

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO

Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

Departamento de Engenharia de Biosistemas

Avaliação da frequência de aquisição de dados para a análise de
eficiências operacionais em operações mecanizadas

Graduando: Lucas Pichirilli Vieira
Orientador: Prof. Dr. José Paulo Molin

Piracicaba, julho de 2010

AVALIAÇÃO DA FREQUENCIA DE AQUISIÇÃO DE DADOS PARA A ANÁLISE DE EFICIÊNCIAS OPERACIONAIS EM OPERAÇÕES MECANIZADAS

RESUMO: O registro de percursos para análise de desempenho de conjuntos mecanizados tem sido abordado com frequência. O objetivo deste trabalho é avaliar frequências de coleta de dados georreferenciados e estabelecer a mínima frequência a ser utilizada com receptores GNSS (Global Navigation Satellite Systems) que ofereça acurácia suficiente na estimativa de tempos de manobras. Realizaram-se dois experimentos com coleta de dados utilizando um GPS com frequência de 5Hz e raleou-se os dados para obter as frequências de 1,0 Hz, 0,5 Hz e 0,1 Hz. No segundo experimento cronometrou-se os tempos de manobras. As análises de médias dos tempos de manobras indicaram que a frequência de 5,0 Hz foi a que resultou no tempo de manobras mais próximo do tempo cronometrado; os dados obtidos com frequência de 1,0 Hz resultaram em valores estatisticamente iguais aos da frequência de 5,0 Hz, a frequência que resultou no tempo de manobras mais próximo do tempo cronometrado.

INTRODUÇÃO

Linsley e Bauer (1929) conduziram uma pesquisa há 80 anos sendo citado por Stombaugh (2002), a qual comprovava a variabilidade espacial da acidez do solo, em que os autores obtiveram reduções significativas nos custos de produção de grãos, sem o comprometimento da produtividade, realizando a aplicação variada de calcário em uma área experimental. Apesar desse avanço no manejo agrícola para época, somente no final da década de 1980, com o desenvolvimento do GPS (Sistema de Posicionamento Global) essa técnica se tornou viável, sendo posteriormente chamada de Agricultura de Precisão (AP).

As técnicas de agricultura de precisão se diferenciam dos conceitos tradicionais de agricultura pelo seu nível de gerenciamento. O conhecimento adquirido com as informações fornecidas pela AP permite aos produtores melhor suporte na tomada de decisões resultando em potenciais benefícios ambientais, economia de insumos e lucros (MOLIN et al., 2006).

A ferramenta essencial para a prática da AP é o GPS, que teve primordialmente seu uso voltado para os militares, após o término da Guerra Fria, o GPS passou a estar presente nas lavouras, fazendo com que a AP fosse uma atividade possível.

O princípio básico de navegação pelo GPS consiste na medida de tempo para se obter a distância entre o usuário e quatro satélites. Conhecendo as coordenadas dos satélites num sistema de referência apropriado, é possível calcular as coordenadas da antena do usuário no mesmo sistema de referências dos satélites (MONICO, 2007).

Segundo Taylor (2002), informações acerca da capacidade operacional são de grande importância no gerenciamento de sistemas mecanizados agrícolas, auxiliando nas decisões a serem tomadas pela administração visando a sua otimização. A habilidade de uma máquina para desempenhar eficientemente sua função, trabalhando em um ambiente qualquer, é um critério importante que afeta decisões sobre o seu gerenciamento.

Os dados georreferenciados podem também ter um papel importante na operação e gerenciamento de máquinas agrícolas. Os dados adquiridos durante a colheita fornecem informações relativas a características operacionais da colhedora como velocidade, percursos realizados, produtividade e tempo de descarga, bem como influências do relevo e características do operador sobre a capacidade de campo da colhedora (GRISSO et al., 2002).

Segundo Strickland et al. (2001), no passado os estudos de eficiência de máquinas a campo eram realizados utilizando-se cronômetros, pranchetas e mecanismos de gravação, que consumiam muito tempo e necessitavam de uma pessoa ou uma equipe de campo para apontamentos. Foi efetivamente a partir da entrada em operação plena e do barateamento da tecnologia do GPS, ocorrida no início da década de 1990, que se tornou possível o emprego do mesmo na agricultura de precisão (SARAIVA et al., 2000).

A determinação da capacidade operacional de um conjunto mecanizado (trator e implemento) é de fundamental importância para a definição do custo operacional desse conjunto. Com o valor da eficiência operacional é possível comparar os diferentes conjuntos existentes na propriedade, no que diz respeito a operadores, às máquinas e também aos custos (PERIN, 2007).

A possibilidade de fazer os cálculos da eficiência operacional com os dados obtido com receptores de GNSS (Global Navigation Satellite System), sem a necessidade do uso do cronômetro, otimiza a análise dos dados e reduz os custos e a mão-de-obra empregada. A adoção de práticas de AP se intensifica no nosso meio e com isso a utilização de receptores de GNSS nas máquinas passa a ser usual. Com isso se torna fácil a coleta de dados, muitas vezes, sem custo adicional. Dessa forma é importante se trabalhar os aspectos relativos especificamente a essa coleta, suas configurações e suas aplicações. Sendo assim, esse trabalho tem como objetivo estudar e definir uma frequência mínima de coleta de dados de posicionamento e tempo para que tais dados tenham utilidade na análise de tempos e movimentos em sistemas mecanizados agrícolas em geral.

MATERIAL E MÉTODOS

Um primeiro experimento foi conduzido em uma área comercial do grupo Adecoagro Agroenergia, na Usina Angélica, no município de Angélica, no estado do Mato Grosso do Sul, em uma área de 2,8 hectares, composta de 46 fileiras de cana planta, cujo plantio havia sido realizado há 55 dias.

Utilizou-se um receptor de GNSS StarFire® para gerar a bordadura das áreas trabalhadas e para fins de coleta dos pontos de área de manobra foi utilizado um receptor Garmin 18 5 Hz®, configurado para adquirir os dados com a sua máxima frequência. Os dados foram trabalhados no software SSToolbox®, através da sobreposição da bordadura com as manobras e utilizou-se o programa GPS

Trackmaker[®], a fim de dividir as áreas denominadas de Área 1 e Área 2, em quatro blocos cada (Figura 1), totalizando em oito blocos, que tiveram os dados de suas manobras transformados em planilha Microsoft Excel[®]. Com os dados organizados em tabelas, iniciou-se o raleamento, utilizando uma lógica do programa que baseia-se em manter o primeiro ponto e retirar os pontos a seguir de acordo com a frequência requerida. Para ralear os dados de frequência de coleta de 5,0 Hz para uma frequência de coleta de 1,0 Hz foram excluídos quatro pontos de cada conjunto de cinco pontos e assim foi feito para a frequência de 0,5 Hz, onde com os dados base de 5,0 Hz foram raleados retirando nove pontos de cada conjunto de dez pontos e para frequência de 0,1 Hz, onde foram retirados quarenta e nove de um conjunto de cinquenta pontos.

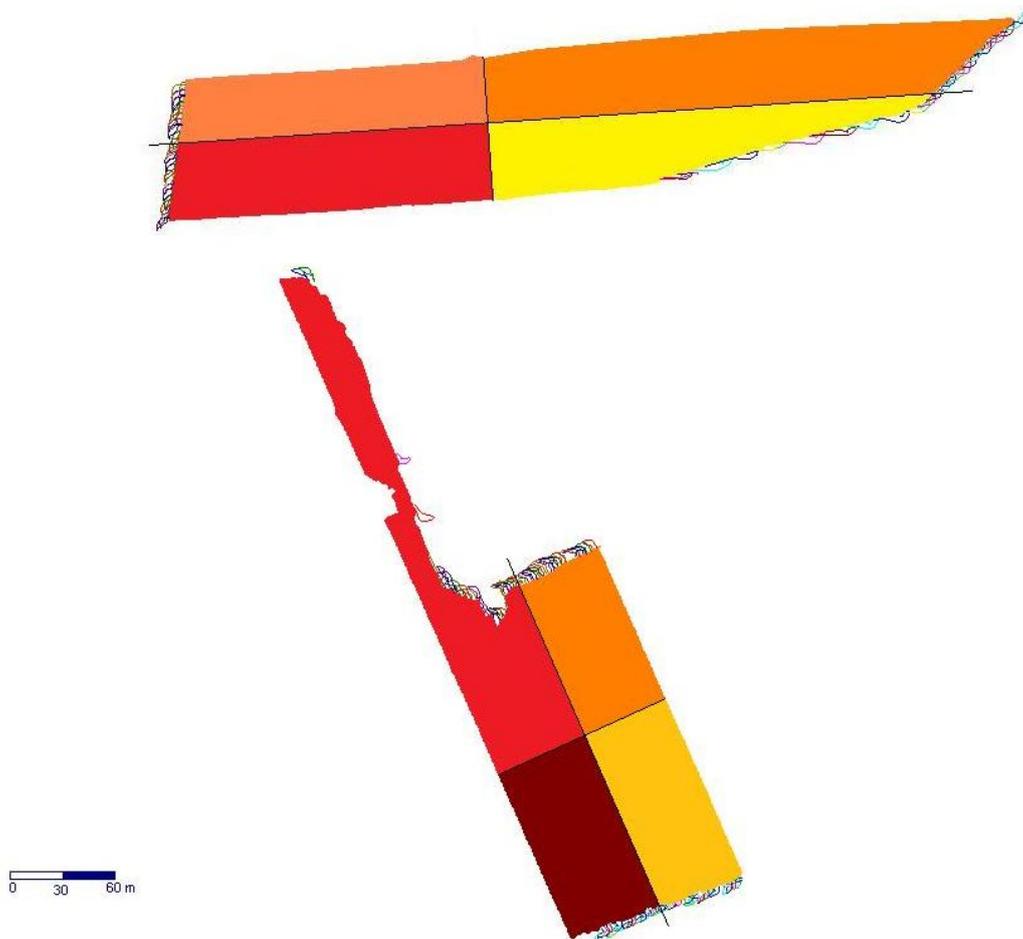


Figura1: Formato dos dois talhões experimentais e das suas divisões internas

Com os dados tabelados calcularam-se os tempos de manobra de cabeceira, através da divisão do número de pontos presentes em uma manobra, pela frequência de coleta utilizada. Para avaliação dos tempos de manobra foi utilizada a estatística analítica, por meio do desvio padrão entre os tempos encontrados na frequência de 5,0

Hz e as outras frequências. Um segundo experimento foi realizado em uma área de 0,29 hectares, dentro da ESALQ-USP, com linhas previamente traçadas para melhor localização do operador, simulando uma operação. Nessa nova etapa utilizou-se um trator portando um receptor GPS Garmin 18, com frequência máxima de coleta de 5,0 Hz. A delimitação das linhas e finais de talhão foi feita com estacas espaçadas em 3 em 3 m, totalizando 67 estacas em volta da área experimental e para o georreferenciamento foi utilizado um receptor Ag GPS[®] 132 da Trimble[®]. Foi feita a marcação de tempos com auxílio de um cronometro, permitindo assim a comparação com os tempos coletados pelo GPS.

A simulação da operação consistiu em percursos de ida e volta (Figura 2), com duas repetições de 30 manobras em cada, totalizando 60 manobras de final de talhão. Os tempos das manobras foram determinados com auxílio do programa SSToolbox[®]. A partir da delimitação do talhão, os pontos externos foram considerados como manobra e tiveram seus tempos usados para definir o valor total do tempo de cada manobra. Os dados foram avaliados por meio de comparação entre os tempos coletados pelo receptor GPS e os tempos cronometrados. Esse mesmo conjunto de dados também passou pelo mesmo processo de raleamento para simular frequências de 1,0 Hz, 0,5 Hz e 0,1 Hz.

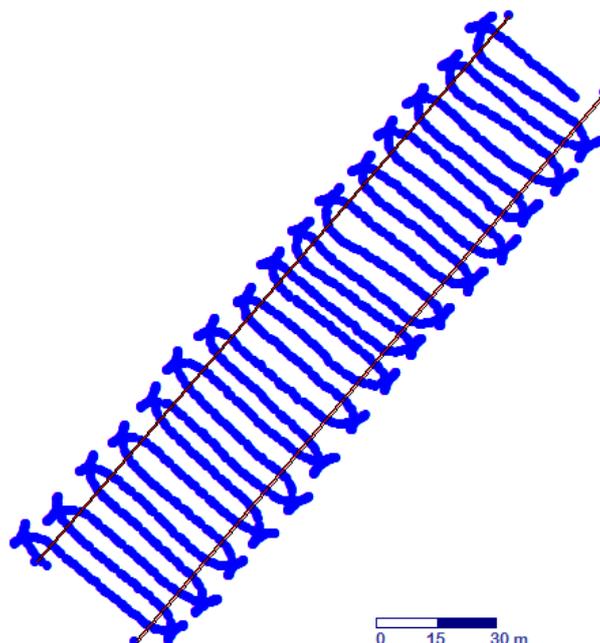


Figura 2: Imagem da área do segundo experimento com as manobras de cabeceira e a linha divisória da área de manobra.

Os dados foram submetidos à análise estatística, com intuito de encontrar os desvios entre as médias dos tempos coletados e os tempos cronometrados. A análise foi realizada aplicando-se o teste de Tukey, com nível de significância de 5% ($p < 0,05$), utilizando o programa Assistat[®] versão 7.5 (SILVA, F. & AZEVEDO, C., 2009).

RESULTADOS E DISCUSSÃO

Primeiro experimento

Na Tabela 1 são apresentados os dados obtidos a partir da divisão que gerou os oito talhões. Não foram coletados os tempos com auxílio do cronometro, o que gerou a necessidade da realização do segundo experimento.

Tabela 1: Tempos das manobras feitas nas áreas do primeiro experimento divididas em blocos (talhões), obtidos com GPS e de raleamentos a partir dos dados de frequência de coleta de 5,0 Hz, 1,0 Hz, 0,5 Hz e 0,1 Hz

	Área 1				Área 2			
	T1	T2	T3	T4	T1	T2	T3	T4
Tempos (s)								
Frequência 5 Hz								
1	78,8	68,6	80,4	66,2	98,4	130,0	87,4	58,8
2	89,0	68,8	73,2	59,0	228,6	80,4	97,4	72,2
3	89,9	63,8	56,8	72,4	89,0	91,6	142,8	43,8
4	79,4	65,0	48,8	235,2	80,0	94,8	88,4	203,0
5	224,8	58,6	85,8	132,4	80,2	111,2	92,0	67,0
6	78,0	53,6	95,0	55,4	173,8	80,4	155,2	65,4
7	72,4	47,0	61,2	72,0	83,0	94,6	99,6	102,4
8	67,4	49,4	63,6	58,8	110,0	83,4	76,6	63,4
9	56,4	49,6	71,2	66,0	76,2	80,8	121,4	62,6
10	72,2	46,6	66,0	79,0	185,0	72,2	75,2	61,6
11	68,4	92,0	67,4	71,4	82,0	82,4	76,8	62,6
12	-	-	-	-	76,2	75,6	63,6	94,0
13	-	-	-	-	71,0	101,8	71,6	56,4
14	-	-	-	-	83,4	76,4	74,4	468,0
Frequência 1,0 Hz								
1	79,0	69,0	80,0	66,0	98,0	130,0	87,0	59,0
2	89,0	69,0	73,0	59,0	229,0	80,0	97,0	72,0
3	90,0	64,0	57,0	72,0	89,0	92,0	143,0	44,0
4	79,0	65,0	49,0	235,0	80,0	95,0	88,0	203,0
5	225,0	59,0	86,0	132,0	80,0	111,0	92,0	67,0
6	78,0	54,0	95,0	55,0	174,0	80,0	155,0	65,0
7	72,0	47,0	61,0	72,0	83,0	95,0	97,0	102,0

8	67,0	49,0	64,0	89,0	110,0	83,0	77,0	63,0
9	56,0	50,0	71,0	66,0	76,0	81,0	121,0	63,0
10	72,0	47,0	66,0	79,0	185,0	72,0	75,0	62,0
11	68,0	92,0	67,0	71,0	82,0	82,0	77,0	63,0
12	-	-	-	-	76,0	76,0	64,0	94,0
13	-	-	-	-	71,0	102,0	72,0	57,0
14	-	-	-	-	83,0	76,0	74,0	468,0

Frequência 0,5 Hz

1	40,4	35,2	41,1	34,0	50,1	65,9	44,6	30,3
2	45,4	35,3	37,6	30,4	115,2	41,1	49,6	37,0
3	45,8	32,8	29,3	37,1	45,4	46,7	72,3	22,8
4	40,1	33,4	25,4	118,5	40,9	48,3	45,1	102,4
5	113,3	30,2	43,8	67,1	41,0	56,5	46,9	34,4
6	39,9	27,7	48,4	28,6	87,8	41,1	78,5	33,6
7	37,2	24,4	31,5	36,9	42,4	48,2	50,7	52,1
8	34,6	25,6	32,7	30,3	55,9	42,6	39,2	32,6
9	29,1	25,7	36,5	33,9	39,0	41,3	61,6	32,2
10	37,0	24,2	33,9	40,4	93,4	37,0	38,5	31,7
11	35,1	46,9	34,6	36,6	41,9	42,1	39,3	32,2
12	-	-	-	-	39,0	38,7	32,7	47,9
13	-	-	-	-	36,4	51,8	36,7	29,1
14	-	-	-	-	42,6	39,1	38,1	235,0

Frequencia 0,1 Hz

1	8,1	7,0	8,3	6,8	10,8	13,2	8,9	6,1
2	9,1	7,1	7,6	6,3	23,6	8,3	9,9	7,4
3	9,2	6,6	5,9	7,5	9,9	9,4	14,5	4,6
4	8,1	6,7	5,1	23,7	8,9	9,7	9,1	20,5
5	22,7	6,0	8,8	13,5	8,2	11,3	9,4	6,9
6	8,0	5,6	9,7	5,7	17,8	8,3	15,7	6,8
7	7,5	4,9	6,3	7,4	8,1	9,7	10,2	10,5
8	7,0	5,2	6,6	6,0	11,3	8,6	7,9	6,6
9	5,9	5,2	7,3	6,8	7,9	8,3	12,4	6,5
10	7,4	4,9	6,8	8,1	18,7	7,4	7,7	6,4
11	7,0	9,4	6,9	7,4	8,4	8,5	7,9	6,5
12	-	-	-	-	7,8	7,8	6,6	9,6
13	-	-	-	-	7,3	10,4	7,4	5,9
14	-	-	-	-	8,6	7,9	7,7	47,0

Observa-se que nas frequências de 0,5 Hz e 0,1 Hz os tempos de manobras foram inferiores aos obtidos com a frequência máxima. A coleta de dados com o GPS com frequência de 1,0 Hz teve valores estatisticamente iguais aos coletados pelo receptor de 5,0 Hz, mesmo tendo uma frequência cinco vezes menor, como observado na Tabela 2. A partir das médias dos tempos, observa-se a discrepância entre os tempos coletados pelas frequências de 0,5 e 0,1 Hz.

Tabela 2: Médias dos tempos das manobras feitas nas duas áreas experimentais localizadas na Usina Angélica, com a frequência de coleta de 5,0 Hz, 1,0 Hz, 0,5 Hz e 0,1 Hz

Frequências (Hz)	Médias (segundos)
Área 1	
5.0	76.74773 ^a
1.0	77.38636 ^a
0.5	39.27045 ^b
0.1	7.88864 ^c
Área 2	
5.0	99.57143 ^a
1.0	99.50000 ^a
0.5	50.68750 ^b
0.1	10.22679 ^c

Valores das médias de 14 passadas com 4 repetições. Médias assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($p < 0,05$), segundo teste de Tukey.

Segundo experimento

Na Tabela 3 são apresentados os tempos de manobras coletados duas vezes com auxílio de cronômetro e com o GPS e os tempos raleados para a obtenção das frequências menores.

Tabela 3: Tempos das manobras feitas na área do segundo experimento, cronometrados e obtidos a partir da coleta com GPS e de raleamentos dos dados de frequência de coleta de 5,0 Hz, em dois percursos

Manobra	Tempo (s) Testemunha	Tempo GPS(s)			
		5,0 Hz	1,0 Hz	0,5 Hz	0,1 Hz
Primeiro percurso					
1	12,10	11,40	10,80	9,80	9,80
2	12,16	11,60	11,00	10,00	1,00
3	11,12	10,40	9,80	8,20	1,00
4	12,50	11,80	11,00	10,00	1,00
5	11,96	11,20	10,20	8,20	1,00
6	12,24	11,60	11,00	10,00	1,00
7	11,49	10,40	10,20	10,20	1,00
8	13,00	12,20	11,00	12,00	10,00

9	12,52	11,60	11,00	10,00	10,00
10	12,56	12,20	11,00	10,00	10,00
11	12,21	12,20	11,00	10,00	1,00
12	11,87	11,20	10,20	10,20	1,00
13	12,70	12,00	11,00	10,00	1,00
14	13,28	12,80	12,00	10,00	1,00
15	11,81	10,60	10,00	10,00	1,00
16	13,01	12,60	11,00	12,00	1,00
17	11,81	11,00	11,20	8,20	1,00
18	12,21	11,40	11,00	10,00	1,00
19	12,19	12,60	11,00	10,00	1,00
20	12,02	11,60	11,00	10,00	10,00
21	12,55	12,00	11,00	10,00	10,00
22	12,49	12,20	11,00	12,00	10,00
23	12,17	11,60	12,00	10,00	1,00
24	12,70	12,20	12,00	12,00	1,00
25	12,09	11,40	12,00	9,80	1,00
26	12,64	12,40	12,00	12,00	1,00
27	12,94	12,00	12,00	10,20	1,00
28	12,79	12,60	12,00	10,00	1,00
29	12,40	10,60	10,00	8,00	1,00
30	11,74	11,20	11,00	9,80	1,00

Segundo percurso

1	12,67	12,20	11,00	10,00	1,00
2	11,77	11,40	10,20	8,00	1,00
3	10,71	10,40	9,20	8,20	1,00
4	13,87	13,80	12,00	12,00	10,00
5	12,46	11,60	11,00	10,00	10,00
6	13,56	13,60	12,00	12,00	10,00
7	12,56	11,20	11,00	10,00	1,00
8	13,13	12,80	12,20	10,20	1,00
9	11,40	10,20	10,00	10,00	1,00
10	14,01	13,80	13,00	12,00	1,00
11	11,95	11,80	11,00	10,20	1,00
12	14,27	13,80	12,00	12,00	1,00
13	12,97	11,60	11,20	10,20	1,00
14	13,13	13,40	12,00	12,00	1,00
15	12,80	11,40	11,00	10,00	1,00
16	12,73	12,40	9,80	12,00	10,00
17	11,74	11,00	11,00	10,20	1,00
18	12,80	11,80	9,80	9,80	1,00
19	12,25	11,40	11,00	10,00	1,00
20	12,01	11,80	10,00	10,00	1,00
21	11,81	11,00	10,00	10,00	1,00
22	12,44	12,20	11,00	10,00	1,00
23	10,94	10,00	10,00	8,40	1,00
24	12,41	12,40	12,20	9,80	1,00
25	11,56	10,20	10,00	7,80	1,00
26	12,65	12,80	12,20	12,20	1,00
27	12,45	11,80	11,00	10,00	1,00
28	12,11	12,40	11,00	10,00	1,00
29	12,29	10,60	11,00	10,00	1,00
30	12,16	12,20	11,00	10,00	1,00

Nessas duas repetições dos percursos os tempos continuam seguindo um padrão, com uma diminuição notável nos tempos de manobra a partir de 1,0 Hz. Também se observa que os tempos cronometrados são superiores aos tempos coletados pelo GPS. Da análise estatística (Tabela 4) observa-se que as médias do tempo cronometrado e dos tempos da frequência de 5,0 Hz não diferem estatisticamente, porém diferem do tempo obtido com a frequência de 1,0 Hz.

Tabela 4: Comparação das médias de tempos das manobras feitas no segundo experimento, com a frequência de coleta de 5,0 Hz, 1,0 Hz, 0,5 Hz e 0,1 Hz e de tempos cronometrados

Frequências (Hz)	Tempo médio (s)
Tempo cronometrado (Controle)	12.38133 ^a
5.0	11.79333 ^{ab}
1.0	11.02000 ^{bc}
0.5	10.16000 ^c
0.1	2.64667 ^d

Valores das médias de 30 passadas com 5 repetições; médias assinaladas com a mesma letra não diferem significativamente ($p < 0,05$), segundo teste de Tukey.

Constatou-se que dos tempos de manobras encontrados, a frequência de 5,0 Hz foi o que obteve o tempo mais próximo do tempo considerado real, computado com auxílio de um cronometro. Contudo não se pode descartar os tempos coletados na frequência de 1,0 Hz, que são valores estatisticamente iguais aqueles da frequência de 5,0 Hz em ambos os experimentos. As frequências de 0,5 Hz e 0,1 Hz resultaram em valores de tempos muito abaixo do esperado. Observa-se que as frequências de 5,0 e 1,0 Hz resultaram em valores de tempos mais confiáveis. Considera-se que a frequência de 1,0 Hz seria satisfatória para a obtenção de dados de tempos de manobras coletados próximos do real. Seria recomendável a realização de novos estudos focando novas variáveis, como por exemplo, a utilização de GPS com diferentes frequências e com correção diferencial.

CONCLUSÃO

Com os valores obtidos por esse trabalho pode-se concluir que a coleta de dados georreferenciados na frequência de 1,0 Hz estabelece valores com a acurácia necessária para se estimar tempos de manobras em operações agrícolas.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MOLIN, J.P.; MILAN, M.; NESRALLAH, M.G.T.; CASTRO, C.N. GIMENEZ, L.M. Utilização de dados georreferenciados na determinação de parâmetros de desempenho em colheita mecanizada, *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.26, n.3, p.759-767, set./dez. 2006.

STRICKLAND, R.M.; ESS, D.R.; PARSONS, S.D.; CRISLER, M.T. Extracting machine performance information from site-specific grain yield data to enhance crop production management practices. *Net*, Jul. 2001. 3 p. 2001. Disponível no site: <http://mollisol.agry.purdue.edu/ssmc/newsletters/july2001f.htm>. Acesso em: 15 abr. de 2002.

SARAIVA, A. M.; CUGNASCA, C. E.; HIRAKAWA, A. R. Aplicação em Taxa Variável de Fertilizantes e Sementes. *Agricultura de Precisão*, 2000, 467p.

PERIN, G.P., *Revista Cultivar Maquinas*, Março 2007, p. 11-13.

TAYLOR, R.K.; SCHROCK, M.D.; STAGGENBORG, S.A. *Extracting machinery management information from GPS data*. St. Joseph: ASAE, 2002. 9p. (ASAE Paper No. 021008).

GRISSE, R.D.; JASA, P.J.; ROLOFSON, D. Analysis of traffic patterns and yield monitor data for field efficiency determination. *Applied Engineering in Agriculture*, St. Joseph, v. 18, n. 2, p. 171-178. 2002.

STOMBAUGH, T.; SHEARER, S.; FULTON, J. Standards for comparison of GPS receiver performance. In: CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., 2002, Madison. Abstract... St. Joseph: ASA/CSSA/SSSA, 2002.p.1049-1059.

MONICO, J.F.G. Posicionamento pelo NAVSTAR-GPS: Descrição, fundamentos e aplicações. 2.ed. São Paulo: UNESP, 2007. 476 p.

Silva, F. de A. S. e. & Azevedo, C. A. V. de. Principal Components Analysis in the Software Assistat-Statistical Attendance. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 7, Reno-NV-USA: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2009.

Silva, F. de A. S. e. & Azevedo, C. A. V. de. A New Version of The Assistat-Statistical Assistance Software. In: WORLD CONGRESS ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 4, Orlando-FL-USA: Anais... Orlando: American Society of Agricultural and Biological Engineers, 2006. p.393-396.

Silva, F. de A. S. e. & Azevedo, C. A. V. de. Versão do programa computacional Assistat para o sistema operacional Windows. Revista Brasileira de Produtos Agroindustriais, Campina Grande, v.4,n.1, p71-78,2002.

Silva, F.de A.S.e. The ASSISTAT Software: statistical assistance. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS IN AGRICULTURE, 6, Cancun, 1996. Anais... Cancun: American Society of Agricultural Engineers, 1996. p.294-298.