

UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO
ESCOLA SUPERIOR DE AGRICULTURA “LUIZ DE QUEIROZ”
DEPARTAMENTO DE ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS
LABORATÓRIO DE AGRICULTURA DE PRECISÃO

**MODELO PARA OBTENÇÃO DE PONTOS DE PRODUTIVIDADE A PARTIR
DO MOVIMENTO DA CARREGADORA EM POMARES**

ESTÁGIO SUPERVISIONADO EM ENGENHARIA DE BIOSISTEMAS II

ORIENTADOR: Profº Drº José Paulo Molin

ALUNO: Lucas Cortinove

JULHO 2013

MODELO PARA OBTENÇÃO DE PONTOS DE PRODUTIVIDADE A PARTIR DO MOVIMENTO DA CARREGADORA EM POMARES

RESUMO

A agricultura de precisão é um conceito de gerenciamento que leva em consideração a variabilidade espacial dentro de uma área de produção e essa variabilidade espacial pode ser investigada através dos mapas de produtividade. A confecção de mapas de produtividade em citros necessita da coleta de pontos de produtividade manualmente, sendo uma operação que está sujeita a relapsos operacionais além de ser uma atividade a mais a ser realizada na colheita. O único momento em que ocorre a presença de máquinas na colheita de citros, é na retirada de sacolões do talhão para descarregar em um caminhão. Desta forma, esse trabalho tem como objetivo criar um modelo para obter pontos de produtividade através do movimento do braço da carregadora em pomares. Foram criados dois modelos para obter os pontos de produtividade. O primeiro modelo leva em consideração os dados de altitude do receptor, focando o levantamento do sacolão para descarregar no caminhão. O segundo modelo leva em consideração o cálculo de área, focando o movimento lateral que o braço da carregadora faz para buscar o sacolão na base da copa da planta ou para descarregar o sacolão na fileira adjacente de citros. Para avaliar esses dois modelos, foram coletados dados em duas áreas. Em ambas as áreas, os modelos não apresentam bons resultados. Não foi possível o uso de um parâmetro para uso nos modelos. O uso de um receptor de código C/A já é o suficiente para coleta de dados no braço da carregadora.

1. INTRODUÇÃO

A agricultura de precisão (AP) pode ser definida como um conceito de gerenciamento que leva em consideração a variabilidade espacial que existe dentro de uma área de produção, independente de seu tamanho, e permite tratar de maneira localizada essa variabilidade. Há uma evidência bem comprovada que tanto a qualidade quanto a produtividade variam espacialmente nas lavouras e sistemas estão sendo desenvolvidos para explorar essa variação e aumentar o rendimento das culturas (STAFFORD, 1999).

A variabilidade espacial pode ser investigada dentre outras formas por mapas de produtividade, que expressam a produtividade de sub-regiões menores evidenciando contrastes existentes entre estas.

Na colheita de grãos, os pontos dos mapas de produtividade são coletados com sensores instalados na colhedora. Na impossibilidade destes na colheita manual dos citros, são necessários outros meios para se caracterizar os pontos. A única etapa da colheita em que o uso de máquinas ocorre, é na retirada dos frutos do campo, em que uma carregadora de braço telescópico recolhe os sacolões contendo os frutos dos colhedores descarregando estes em carretas transportadoras.

Em operações de carregamento a determinação do volume carregado pode-se dar:

1. por atuação humana, seja a partir de dataloggers localizados nos próprios carregadores que requerem intervenção humana (neste caso do operador) para armazenar os dados de coleta, ou por uma operação adicional que recorda o posicionamento de sacolões prévio ao carregamento;
2. por sensores capazes de determinar volume/massa automaticamente durante o processo de colheita.

Estas opções requerem: intervenção humana, que demanda uma atividade adicional e está sujeita a relapsos operacionais; ou investimento em sistemas automatizados de coleta de dados, que podem ser inexistentes ou economicamente/operacionalmente inviáveis.

Molin & Mascarin (2007) desenvolveram um método para geração de mapas de produtividade em citros que consiste em coletar com um receptor de GNSS (Sistemas de Navegação Global por Satélites) a localização dos sacolões; estimando-se a massa de frutos dentro dos sacolões e a área utilizada para encher estes. A massa dos sacolões é estimada pelo apontador que é a pessoa que registra essa informação para o posterior pagamento ao colhedor.

Este método é eficiente para se obter mapas de produtividade de citros, no entanto é necessário que o apontador ou um acompanhante marque os pontos de cada sacolão, sendo esta uma tarefa adicional e trabalhosa dependendo do tamanho da área em coleta.

Como o braço da carregadora tem que movimentar todos os sacolões do talhão, é possível acoplar um receptor GNSS para registrar os movimentos desta. Aplicando-se

análises sobre estes registros é sugerível poder estimar a posição dos sacolões em campo.

Dessa forma, este trabalho teve por objetivo utilizar-se de receptores GNSS e acoplá-los na ponta da lança de uma carregadora e propor modelos de análise pós-processada dos dados coletados pelos receptores estimando a localização dos sacolões e conseqüentemente, a produtividade localizada no pomar.

2. MATERIAIS E MÉTODOS

Foram criados dois modelos para estimar a localização dos sacolões, ambos requerem como dados de entrada, os pontos coletados georreferenciados em sequência e frequência únicas.

O primeiro modelo utilizou os valores de altitude do receptor na ponta da lança e nesse caso as diferenças de altitude caracterizam o levantamento de um sacolão para descarregamento no caminhão (Figura 1).

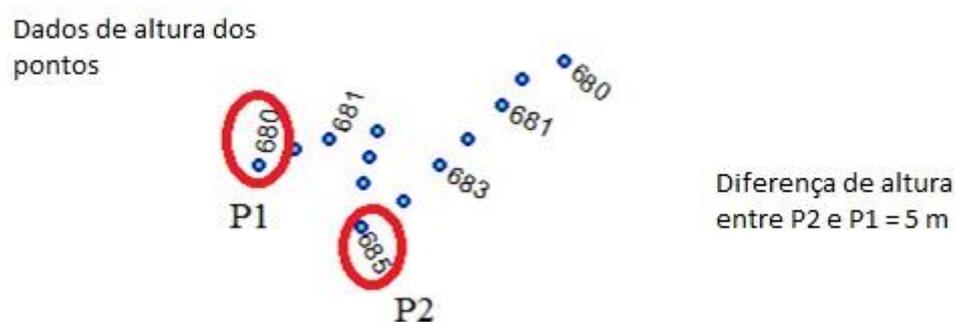


Figura 1 Dados de altitude do receptor na ponta da lança caracterizando levantamento de um sacolão para descarregamento

Os dois parâmetros necessários neste modelo são: a distância (em número de pontos) no qual a diferença de altura será medida, e a altura mínima necessária entre estes para inferir a existência de um sacolão.

Para avaliar a porcentagem de acerto desse modelo, utilizou-se a Equação 1. A porcentagem foi calculada a partir do número de sacolões alocados no lugar certo, os que foram marcados a mais e os que não foram marcados.

$$P = \frac{SE}{SE+NM+EE} \times 100 \quad (1)$$

onde,

P, probabilidade de acerto do modelo (%);

SE, número de sacolões exatos;

NM, número de sacolões não marcados;

EE, número de sacolões estimados erroneamente.

Num segundo modelo utilizou-se dos movimentos horizontais do braço da carregadora. Tal movimento ocorre quando os sacolões são descarregados em um caminhão localizado na fileira adjacente à carregadora ou o movimento para buscar um sacolão na lateral das plantas (Figura 2).

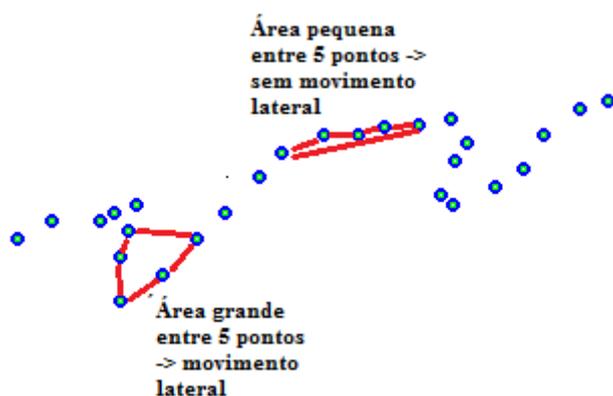


Figura 2. Método utilizado para detecção de sacolões por movimentos laterais.

Um sacolão é marcado quando uma área mínima entre pontos, apresenta um limite de comprimento entre os pontos como parâmetro corrigindo condições em que altas velocidades da máquina levariam a uma grande área mesmo sem movimento lateral.

Um número de pontos para cálculo de área, uma área mínima e um comprimento máximo entre os pontos são os parâmetros de entrada e simulação do modelo. Para calcular o acerto desse modelo foi adicionada uma ferramenta para calcular o quanto os sacolões marcados pelo modelo estavam próximos a um sacolão real.

Os modelos foram implementados em planilhas eletrônicas utilizando o software Microsoft Excel™ com macros implementadas em script Visual Basic para automatização dos métodos propostos.

A interface para visualização e edição dos dados geográficos foi feita através do software TrackMaker PRO (Geo Studio, Belo Horizonte, MG).

3. ESTUDOS DE CASO

Os dados foram coletados em duas colheitas de laranja. A primeira delas foi uma colheita na safra temporã de citros na região de Itapetininga, SP, acompanhada no dia 22 de abril de 2013. Os pontos dos sacolões foram marcados com um receptor GNSS Garmin 62s. Nesta colheita o caminhão percorria a mesma fileira que a carregadora, assim o movimento lateral era apenas para buscar o sacolão até a base da copa das plantas e foram coletados 88 sacolões.

Nessa ocasião foram acoplados três receptores GNSS na ponta da lança de uma carregadora durante o carregamento dos frutos. O primeiro receptor utilizado foi o StarFire (Deere & Company, Moline, IL), um receptor L1 que possui correção diferencial do sinal via satélite. O segundo receptor utilizado foi o Novatel (Novatel Inc., Calgary, AL), um receptor L1 que possui correção do sinal por algoritmo interno. O terceiro receptor foi o Garmin 62s (Garmin International Inc. Olathe, KS), que utiliza o sinal do código C/A.

Para a segunda área foi acoplado apenas um receptor na ponta da lança da carregadora, o Garmin 62s. Nessa área o caminhão percorria a fileira adjacente à carregadora, fazendo com que o movimento lateral fosse até a essa outra fileira para o descarregamento do sacolão. O número de sacolões coletados nessa colheita foi de 309.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O receptor Garmin 62s mostrou-se mais sensível para as variações de altitude do que o receptor Novatel. Essa sensibilidade foi observada na quantidade de sacolões marcados em cada simulação, sendo que o receptor Garmin 62s marcava mais sacolões que o receptor Novatel (Tabela 1).

Tabela 1 Quantidade de sacolões marcados para cada receptor GNSS para o modelo de altura para a primeira área

Diferença de altura (m)	Quantidade de pontos anteriores																	
	2		3		4		5		6		7		8		9		10	
	62s	Novatel	62s	Novatel	62s	Novatel	62s	Novatel	62s	Novatel	62s	Novatel	62s	Novatel	62s	Novatel	62s	Novatel
0,5	606	71	884	82	1088	82	1214	75	1330	72	1431	63	1493	62	1558	61	1600	58
1	178	33	437	56	618	56	755	58	887	56	990	51	1073	53	1153	53	1212	52
1,5	32	17	247	38	415	47	548	47	651	47	757	45	864	49	954	51	1024	48
2	8	10	129	21	287	37	402	41	525	41	616	40	720	41	954	41	876	41
2,5	2	9	38	12	176	23	306	35	410	36	507	38	597	39	795	39	760	40
3	0	5	12	10	87	13	202	19	304	26	404	27	499	30	678	33	641	33

3,5	0	5	3	6	37	9	117	14	204	16	297	18	382	21	566	20	532	21
4	0	5	0	6	6	8	56	9	123	10	184	13	264	15	459	16	391	19
4,5	0	5	0	5	1	6	14	8	51	8	94	9	143	15	342	12	247	13

A melhor simulação para o receptor Garmin 62s foi quando se utilizou o cálculo entre 4 pontos atrás no caminhar e uma altura mínima de 3 m. Nessa simulação foram detectados 87 sacolões pelo modelo. Para o receptor Novatel, duas simulações apresentaram o mesmo valor de sacolões marcados (82). Essas duas simulações foram com diferença de altura de 0,5 m e 3 ou 4 pontos atrás no caminhar. No entanto, a diferença de altura de 0,5 m marcou muitos sacolões na extremidade do talhão, podendo ser um movimento de manobra da carregadora (Figura 3). Para a simulação utilizando o receptor Garmin 62s, os sacolões foram marcados mais perto dos sacolões reais, mesmo assim vários outros sacolões foram marcados nas extremidades do talhão (Figura 4).

Os acertos do modelo de altura foram baixos para ambos os receptores, mas o receptor Garmin 62s apresentou melhores resultados do que o receptor Novatel (Tabela 2).

Tabela 2 Performance dos dois receptores para o modelo de altura na área 1

Receptor	Sacolões reais	Sacolões estimados pelo modelo	Sacolões no local correto	Sacolões estimados a mais	Sacolões estimados a menos	Acerto (%)
Novatel	88	82	21	61	67	14,1
Garmin 62s	88	87	48	39	40	37,8

O modelo de altura depende da forma que o operador da carregadora trabalha. Em alguns momentos o operador acopla o sacolão na carregadora e caminha com ele rente ao solo ao redor de 10 m, porque o caminhão parou longe da posição real do sacolão. No fim desse trecho, ele ergue o sacolão para descarregar; dessa forma o ponto do sacolão será marcado pelo menos 10 m longe da posição real.

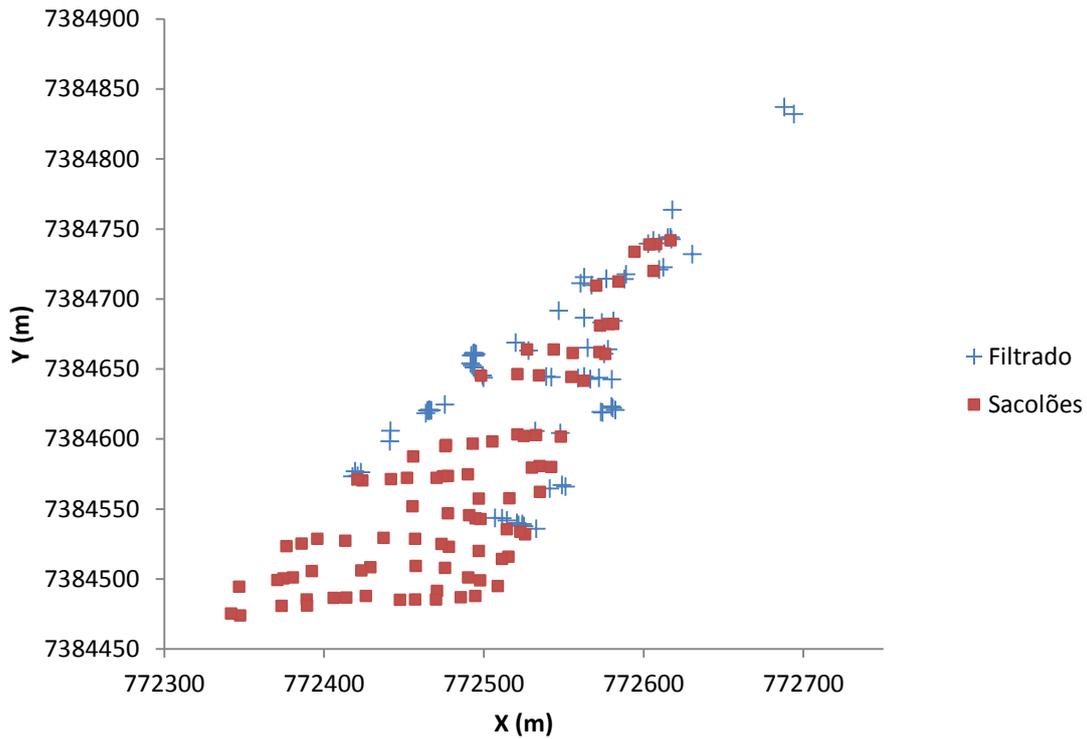


Figura 3 Localização real dos sacolões e pelo modelo de altura para o receptor Novatel na área 1

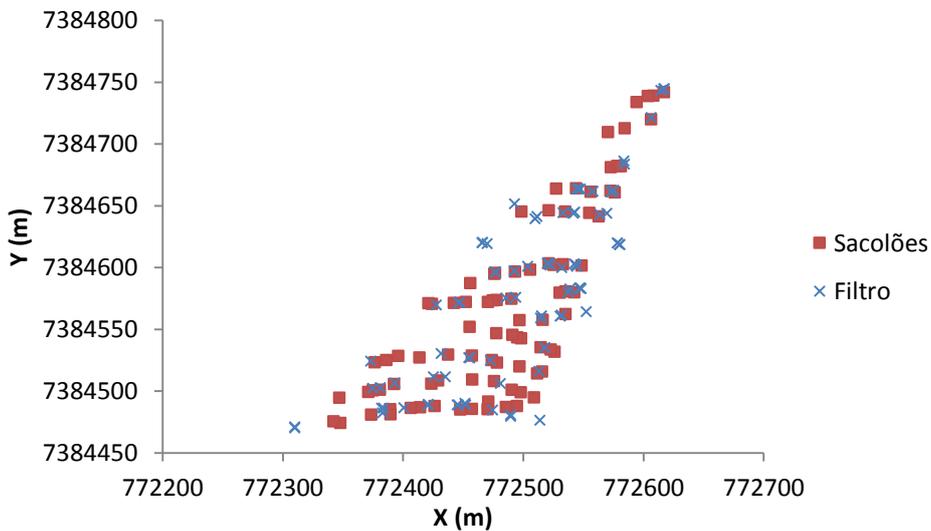


Figura 4 Localização real dos sacolões e pelo modelo de altura para o receptor Garmin 62s na área 1

Na primeira área, o receptor StarFire perdeu a conexão dos fios e coletou apenas metade da área além de não registrar a altitude. Para o caso desse receptor foram eliminado os sacolões que não estavam no caminhamento gravado.

Para o segundo modelo, a distância para calcular o quanto os sacolões marcados pelo modelo estavam próximos a um sacolão real, foi definida em 4 m (Tabela 3).

Tabela 3 Sacolões marcados pelas 10 melhores simulações e a porcentagem de acerto de cada simulação para os três receptores para a área 1

Simulação	Starfire			62s			Novatel		
	Sacolões	Próximos ao real	Acerto (%)	Sacolões	Próximos ao real	Acerto (%)	Sacolões	Próximos ao real	Acerto (%)
1	52	20	38.5	88	49	55.7	88	54	61.4
2	52	17	32.7	88	47	53.4	88	54	61.4
3	52	16	30.8	88	46	52.3	88	53	60.2
4	52	16	30.8	88	45	51.1	88	52	59.1
5	52	16	30.8	88	44	50.0	88	52	59.1
6	52	16	30.8	88	42	47.7	88	52	59.1
7	52	15	28.8	88	41	46.6	88	52	59.1
8	52	15	28.8	88	40	45.5	88	51	58.0
9	52	15	28.8	88	40	45.5	88	51	58.0
10	52	15	28.8	88	40	45.5	88	50	56.8

As porcentagens de acerto foram muito baixas em relação a uma quantidade desejada para todos os receptores. O receptor StarFire que possui o sinal mais acurada, foi o que apresentou o pior resultado. Esse fraco resultado pode ter acontecido pela interferência das árvores no sinal do receptor. Com os outros dois receptores, a porcentagem de acerto foi maior, mas não satisfatória para a marcação de sacolões. Nessa área o uso de um receptor da banda L1 não aumentou sensivelmente o acerto em relação a um receptor C/A.

Tabela 4 Parâmetros utilizados nas 10 melhores simulações do modelo de área para a área 1

Simulação	Starfire			62s			Novatel		
	Quantidade de pontos	Área mínima	Comprimento máximo	Quantidade de pontos	Área mínima	Comprimento máximo	Quantidade de pontos	Área mínima	Comprimento máximo
1	5	2	6,1	5	1,2	5	5	1,4	6,5
2	5	1,6	5,6	5	1,3	5,3	4	1,7	6,1
3	4	2,2	6,1	5	3,2	7,8	5	1,5	6,6
4	4	2,3	6,2	5	1,5	5,5	5	2,2	7,3
5	5	1	5	5	2,5	7,2	5	1,7	6,9
6	5	3	7,6	5	3,4	8,3	5	1,7	6,8
7	3	1,3	4,7	4	2	6,2	3	1,1	4,8
8	3	1,7	5,3	4	2,1	6,3	3	1,8	6
9	4	1,6	5,5	4	3,1	7,6	3	1,5	5,7
10	4	2,1	6	4	3,1	7,7	4	2,9	8

As simulações que apresentaram o maior acerto são compostas por cinco pontos, que representam cinco segundos de coleta. Nesse tempo, três segundos são necessários para uma pessoa acoplar o sacolão na lança da carregadora. Essas mesmas simulações

apresentam comprimento de até 6,5 m que é próximo ao deslocamento que a lança da carregadora tem que fazer para buscar o sacolão até a base da copa da planta. A área mínima não foi alta, porque nos cinco segundos da simulação, três deles são para acoplar o sacolão na lança (Tabela 4).

Na segunda área uma quantidade maior de sacolões foi marcada (309). A melhor simulação foi quando se calculou a diferença de altura com quatro pontos anteriores. No entanto, a diferença de altura foi menor que a primeira área, 2,5 m (Tabela 5). Esse resultado não era o esperado, porque na primeira área o caminhão estava na mesma fileira que a carregadora, mas na segunda área o caminhão estava na fileira adjacente, o que implicaria em maior levantamento da lança da carregadora, mas não foi o que aconteceu. A porcentagem de acerto desse modelo foi de 42,4 %.

Tabela 5 Quantidade de sacolões pelo modelo de altura para a área 2

Diferença de altura (m)	Quantidade de pontos anteriores								
	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0,5	1098	2155	2775	3348	3849	4291	4689	5073	5467
1	229	1176	1729	2162	2578	2945	3962	3723	4080
1,5	30	605	1239	1667	2059	2415	3665	3080	3413
2	19	183	779	1232	1616	2000	2330	2654	2964
2,5	15	36	363	856	1243	1603	1938	2244	2552
3	14	19	107	456	853	1183	1525	1853	2138
3,5	12	14	30	156	418	752	1053	1335	1623
4	10	12	18	39	151	322	546	777	1008
4,5	9	11	17	18	42	98	178	276	375

Nessa segunda área não foram marcados sacolões nas extremidades do talhão e todos os pontos marcados pelo modelo foram na região dos sacolões. No entanto o que dificulta o uso desse modelo são os pontos repetidos marcados pelo modelo (Figura 5).

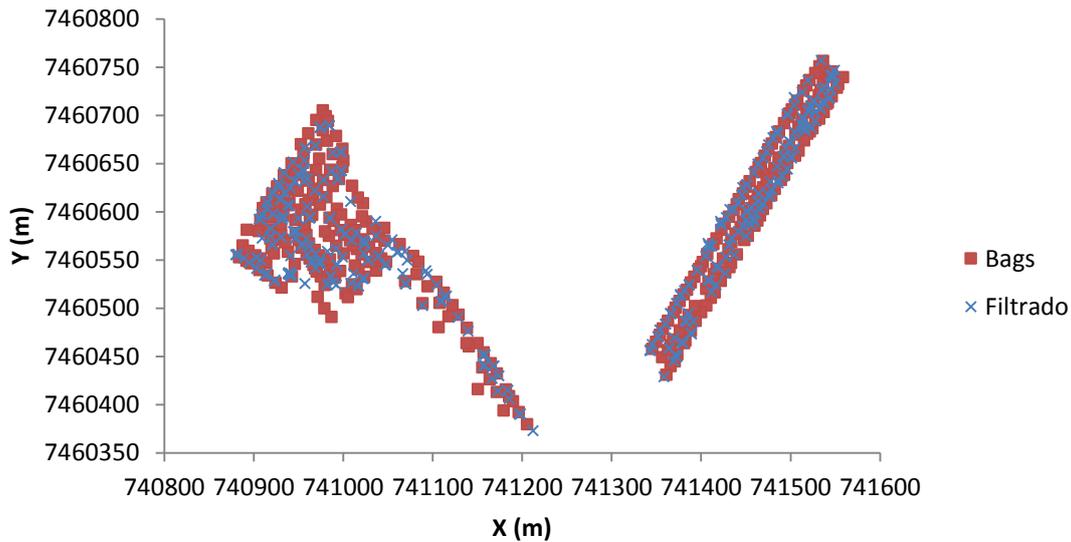


Figura 5 Localização real dos sacolões e pelo modelo de altura para a área 2

O modelo da área trabalhou com os parâmetros das simulações diferentes da primeira área, porque a lança da carregadora tinha que ultrapassar a fileira do pomar para descarregar os sacolões aumentando a quantidade de pontos, o comprimento e a área.

As simulações variaram de 25 até 37 pontos, a área mínima de 13 a 25 m² e o comprimento máximo para o perímetro variaram de 30 até 50 m. Esse modelo apresentou a pior simulação. A simulação que mais se aproximou do número de sacolões foi a de 37 pontos, com uma área de 24 m² e com 30 m de perímetro marcando 311 sacolões. Para verificar o quão próximo estão os sacolões de um sacolão real, foi definida uma distância de 5 m e que apresentou apenas 42% de acerto. Para o receptor Garmin 62s ambos modelos apresentaram uma porcentagem de acerto semelhante nas duas áreas.

Para estudos futuros, não é necessário trabalhar com um receptor com maior exatidão na posição, mas melhorar os modelos e adicionar um receptor na base da carregadora para avaliar pelo tempo dos receptores se a carregadora está parada levantando ou deslocando lateralmente um sacolão. Também sugere-se produzir os mapas de produtividade pelos pontos coletados manualmente e os mapas a partir dos pontos coletados pelos modelos.

5. CONCLUSÕES

Não foi possível encontrar um modelo que conseguisse marcar os sacolões de um pomar a partir do movimento da lança da carregadora de forma satisfatória. Também não foi possível encontrar uma configuração dos parâmetros dos modelos que seja a melhor para se trabalhar, diferentes receptores e diferentes áreas apresentaram parâmetros diferentes. Em trabalhos futuros, é possível trabalhar com um receptor de código C/A para coletar dados de movimento de carregadoras.

6. AGRADECIMENTOS

Aos colegas André Freitas Colaço e Mark Spekken pela ajuda na coleta dos dados e no desenvolvimento dos modelos.

7. REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

MOLIN, J. P; MASCARIN, L.S. **Colheita de citros e obtenção de dados para mapeamento da produtividade**. Engenharia Agrícola, v. 27, p. 259-266, 2007.

STAFFORD, J.V. An Investigation into the within-field spatial variability of grain quality. In: EUROPEAN CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 2., 1999, Odense. **Proceedings...** Sheffield: Sheffield Academic Press, 1999. p. 353-361.