

BANCADA DE ENSAIO PARA AVALIAÇÃO DE MONITORES DE PRODUTIVIDADE DE GRÃOS¹

FLÁVIO J. S. PEREIRA², JOSÉ P. MOLIN³

RESUMO: Com o avanço da agricultura de precisão, em que a variabilidade da produtividade entre os diversos pontos de uma determinada área é levada em consideração, a obtenção de mapas de produtividade tem sido realizada utilizando-se equipamentos comerciais, considerando-se o nível de acurácia informado pelos fabricantes. Faz-se necessário conhecer o desempenho destes sistemas de coleta de dados instalados nas colhedoras, para se conhecer o nível de acurácia dos dados coletados em campo. O objetivo deste trabalho foi construir e validar uma bancada de ensaio para caracterização de monitores de produtividade. A bancada simula o funcionamento do sistema de transporte e armazenamento de uma colhedora. A estrutura possibilita inclinar o elevador até quinze graus em qualquer sentido, permitindo simulações de diferentes condições topográficas do terreno. Os resultados mostraram que a bancada de ensaio é adequada para ensaiar sistemas de monitoramento da produtividade.

PALAVRAS-CHAVE: agricultura de precisão, colhedora, sensor.

LABORATORY BENCH FOR GRAIN YIELD MONITOR TEST

SUMMARY: With the progress of precision agriculture, where the yield variability within a field is taken into account, yield maps have been used for precision agriculture practices using commercial equipment and considering their accuracy as informed by manufacturers. It is important to know the performance of yield monitors installed on the combines to know the accuracy level of field data. This work aims to describe the construction of a laboratory bench for testing yield monitors and validate it. It simulates a combine transporting and storing system. It allows for inclination of up to fifteen degrees in any direction for simulations of different topographical conditions. The results showed that the laboratory bench is adapted to test yield monitoring systems.

KEYWORDS: precision agriculture, combine, sensor.

INTRODUÇÃO

O conhecimento das propriedades e características do solo é de suma importância para o sucesso da agricultura. No meio agrícola é reconhecido que culturas e solos não são uniformes dentro de um determinado campo, variando espacialmente (CASSMAN & PLANT, 1992). A agricultura de precisão tem considerado estas variações ocorridas dentro de uma unidade de cultivo, buscando identificar as manchas para gerenciá-las separadamente.

SEARCY (2000) caracterizou a agricultura de precisão como uma filosofia de administração. Descreveu-a como um conjunto de técnicas que tentam reduzir as ineficiências na produção agrícola e aumentar o retorno econômico do produtor. A agricultura de precisão utiliza-se do avanço da tecnologia de sensores e da informática. A disponibilidade de sensores para a obtenção de dados de variabilidade espacial, diretamente por contato, bem como para o sensoriamento remoto, vem crescendo e a administração de dosagens de insumos em tempo real será possível, nos próximos anos, por ambos os métodos (MOLIN, 1997).

¹ Parte da dissertação de mestrado do primeiro autor

² Eng^o. Agrícola, Doutorando em Energia na Agricultura, Depto. de Engenharia Rural, FCA/UNESP, Caixa Postal 237, CEP: 18603.970, Botucatu, SP, e-mail: fjsperei@fca.unesp.br

³ Prof. Doutor, pesquisador CNPQ, Departamento de Engenharia Rural, ESALQ/USP, Piracicaba, SP, e-mail: jpmolin@esalq.usp.br

Para o levantamento localizado da produtividade de uma determinada área devem ser utilizados sistemas de medição da produtividade, de posicionamento e de aquisição de dados (KORMANN et al., 1998). A maior concentração das pesquisas sobre mapas de produtividade tem sido com culturas de cereais, onde o fluxo de grãos é registrado no elevador da colhedora (GODWIN & WHEELER 1997). A Figura 1 apresenta o esquema demonstrativo dos sensores, de um monitor de produtividade comercial, na colhedora.

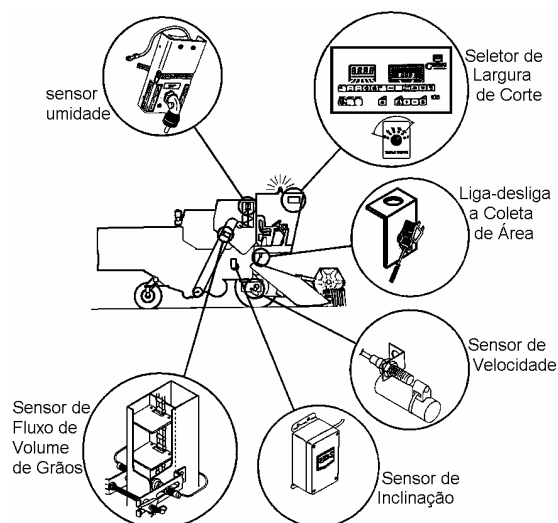


FIGURA 1. Componentes de um monitor comercial para mapeamento de produtividade de grãos, mostrando o posicionamento dos sensores na colhedora (Fonte: Manual RDS[®]).

Com a necessidade de avaliação dos sistemas de monitoramento da produtividade para se conhecer a confiabilidade dos resultados dos mapas de produtividade gerados, pesquisadores têm realizado estudos para averiguar sua acurácia através de ensaios realizados em campo ou em bancada.

Alguns autores têm se preocupado com variações em medidas de fluxo de grãos devido à declividade do terreno (BAERDEMAEKER et al., 1985; SANAEI & YULE, 1996, GRISSE et al., 1999). As mudanças significativas nas leituras de produtividade registradas devido à declividade e a outros fatores de uma série de ensaios realizados com colhedora, fizeram com que SANAEI & YULE (1996) sugerissem o desenvolvimento de bancada de ensaio para investigar completamente estes problemas.

Trabalhos recentes têm apontado os erros referentes à totalização de massa de uma determinada área, não contemplando a acurácia pontual do sensor (GRISSE et al., 1999 e MOLIN et al., 2000). Para se saber a confiabilidade dos resultados dos mapas de produtividade gerados, equipamentos e metodologias de ensaio têm sido propostos (ARSLAN & COLVIN, 1998; KORMANN et al., 1998; BALASTREIRE & AMARAL, 2000; BURKS et al., 2001; PEREIRA, 2002).

Na bancada de ensaio construída por ARSLAN & COLVIN (1998) a capacidade de alimentação do sistema girou em torno de 5 kg.s^{-1} . Concluíram que a duração dos ensaios influencia na calibração do monitor, sendo que tempos menores que 20 s não possibilitavam calibração adequada. Ensaios desenvolvidos com a maior duração possível e com estreita variação da taxa de fluxo pareceu ser o melhor modo para alcançar melhor acurácia.

O objetivo do presente trabalho foi construir e validar uma bancada de ensaio para caracterizar o desempenho, sob condições controladas, de equipamentos comerciais destinados à mensuração da produtividade de culturas de grãos em geral, com o elevador posicionado em diferentes inclinações.

MATERIAL E MÉTODOS

Uma bancada de ensaio foi desenvolvida no Departamento de Engenharia Rural da ESALQ/USP, para avaliação de monitores de produtividade e seus sensores. O equipamento simula o

sistema de transporte e armazenamento de uma colhedora e é composto por um tanque alimentador de grãos, um condutor helicoidal horizontal que alimenta o elevador, um elevador de taliscas, uma balança constituída de um tanque de pesagem suspenso na parte superior por uma célula de carga com capacidade de 2.000 kg e suportes para sustentação do elevador e da balança.

A avaliação do monitor de produtividade através da bancada de ensaio é realizada por comparação entre a leitura realizada pelo sensor do monitor e a leitura realizada pela balança da bancada. A constituição da bancada de ensaio é mostrada na Figura 2.

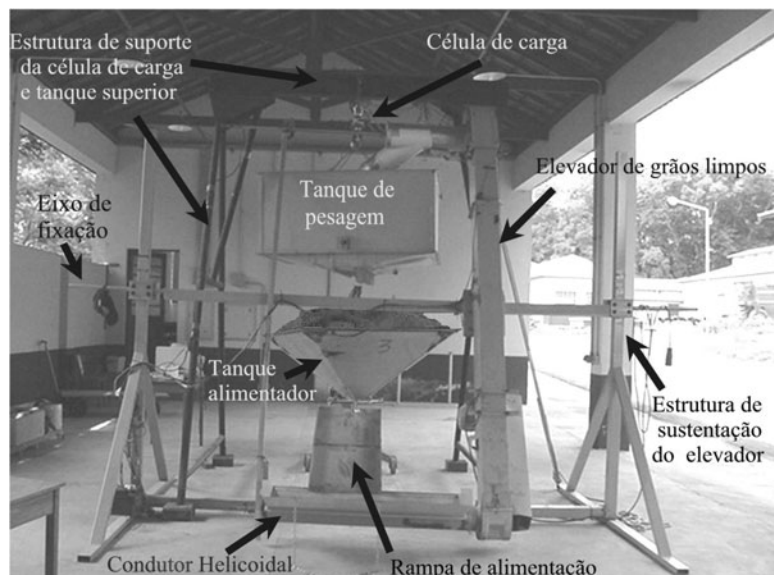


FIGURA 2. Constituição da bancada de ensaios de monitores de produtividade de grãos.

Tanto o elevador quanto o condutor helicoidal são componentes da colhedora New Holland, modelo TC 57 (CNH[®]). O acionamento do sistema de transporte é feito por um motor elétrico de 2,20 kW.

O elevador foi fixado em uma estrutura por sua parte central por meio de um flange pertencente à barra de fixação do elevador. Por meio de rotação e de deslizamento dos dois pontos de fixação desta barra nos pilares, é possível inclinar o conjunto elevador e condutor helicoidal com ângulo de até 15°, tanto longitudinal quanto transversalmente, para simular diferentes condições topográficas no campo. A posição padrão do elevador na bancada é a mesma de quando a colhedora está em nível, formando um ângulo de 67,5° com a horizontal.

O conjunto da bancada de ensaio apresenta capacidade máxima para transporte de milho em torno de 33.000 kg.h⁻¹. A rotação média do condutor helicoidal e da roda dentada acionadora do elevador é 440 rpm, conforme recomendação do fabricante, resultando em velocidade tangencial média das taliscas de 2,84 m.s⁻¹, a uma frequência de 16,65 taliscas por segundo. No elevador são instalados os sensores de fluxo e de umidade de grãos a serem avaliados.

A curva de calibração do tanque de alimentação foi obtida determinando-se a vazão para cinco aberturas da comporta, correspondentes aos valores de escala nos pontos 2,0, 4,0, 6,0, 8,0, e 10,0 (de uma escala criada especificamente para a comporta), pela medida da quantidade de grãos escoados num intervalo de tempo conhecido de 10 segundos. Os dados de peso, convertidos em massa, eram gerados pela célula de carga que suspendia o tanque alimentador e eram registrados por um sistema de aquisição de dados. Para saber se havia influência da altura do produto dentro do tanque, na vazão, foram efetuadas medidas com o tanque apresentando duas quantidades de produto: uma com o tanque carregado com 525 kg e outra com 112 kg de milho, suficiente apenas para desenvolver ensaios com qualquer abertura da comporta, evitando o efeito do fim do fluxo de grãos no tanque. De posse dos dados de vazão para cada abertura da comporta e a cada quantidade de produto, com quatro repetições,

foi feita a análise estatística no esquema fatorial 2 x 5 (duas alturas e cinco aberturas da comporta de seção ajustável), para verificar se há influência significativa da altura do produto na vazão.

O tanque de pesagem, de seção de área quadrada, é suspenso por uma célula de carga marca Kyowa[®], com capacidade para 2.000 kg. Os dados de pesagem são registrados num sistema de aquisição de dados CR10X, marca Campbell Scientific[®] e, posteriormente, transferidos, para um computador. O sistema de aquisição de dados foi programado para registrar 8 dados da célula de carga por segundo, fornecendo informações de data, hora e milivolts. Os dados foram filtrados fazendo-se média móvel de 23 dados. O acionamento da coleta de dados da célula de carga foi realizado utilizando-se um interruptor que possui outra saída para ser ligada concomitantemente à coleta de dados do monitor de produtividade, para poderem ser comparadas.

Os valores gerados com a célula de carga são utilizados como massa em todo o estudo, desprezando-se a variação da gravidade em relação ao nível do mar. Esse procedimento permite comparar as massas lidas da célula de carga (balança) com as massas das leituras de sensores de fluxo dos monitores de produtividade.

Para calibração da balança foi inicialmente realizada a calibração estática da célula de carga e posteriormente a calibração dinâmica da balança. As leituras da balança na bancada de ensaio são utilizadas para confrontar com as leituras realizadas pelo monitor de produtividade a ser ensaiado, sendo considerada como medida de massa ideal. A célula de carga foi calibrada estaticamente por meio do equipamento de tração e compressão Instron[®] 4466 que, segundo o fabricante, possui uma acurácia em sua célula de carga de 0,25 %. A cada variação de carga imposta no equipamento de tração e compressão anotava-se o valor correspondente em milivolts (mV) fornecido pela célula de carga pelo visor do sistema de aquisição de dados, tanto aplicando quanto retirando carga. A calibração dinâmica da balança consistiu em desenvolver um ensaio acrescentando-se uma massa média de 577 kg de milho, com taxa constante de alimentação de 5,3 kg.s⁻¹ e, no final do ensaio, imediatamente após terminar o escoamento de milho do elevador para o tanque de pesagem, deixar ligado o sistema de aquisição de dados e lançar sobre a massa de grãos, massas conhecidas de 2,00, de 1,00 e de 0,50 kg e observar seus efeitos. Foram executadas três repetições para cada uma das massas conhecidas.

Para verificar o funcionamento da bancada de ensaio e sua constância, ou como o sistema de coleta de dados registrou dados da célula de carga, na saída do fluxo de grãos na parte superior do elevador, foram realizados ensaios com taxas de fluxo constante e taxas variadas. Com a alimentação de grãos constante, foram analisadas duas vazões, uma com a comporta de seção ajustável do tanque aberta no ponto 5,0 da escala (área de 5324 mm²) e a outra no ponto 7,5 (área de 11636 mm²) da escala. Para taxas de fluxo variadas foi realizado um ensaio aplicando-se três diferentes taxas (três aberturas na comporta de seção ajustável), iniciando com uma abertura no ponto 7,5 da escala, diminuindo para 6,0 (área de 7567 mm²) aos 32 s e subindo novamente para 7,0 (área de 10186 mm²) aos 64 s.

RESULTADOS E DISCUSSÃO

A bancada de ensaio desenvolvida para ser utilizada em ensaios de caracterização do desempenho de monitores de produtividade mostrou-se eficiente na simulação de diferentes inclinações da colhedora devido à topografia do terreno, podendo ser mudada a angulação do elevador da bancada de ensaio conforme desejado.

Na tentativa de simplificar o sistema de construção da bancada e a coleta de dados durante os ensaios, a balança foi constituída de um tanque de pesagem suspenso na sua parte central por uma única célula de carga. Isso apresentou grandes dificuldades de manuseio, exigindo centralização da carga de grãos ao ser descarregada no tanque de pesagem. Uma solução melhor seria a utilização de quatro apoios, com uma célula de carga em cada um.

Calibração estática da célula de carga.

Com os resultados dos registros do sistema de aquisição de dados no ensaio de adição e redução de cargas construiu-se o gráfico da curva de calibração da célula de carga, apresentado na Figura 3 e calculada a equação de regressão que rege esta curva, pelo método dos quadrados mínimos, que segundo DOEBELIN (1966), segue a equação geral de instrumento de primeira ordem:

$$q_o = mq_i + b, \quad (1)$$

em que:

- q_o = saída em mV;
- m = coeficiente angular ou declividade da reta;
- q_i = entrada em kg;
- b = interseção da ordenada.

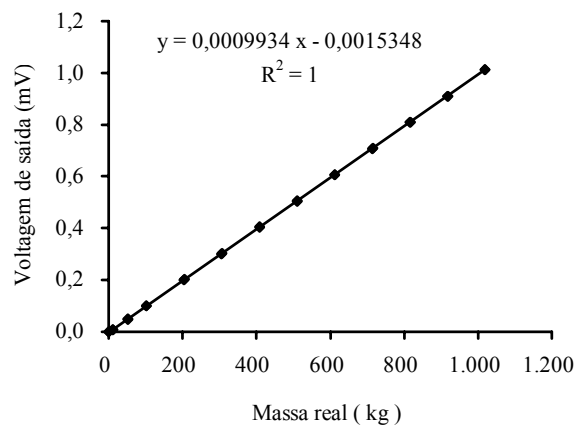


FIGURA 3. Curva de calibração da célula de carga.

Calculou-se a sensibilidade estática (k) através da declividade da curva de calibração, visto que em instrumento de primeira ordem $k = m$. Aplicando-se os valores de q_o na equação (saída em mV), obtêm-se um valor de q_i estimado (entrada em kg).

As estimativas dos erros na calibração estática são calculadas conforme metodologia de DOEBELIN (1966) e mostradas na Tabela 1. O erro ao acaso do equipamento, considerando-se três vezes o valor do desvio padrão da amostra do sinal de entrada, fornece uma variação possível de cada valor com uma confiança de que 99,7 % dos valores se encontram dentro destes limites. Os cálculos dos erros foram todos feitos baseando-se em uma massa inicial de 407,9 kg, aproximadamente a massa média sustentada pela célula de carga durante os ensaios.

TABELA 1. Parâmetros de caracterização da célula de carga.

Parâmetros analisados	Valores	Parâmetros analisados	Valores
Sensibilidade estática ($m = k$)	0,001 mV.kg ⁻¹	Erro relativo ($\Delta e_0 / e_0$)	-0,002
Desvio padrão do sinal de saída (s_{q_0})	0,610 kg	Erro ao acaso ($3.s_{q_i}$)	$\pm 1,829$ kg
Desvio padrão do sinal de entrada (s_{q_i})	0,610 kg	Erro sistemático	0,0
		Erro total	$\pm 1,829$ kg

Calibração dinâmica da célula de carga

Os dados de calibração dinâmica, efetuada com adição de massas de 2,00, 1,00 e de 0,50 kg sobre a massa de grãos no tanque de pesagem carregado com carga total em torno de 577 kg, foram processados aproveitando-se apenas os registros do sistema de aquisição de dados do instante após o

lançamento da massa conhecida no tanque, até o momento em que o sistema de aquisição de dados foi desligado, em torno de 30 segundos, tempo suficiente para a estabilização do sistema, de acordo com observações preliminares.

As médias das massas suportadas pela célula de carga, desvios padrão, picos máximos e mínimos e erros superiores e inferiores foram determinados utilizando-se os dados dos 5 s seguintes ao lançamento da massa conhecida, para cada adição de massa. Os dados são apresentados na Tabela 2.

TABELA 2. Parâmetros estatísticos obtidos no ensaio de calibração dinâmica da célula de carga.

Massas adicionadas	Médias	Desvios padrões	Picos		Desvios		Erros	
			máximos	mínimos	Superiores	Inferiores	Superiores	Inferiores
			kg				%	
2,0	580,04	2,22	584,94	572,85	4,90	-7,19	0,84	-1,24
2,0	576,76	2,95	583,26	571,51	6,49	-5,25	1,13	-0,91
2,0	578,40	5,04	589,63	569,48	11,23	-8,91	1,94	-1,54
1,0	573,58	0,60	575,22	572,53	1,64	-1,05	0,29	-0,18
1,0	578,72	2,75	583,60	573,86	4,88	-4,85	0,84	-0,84
1,0	575,49	1,73	578,55	572,85	3,07	-2,64	0,53	-0,46
0,5	573,97	1,35	577,21	571,50	3,23	-2,47	0,56	-0,43
0,5	578,85	1,68	581,57	575,19	2,72	-3,66	0,47	-0,63
0,5	575,68	1,20	577,88	573,85	2,20	-1,83	0,38	-0,32

Como o sistema de aquisição de dados foi programado para gravar 8 dados por segundo e o fluxo máximo utilizado nos ensaios do monitor de produtividade foi de $7,76 \text{ kg}\cdot\text{s}^{-1}$, deduz-se que o máximo incremento de leitura do fluxo de grãos no presente experimento foi de aproximadamente 1,00 kg por registro.

Os picos máximo e mínimo gerados nas adições de massa de 1,00 kg forneceram, com relação à média, desvio superior de 4,88 e inferior de 4,85, concluindo que o máximo desvio para esta adição é de $\pm 4,85 \text{ kg}$. Nesta condição o erro relativo é de 0,84 %, ficando os dados, exceto com adição de carga de 2,00 kg, com erros menores que 1 %.

Foi realizada também, uma comparação entre massas médias obtidas no intervalo dos 5 s após adição de carga e as massas médias padrões obtidas após a estabilização do sistema, no mesmo ensaio, para verificar os desvios das leituras. O tempo de 30 s de coleta, após o lançamento da massa, foi para permitir um intervalo de pelo menos 10 s estáveis, no final do ensaio, onde não há influência dos picos e o sistema se encontrava estabilizado. Nestes últimos 10 s foi calculada a massa média padrão suportada pela célula de carga, para cada adição de massa, mostradas na Tabela 3.

TABELA 3. Massa média padrão e desvio padrão, em kg, para os dados coletados nos últimos 10 s no ensaio de calibração dinâmica da célula de carga, para as diferentes massas adicionadas.

Massas inseridas	Massas médias		Desvios padrões
	kg		
2,0	580,34		0,267
2,0	576,69		0,469
2,0	578,57		0,613
1,0	573,79		0,153
1,0	578,86		0,387
1,0	575,55		0,291
0,5	574,01		0,237
0,5	578,85		0,242
0,5	575,71		0,501

As médias geradas pelo intervalo dos 5 s após adição de carga (conforme Tabela 2), comparadas com as médias dos últimos 10 s (conforme Tabela 3), mostram que os picos máximos e mínimos tendem a um equilíbrio pois a maior diferença encontrada foi no ensaio com adição de massa de 2,00 kg, obtendo uma diferença de 0,30 kg, correspondente a 0,051 % em relação à massa total.

Para melhor visualização desse efeito, é mostrado na Figura 4 o gráfico obtido quando se lançou, repentinamente, massa conhecida de 1 kg, sobre a massa de grãos contida no tanque de pesagem. Observa-se que o lançamento foi feito logo após o momento em que parou o fluxo de grãos do elevador para o tanque de pesagem e o sistema de aquisição de dados permaneceu ligado por aproximadamente mais 30 segundos.

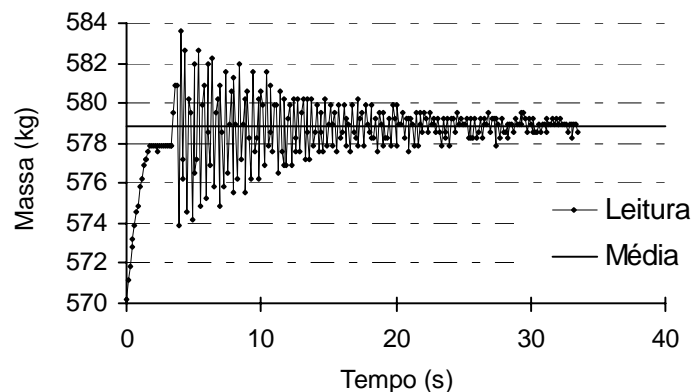


FIGURA 4. Calibração dinâmica da célula de carga com adição de 1,0 kg na massa de grãos.

A célula de carga responde imediatamente ao sinal de entrada, fornecendo um sinal de saída e detectando variações rápidas de massa como nos ensaios realizados, mostrando-se útil para estudos dessa natureza.

Calibração do tanque de alimentação.

A calibração do tanque de alimentação foi feita para se detectar a influência da altura da coluna de grãos dentro do tanque na vazão e determinar a equação de regressão que rege o comportamento da escala de abertura da comporta de seção ajustável, para o tipo de grãos utilizado no ensaio.

Os valores de área de abertura da comporta em função da escala de 3 a 10 são apresentados no gráfico da Figura 5.

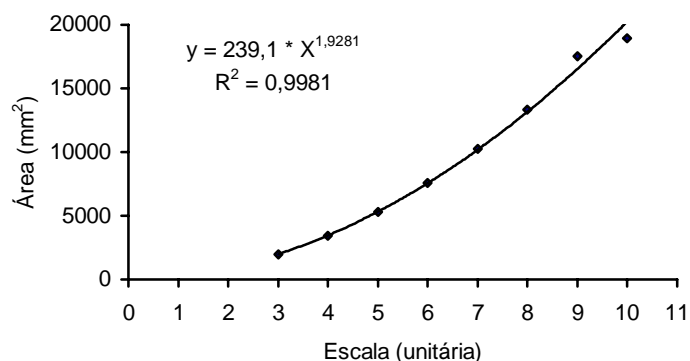


FIGURA 5. Curva de calibração da área de abertura da comporta de seção ajustável do tanque alimentador, em função da escala.

Os resultados da análise estatística para verificar se havia influência da altura da coluna de grãos na taxa de fluxo de grãos de milho para diferentes aberturas da comporta de seção ajustável mostraram que não houve efeito significativo de altura da coluna de grãos de milho dentro do tanque alimentador para os fluxos estudados (Prob. F = 0,73), significando que a vazão de grãos foi uniforme durante o escoamento no tanque, independente da altura da coluna de grãos dentro do tanque. O efeito de abertura foi, como esperado, altamente significativo (Prob. F = $1,15 \times 10^{-39}$) e não existiram efeitos de interação entre alturas da coluna e aberturas da comporta de seção ajustável (Prob. F = 0,50). Esta análise mostrou que independente da quantidade de grãos dentro do tanque, a vazão de grãos manteve-se uniforme para cada abertura da comporta. Portanto, a taxa de alimentação dos grãos passando pelo sensor de fluxo de volume na bancada é constante, sendo isto importante, na medida que facilita ensaios de monitor de produtividade.

Para estimativa da vazão de grãos de milho em função da área de abertura da comporta de seção ajustável (conforme Figura 6), foram estudados modelos de regressão linear. Dentre os modelos testados, o que melhor se ajustou aos dados experimentais foi aquele com transformação logarítmica, cujos dados são aqui apresentados, convertidos para a forma potencial. O valor de F para a regressão estudada foi altamente significativo (Prob. F = 8,46), mostrando que a equação da Figura 6 estima a vazão de grãos de milho em função da abertura da comporta de seção ajustável, com 99 % de confiabilidade.

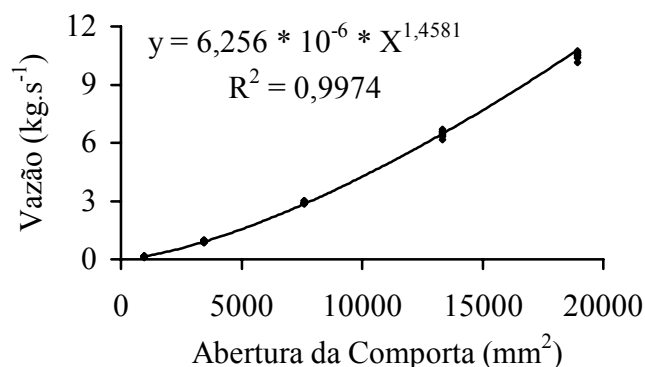


FIGURA 6. Vazão para os grãos utilizados no ensaio, em função da abertura da comporta do tanque alimentador.

O tanque de alimentação, construído com comporta de seção quadrada variável, mostrou-se satisfatório para fornecer vazão uniforme com o tempo durante os ensaios do monitor de produtividade, mesmo a baixas vazões. Com a equação da vazão estimada em função da área de abertura da comporta de seção ajustável é possível simular uma determinada vazão de grãos desejada, na bancada de ensaio, representativa das condições de campo.

Funcionamento da bancada de ensaio.

Quanto ao funcionamento da bancada de ensaio, a Figura 7(a) mostra as curvas de massas acumuladas no tempo registradas pela balança e a Figura 7(b) mostra as curvas de vazão ao longo do tempo para os mesmos dados, quando se manteve a comporta de seção ajustável do tanque alimentador aberta nos pontos 5,0 e 7,5 da escala (áreas de 5324 mm² e 11636 mm², respectivamente). Os resultados evidenciaram que o escoamento de grãos na comporta de seção ajustável era constante ao longo do tempo de ensaio, não variando com a altura da carga de milho no tanque para qualquer abertura da comporta.

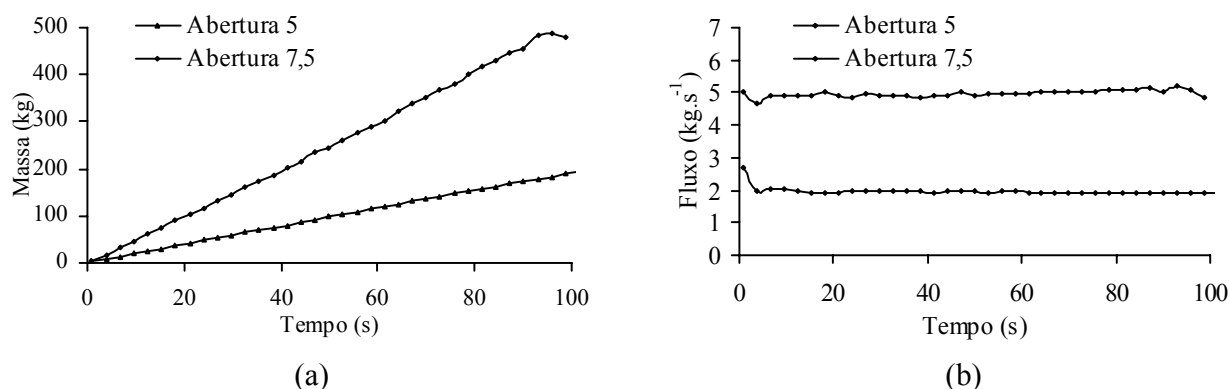


FIGURA 7. Massas acumuladas de grãos de milho (a) e vazão de grão de milho (b) registradas pela balança com o sistema de alimentação da bancada com vazão constante para as aberturas da comporta de seção ajustável nos pontos 5,0 e 7,5 da escala.

Ensaio com taxa de fluxo variável

No sistema de transporte, há uma defasagem de aproximadamente 4 s entre o momento em que um determinado fluxo de grãos sai do tanque alimentador e chega à balança. Nos ensaios com fluxos variados, foram aplicadas três taxas de fluxo de grãos durante o período de ensaio com o elevador inclinado transversalmente de 10° à direita. O resultado do ensaio pode ser observado no gráfico apresentado na Figura 8.

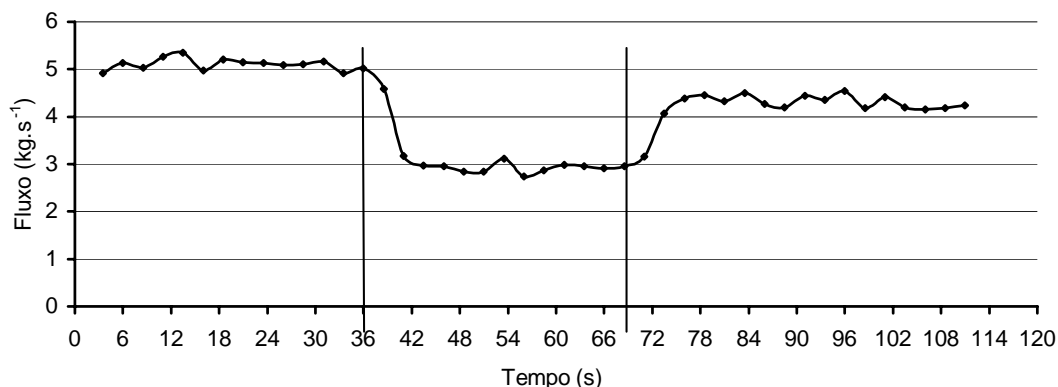


FIGURA 8. Taxas variáveis de fluxos para o elevador com inclinação de 10° à direita, com aberturas da comporta de seção ajustável referentes aos pontos na escala, 7,5, 6,0, 7,0.

Observa-se que as leituras são constantes nos intervalos de tempo de permanência em cada abertura da comporta de seção ajustável. O tempo de transição de uma taxa para outra é relativamente curto, em torno de três segundos.

CONCLUSÕES

A bancada de ensaio mostrou-se eficiente para avaliação de sistemas de mensuração da produtividade de grãos. A geometria quadrada da seção de abertura da comporta, na base do tanque de alimentação, foi eficiente para fornecer vazões uniformes no tempo. A balança foi capaz de registrar dados acuradamente, com variação de massa na calibração dinâmica de 0,051 % e na calibração estática, desvio padrão do sinal de saída de 0,61 kg. O percurso dos grãos através da bancada mostrou-se constante com o tempo, com uma defasagem de 4 s da alimentação à pesagem.

AGRADECIMENTO

À New Holland Latin America pela cessão dos componentes de colhedora usados na bancada.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ARSLAN, S.; COLVIN, T.S. Laboratory test stand for combine grain yield monitors. *Applied Engineering in Agriculture*. St. Joseph: ASAE, v.14, n.4, p.369-71. 1998.
- BAERDEMAEKER, J.DE; DELCROIX, R.; LINDEMANS, P. Monitoring the grain flow on combines. In: AGRI-MARIATION, 1., Chicago, 1985. *Proceedings*: Chicago: S.E., 1985. p.329-38.
- BALASTREIRE, L.A.; AMARAL, J.A. Concepção e construção de um sistema para o desenvolvimento e a calibração de sensores de fluxo de grãos. In: BALASTREIRE, L.A. (Ed.). *O estado-da-arte da agricultura de precisão no Brasil*. Piracicaba: L.A. Balastreire, 2000. p.201-5.
- BURKS, T.F.; FULTON, J.P.; SHEARER, S.A.; SOBOLIK, C.J. *Influence of dynamically varying inflow rates on clean grain elevator yield monitor accuracy*. St. Joseph: ASAE, 2001. 14p. (Paper, 01-1182).
- CASSMAN, K.G.; PLANT, R.E. A model to predict crop response to applied fertiliser nutrients in heterogeneous fields. *Fertilizer Research*, Netherlands, v.31, p.51-163, 1992.
- DOEBELIN, E.O. *Measurement systems application and design*. Washington: Mac Graw Hill Book, 1966. 439p.
- GODWIN, R. J.; WHEELER, P. N. *Yield mapping by mass accumulation rate*. St. Joseph: ASAE, 1997. 10p. (Paper, 97-1061).
- GRISSE, R.D.; JASSA, P.J.; SCHROEDER, M.A.; WILCOX, J.C. *Yield monitor accuracy: successful farming magazine case study*. St. Joseph: ASAE, 1999. 11p. (Paper 99-1047).
- KORMANN, G.; DEMMEL M.; AUERNHAMMER, H. *Testing stand for yield measurement systems in combine harvesters*. St. Joseph: ASAE, 1998. 9p. (Paper, 98-3102).
- MOLIN, J.P. Agricultura de precisão. Parte I: o que é e estado da arte em sensoriamento. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.17, n.2, p.97-107, 1997.
- MOLIN, J.P.; CREMONINI, L.C.M.; MENEGATTI, L.A.; GIMENEZ, L.M. Acurácia de um monitor de produtividade com sensor de fluxo volumétrico (compact disc). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 29., Fortaleza, 2000. Anais... Fortaleza: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2000. – 1 CD.
- PEREIRA, F.J.S *Construção de uma bancada de ensaio e avaliação de um sistema de mensuração da produtividade de grãos*. 2002. 109f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiróz, Universidade de São Paulo, Piracicaba.
- SANAEI, A.; YULE, I.J. *Yield measurement reliability on combine harvesters*. St. Joseph: ASAE, 1996. 14p. (Paper, 96-1020).
- SEARCY, S.W. Agricultura de precisão: um desafio para a extensão e educação continuada. In: BALASTREIRE, L.A. (Ed.). *O estado-da-arte da agricultura de precisão no Brasil*. Piracicaba: L.A. Balastreire, 2000. p.17-24.