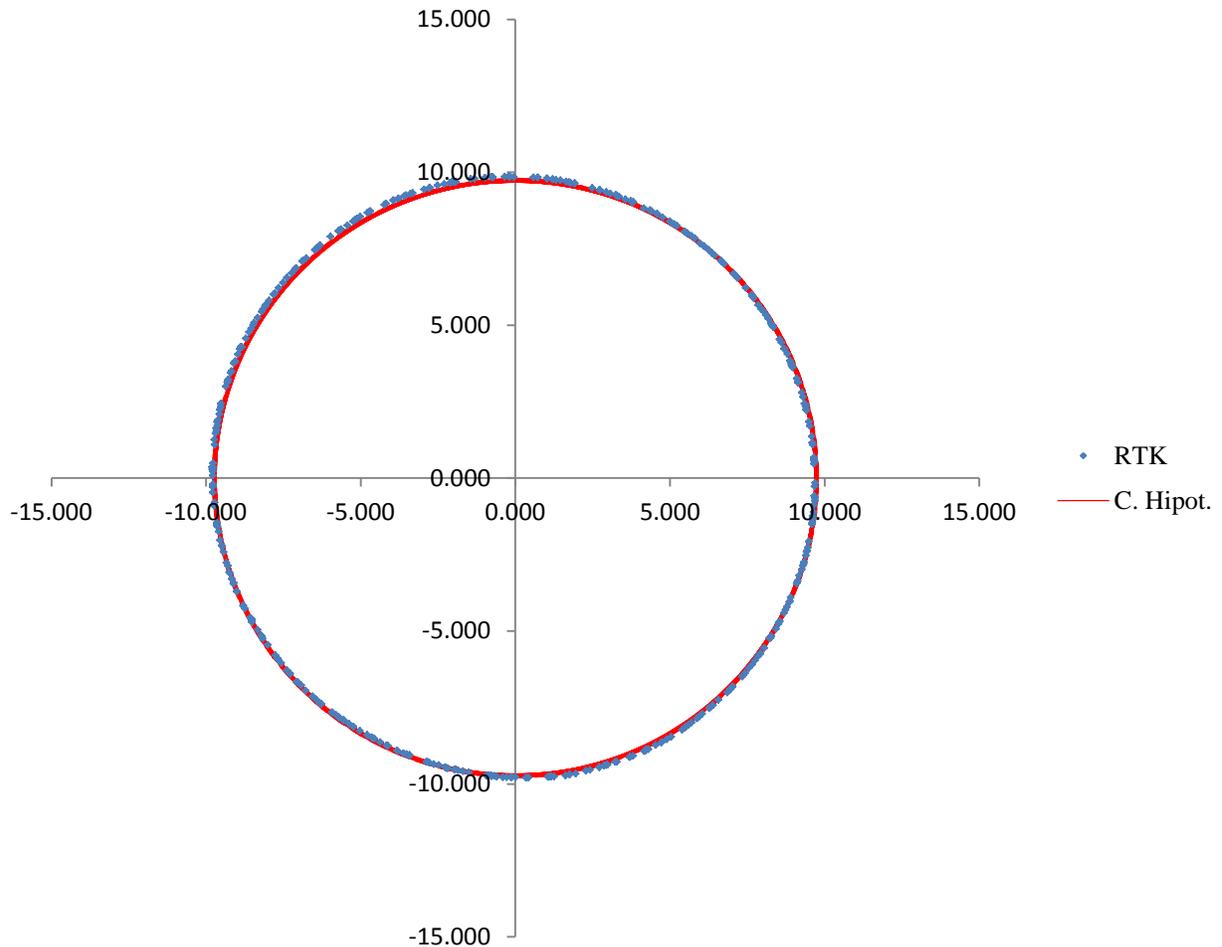


Figura 2. Comparação entre o percurso do receptor RTK e o círculo hipotético adotado como referência.

Analisando os dados coletados nos receptores, observamos que o receptor eTrex® Legend (Serial) demonstrou-se limitante em relação aos demais por apresentar uma casa decimal a menos no armazenamento de dados geográficos de longitude e latitude aparentando, nos gráficos de distribuição de pontos, uma resolução espacial menor.

Outra característica que foi demonstrada no experimento foi a não sincronização dos relógios dos receptores, pois em um mesmo período de aquisição de dados e sob a mesma frequência de aquisição foi obtido um número de aquisições de dados diferentes, sendo que a real frequência de aquisição dos dados variou entre 9 e 13s. O receptor eTrex® Legend (Serial) foi o que apresentou o menor número de aquisições explicado por uma menor frequência de aquisição. A quantidade de dados obtidos pode ser visualizada na Figura 3. Sempre houve tendência de manter a mesma frequência de coleta, entretanto para a primeira repetição do StarFire™ e a segunda repetição do GPSMap® 62s, houve uma queda considerável no número de pontos sem uma explicação clara para o fato.

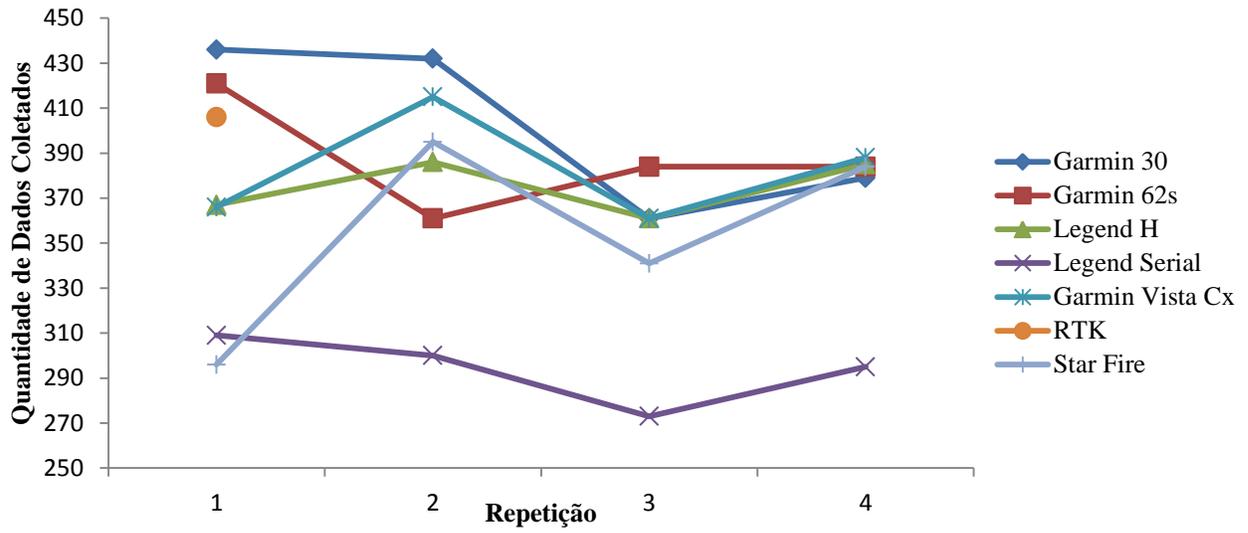


Figura 3. Comparação entre número de aquisições de dados dos receptores durante as repetições para o ensaio 1.

A seguir podem-se observar os pontos obtidos pelos receptores durante o ensaio 1.

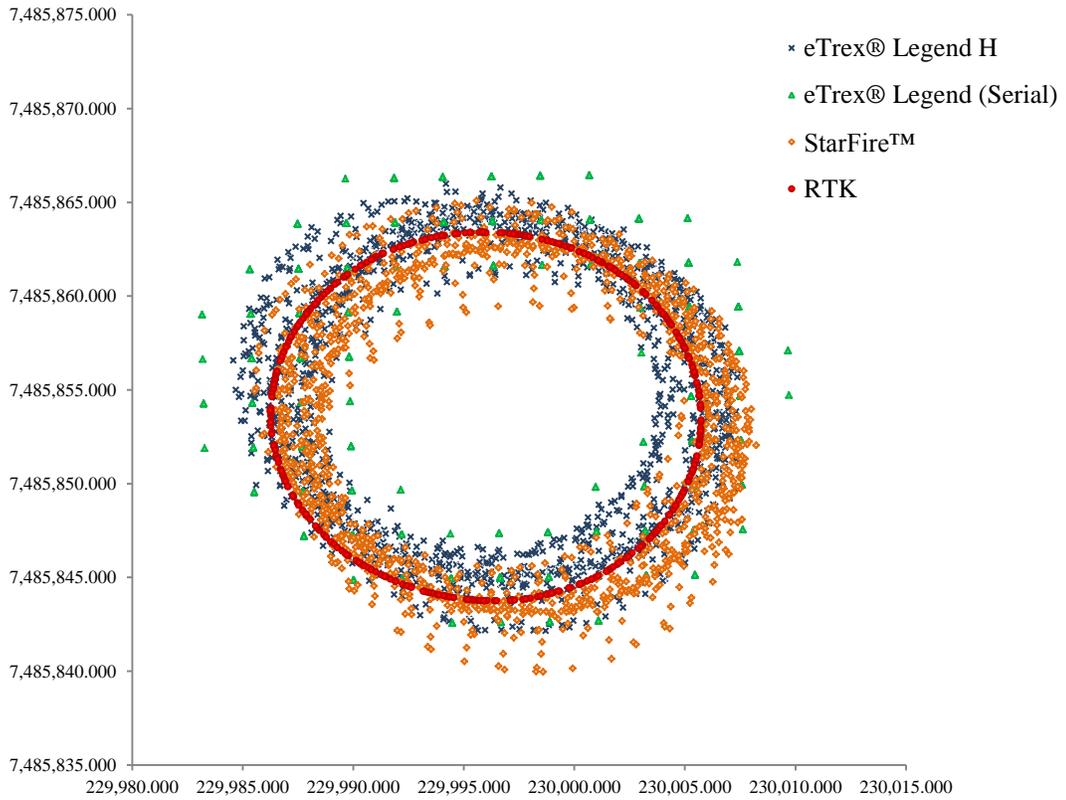


Figura 4. Comparação entre o percurso do receptor RTK e de três receptores durante as repetições para o ensaio 1.

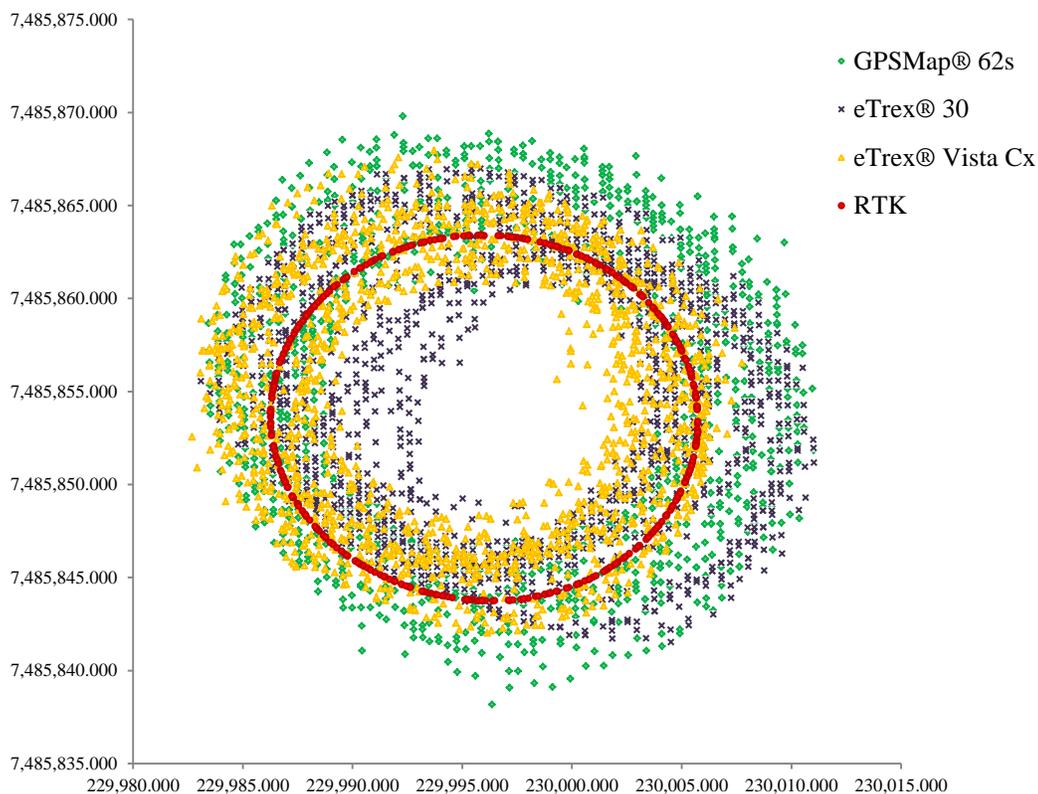


Figura 5. Comparação entre o percurso do receptor RTK e de outros três receptores durante as repetições para o ensaio 1.

Obtiveram-se os Erros Médios para os receptores avaliados com diferenças significativas calculadas pelo Teste de Comparação de Médias de Tukey com significância de 5%, também foi analisado o desvio Padrão do Erro Médio e a quantidade média de aquisições. Os dados estão sintetizados na Tabela 1.

Tabela 1. Erro Médio, desvio padrão e número médio de aquisições obtidos no ensaio com diversos receptores GPS durante o Experimento 1.

Modelo de receptor	Erro Médio* (m)	Desvio Padrão (m)	Aquisições
eTrex® 30	2,055 A	1,135	402
GPSMap®62s	1,983 AB	1,309	387
eTrex® Legend H	1,059 B	0,634	375
eTrex® Legend(Serial)	1,357 AB	0,790	295
eTrex® Vista Cx	1,581 AB	1,023	382
StarFire™	1,051 B	0,624	354

*Valores de Erro Médio com mesma letra não diferem estatisticamente com significância de 5%, segundo o teste de Tukey.

Além destes dados demonstrados foi obtido o Erro Médio (EM) para o receptor RTK que foi de 0,062 m, podendo ser considerado um “branco” para o experimento.

Constatou-se os menores EM eram dos receptores StarFire™ e eTrex® Legend H, paralelamente ao menor desvio padrão do erro de ambos. Todavia, estatisticamente eles diferiram apenas do receptor eTrex® 30 o qual apresentou pior Erro Médio.

Os receptores com maior desvio padrão foram os modelos eTrex® 30 eGPSMap® 62s, porém foram os que obtiveram maior número de aquisições.

De maneira geral o EM e o desvio padrão foram menores que 2,1 m para todos os receptores testados, além disso, podemos ver uma certa diferença entre os grupos L1/L2 (RTK), L1 (StarFire™) e CA (os demais), sendo que o eTrex® Legend H alcançou valores próximos ao do grupo L1, ultrapassando as expectativas sobre o mesmo e surpreendendo.

Os dados da exatidão acumulada dos receptores estão dispostos na Figura 6.

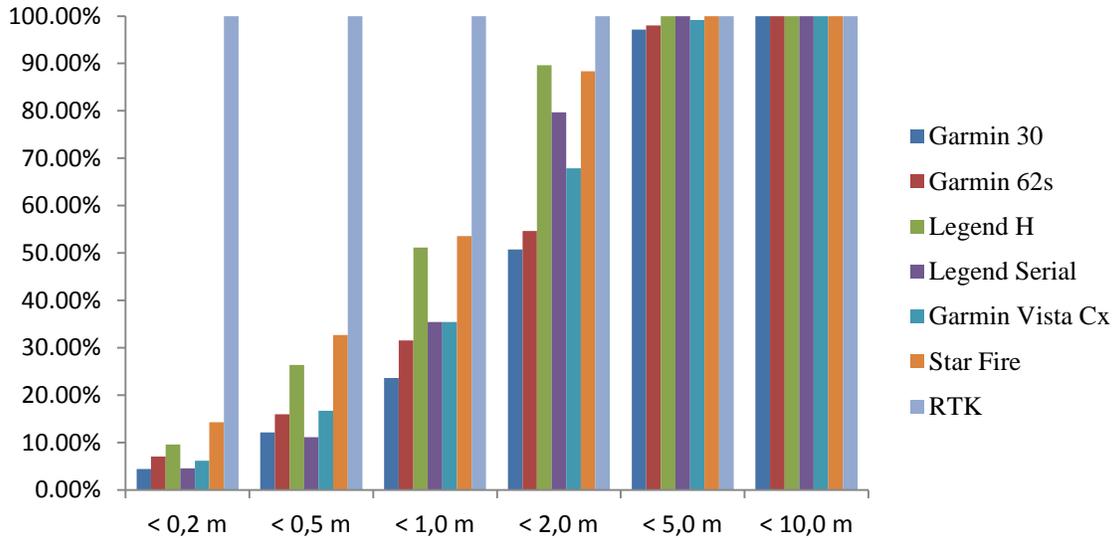


Figura 6. Comparação entre a distância do ponto adquirido em relação ao ponto de referência de para os receptores durante as repetições do ensaio 1, frequência acumulada.

Em relação ao ensaio 2 com o uso de sinais adicionais para correção e/ou hibridização de constelações de satélite para a determinação da posição dos receptores, os resultados são apresentados na Tabela 2 e na Figura 7.

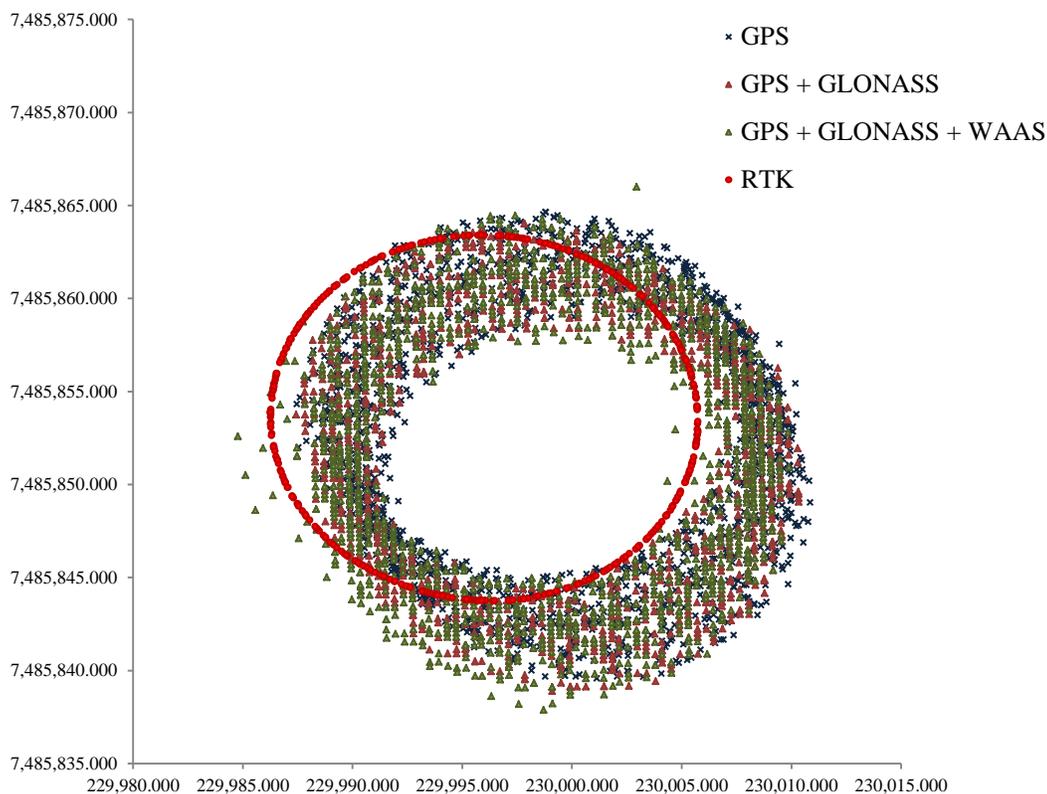


Figura 7. Comparação entre o percurso do receptor RTK e o receptor eTrex® 30 em diferentes sistemas de aquisição de dados.

Tabela 2. Erro Médio, desvio padrão e número médio de aquisições obtidos no ensaio com receptor eTrex® 30 com diferentes constelações de satélites utilizadas.

	Erro		Aquisições
	Médio* (m)	Desvio Padrão (m)	
GPS	2,449 A	1,297	401,00
GPS + GLONASS	2,380 A	1,285	403,00
GPS + GLONASS+ WAAS	2,287 A	1,245	404,25

*Valores de Erro Médio com mesma letra não diferem estatisticamente com significância de 5%, segundo o teste de Tukey.

Os dados do receptor eTrex® 30 apresentaram-se com deslocamento para Sudeste em relação ao círculo obtido com o RTK, porém essa observação foi vista nos dados das três condições. Observa-se que não houve grande variação nos resultados obtidos, o que foi comprovado estatisticamente visto que eles não diferiram, porém o sistema utilizando GLONASS junto ao GPS demonstrou uma pequena superioridade quando comparado com apenas o GPS. Semelhantemente ocorreu que o uso do sistema WAAS junto ao GPS + GLONASS também levou a uma pequena redução do erro.

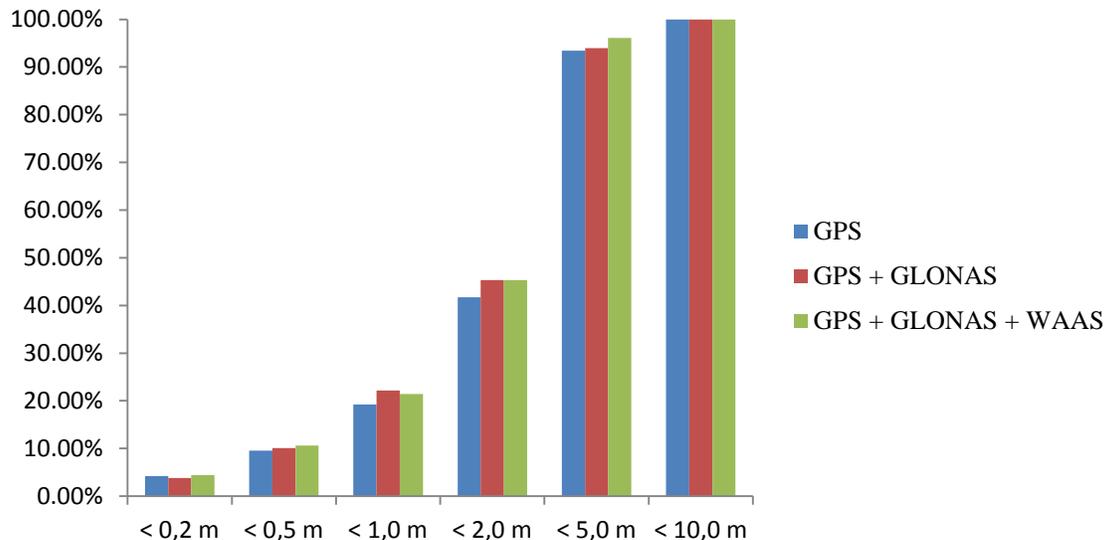


Figura 8. Comparação entre a distância do ponto adquirido em relação ao ponto de referência de para os receptores durante as repetições do ensaio 2, frequência acumulada

Os Erros Médios subestimam o erro real visto que calculam o erro ortogonalmente à circunferência. Isso deve-se a duas impossibilidades: (a) saber exatamente onde o receptor se encontrava radialmente no trilho no momento da coleta e (b) o não sincronismo dos relógios internos (o que permitiria todos os modelos coletar o dado num mesmo momento).

Foi possível observar diferenças entre os receptores tanto em relação ao Erro Médio, o desvio padrão e o número de aquisições (relógio interno dos aparelhos), sendo que foi possível ver três classes distintas no primeiro experimento, a primeira com o RTK, a segunda com o StarFire™ e com o eTrex® Legend H e uma terceira com os demais.

Apesar de todos os experimentos realizados é importante comentar que os ensaios conseguiram encontrar o erro mínimo de todos os GPS, conseguindo prover parâmetros que caracterizam parcialmente a exatidão e consistência da localização dos receptores e também que são necessários ainda alguma melhorias tanto no processo de coleta de dados, como no processo de avaliação.

CONCLUSÃO

Observou-se diferenças de qualidade de posicionamento entre os receptores tanto em relação ao Erro Médio, o desvio padrão e o número de aquisições (relógio interno dos aparelhos), caracterizando-se uma categoria representada pelo receptor RTK, outro representado pelos receptores StarFire™ e eTrex®Legend H (este último apresentando um resultado superior ao esperado) e um terceiro com os demais. Em relação à escolha das constelações, o sistema (GPS + GLONASS+ WAAS) não se mostrou significativamente melhor que as demais combinações com uma defasagem consistente dos dados em relação à posição real.

REFERÊNCIAS

ANSEMI, A. A.; Adoção da Agricultura de Precisão no Rio Grande do Sul, Dissertação (Mestrado) UFRGS, Porto Alegre, 2012.

CAMARGO, D.; MOLIN, J.P. Projeto e construção de uma estrutura para testes cinemáticos com receptores de GNSS, In: 19º Simpósio Internacional de Iniciação Científica da Universidade de São Paulo – SIICUSP. Piracicaba, 2011.

CAPPELLI, N.L.; UMEZU, C.K.; SILVEIRA, A.C. Desempenho comparativo dos aparelhos GPS eTrex, IIIplus e AGgps132 quanto a acurácia e precisão. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO, 2004, Piracicaba. Piracicaba: ESALQ/USP, 2004. CD 1.

MACHADO, T. M.; MOLIN, J. P. Ensaios estáticos e cinemáticos de receptores de GPS. Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental. v.15, n.9, p.981–988, 2011.

SEGANTINE, P. C. L. GPS: Sistema de Posicionamento Global; EESC/USP, São Carlos, 2005.