

# QUALIDADE DAS OPERAÇÕES DE PREPARO REDUZIDO DO SOLO E TRANSPLANTIO MECANIZADO DE MUDAS DE CAFÉ

Rouverson Pereira da Silva<sup>1</sup>, Murilo Aparecido Voltarelli<sup>2</sup>, Marcelo Tufaile Cassia<sup>3</sup>,  
Diego Onofre Vidal<sup>4</sup>, Fábio Alexandre Cavichioli<sup>5</sup>

(Recebido: 9 de novembro de 2012; aceito: 17 de junho de 2013)

**RESUMO:** O preparo do solo realizado com qualidade e de maneira conservacionista é essencial para o desenvolvimento da cultura do cafeeiro, bem como para o transplântio mecanizado das mudas. Objetivou-se, neste trabalho, avaliar a qualidade operacional dos conjuntos mecanizados de preparo reduzido do solo e transplântio de mudas de café, por meio de indicadores de qualidade, utilizando-se o controle estatístico de processo. O presente trabalho foi desenvolvido no município de Matão – SP, e a avaliação da qualidade operacional foi materializada em uma grade amostral de 48 pontos espaçados em 7,0 m x 20,0 m, sendo avaliada a operação de preparo reduzido do solo e o transplântio de mudas, por meio da velocidade de deslocamento, patinagem e erro de alinhamento dos conjuntos mecanizados. Todas as variáveis apresentaram distribuição de probabilidade assimétrica e mostraram-se instáveis quanto ao controle estatístico de processo. A qualidade das operações de preparo reduzido do solo e de transplântio mecanizado de mudas de café esteve comprometida para todos os indicadores de qualidade, devido à instabilidade detectada pelo controle estatístico de processo. A operação de preparo reduzido do solo e transplântio mecanizado de mudas de café apresentam valores de patinagem abaixo do ideal.

**Termos para indexação:** Transplantadora, *Coffea arabica*, controle estatístico de processo.

## QUALITY OF THE OPERATIONS OF REDUCED SOIL TILLAGE AND COFFEE SEEDLINGS TRANSPLANTING

**ABSTRACT:** Soil tillage done with quality and conservation techniques are essential for the development of the coffee crop, as well as mechanized transplanting seedlings. The objective of this study was to evaluate the operational quality of mechanized sets for the reduced soil tillage and mechanized transplanting of coffee seedlings through quality indicators, using statistical process control. This study was carried out in the municipality of Matão – SP, Brazil. Operational and quality assessment were reflected in a sampling grid of 48 points spaced at 7.0 mx 20.0 m, and evaluated the operation of reduced soil tillage and transplanting seedlings by means of speed, slippage and alignment error of machinery. All variables showed asymmetric probability distribution and proved unstable as to statistical process control. The quality of operations of reduced soil tillage and mechanized transplanting of coffee seedlings proved all committed to quality indicators, due to the instability detected by statistical process control. The operation reduced soil tillage and mechanized transplanting of coffee seedlings skating show values below the ideal.

**Index terms:** Transplanter, *Coffea arabica*, statistical process control.

### 1 INTRODUÇÃO

As lavouras cafeeiras são exploradas ao longo de sua vida útil e devido à necessidade de substituição de lavouras improdutivas, quando não se utilizam podas, o desenvolvimento de métodos de preparo de solo de maneira conservacionista é essencial para o cafeeiro, para proporcionar condições desejadas para formação da estrutura da planta (MATIELLO, 1991). No preparo de solo pelo método conservacionista, a rugosidade

superficial é extremamente importante por aumentar a retenção e a infiltração superficial da água no solo, a redução da velocidade e do volume do escoamento superficial, diminuindo danos causados pela erosão hídrica (CASTRO; COGO; VOLK, 2006).

Associado ao preparo conservacionista ou reduzido do solo, a formação de lavouras com espaçamentos reduzidos ou adensados, que variam de 5 a 10.000 mil plantas ha<sup>-1</sup> (CARVALHO et al., 2006), é uma forma de aumentar a produtividade

<sup>1</sup>Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Campus de Jaboticabal/UNESP-FCAV - Departamento de Engenharia Rural/DER - Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n - 14.884-900 - Jaboticabal - SP - rouverson@fcav.unesp.br

<sup>2</sup>Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Campus de Jaboticabal/UNESP-FCAV - Departamento de Engenharia Rural/DER - Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n - 14.884-900 - Jaboticabal - SP - murilo\_voltarelli@hotmail.com

<sup>3</sup>Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Campus de Jaboticabal/UNESP-FCAV - Departamento de Engenharia Rural/DER - Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n - 14.884-900 - Jaboticabal - SP - marcelocassia@gmail.com

<sup>4</sup>Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Campus de Jaboticabal/UNESP-FCAV - Departamento de Engenharia Rural/DER - Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n - 14.884-900 - Jaboticabal - SP - diego.vidal@cambuhy.com.br

<sup>5</sup>Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” - Campus de Jaboticabal/UNESP-FCAV - Departamento de Engenharia Rural/DER - Via de acesso Prof. Paulo Donato Castellane, s/n - 14.884-900 - Jaboticabal - SP - cavichioli2003@hotmail.com

e os lucros (GUIMARÃES; MENDES, 1998) e isso tende a aumentar as operações mecanizadas dentro do ciclo dessa cultura, a fim de diminuir custos com mão de obra (SILVA; SALVADOR, 2004). Algumas vantagens que este sistema de plantio oferece são a diminuição dos problemas relacionados à erosão, evaporação de água, volatilização de nutrientes, dentre outros, devido à maior cobertura do solo pelas plantas e folhas, quando as mesmas caem (CARMO et al., 2011).

Os cafeeiros formados por meio do transplântio mecanizado, associado à uniformidade no posicionamento das plantas, atuam como fator importante para a produção da lavoura, influenciando a qualidade e produtividade dos grãos, bem como os tratos culturais e a colheita mecanizada. Associado a esse fato, o uso do piloto automático torna-se uma ferramenta importante uma vez que possibilita maior acurácia nas operações agrícolas (SHOCKLEY; DILLON, 2008) e, se usado corretamente, pode trazer economia nos custos operacionais (BATTE; EHSANI, 2006).

O uso do piloto automático possibilita maior quantidade de linhas por área pelo motivo de possuir maior acurácia em relação ao sistema de plantio sem o uso desta técnica (BAIO; MORATELLI, 2011). Isso ocorre devido às técnicas de correções utilizando sinal GNSS (Global Navigation Satellite Systems) sendo uma delas a RTK (Real Time Kinematic), em que o sinal de correção é obtido a partir de uma base fixa, que corrige o posicionamento dado pelo sinal dos satélites e repassa ao veículo agrícola (receptor móvel ou rover) via comunicação de rádio em ondas UHF, permitindo uma acurácia estática no posicionamento em torno de 0,025 m (BERGTOLD; RAPER; SCHWAB, 2009).

Segundo Toledo et al. (2008), o Controle Estatístico de Processo (CEP) consiste na quantificação de qualquer variação nas variáveis que afetam as características de qualidade, por meio da amostragem do resultado do processo e da estimativa de sua distribuição estatística. As mudanças na distribuição podem ser reveladas pelo gráfico desses parâmetros no tempo, sendo uma ferramenta com base estatística, empregada nas etapas de um processo. Esse tipo de análise estatística vem sendo recentemente utilizada na agricultura (BARROS; MILAN, 2010; CAMPOS; MILAN; SIQUEIRA, 2008; NORONHA et al., 2011; SALVI; MATOS; MILAN, 2007; SILVA et al., 2008).

Partindo da hipótese de que o preparo conservacionista do solo para posterior implantação da lavoura de café por meio do transplântio mecanizado das mudas, orientado por sinal RTK pode ser realizado dentro de padrões de qualidade, objetivou-se, neste trabalho, avaliar a qualidade das operações dos conjuntos mecanizados de preparo reduzido do solo e do transplântio de mudas de café, por meio do controle estatístico de processo.

## 2 MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi conduzido no município de Matão, SP, em área da Empresa Cambuhy Agrícola LTDA, durante o transplântio de café no mês de fevereiro de 2011, sendo avaliado um talhão com declividade média de 5% e situado à latitude de 21°38'S e longitude 48°31'O, com altitude média de 590 m. O solo do local foi classificado como LATOSSOLO VERMELHO eutroférico (EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMPBRAPA, 2006). No presente trabalho, avaliou-se a operação de preparo reduzido do solo para o transplântio mecanizado do cafeeiro, sendo realizado apenas o preparo em faixas destinadas à implantação da cultura. As entrelinhas foram mantidas sem revolvimento do solo e com presença de cobertura vegetal. O preparo reduzido do solo foi realizado pelo equipamento BIG-MIX C-85, da marca Mafes, que realiza o preparo localizado do solo em sulcos, por meio de órgãos ativos semelhantes aos de uma enxada rotativa, com largura útil de 0,40 m e profundidade de trabalho regulada em 0,50 m.

O equipamento de preparo reduzido do solo foi acionado pela tomada de potência da máquina, por um trator da marca John Deere modelo 5403 série 5.000 com tração dianteira auxiliar (TDA) 4x2, potência no motor de 55,2 kW (75 cv) a 2.300 rpm, que operou na marcha 1A, com rotação de 2.000 rpm, obtendo velocidade teórica média de 1,9 km h<sup>-1</sup>. O trator possui instrumentação de autodirecionamento automático, modelo StarFire ITC para alinhamento dos sulcos por meio de sinal RTK, que fornecia as informações de alinhamento do preparo para o operador que conduzia o trator, de maneira que o preparo das faixas de plantio eram realizados paralelamente em 3,5 m, que era o espaçamento de plantio desejado.

A operação de transplântio foi realizada dentro das faixas realizadas, por meio de uma

transplantadora-adubadora da marca Mafes, modelo GRALHA PM-1, que realiza a distribuição e a incorporação do fertilizante na cova de plantio e, em seguida, a deposição e compactação do solo ao redor da muda. O mecanismo transplantador da máquina possui um disco vertical no qual as mudas são presas após serem colocadas pelo auxiliar de transplante de mudas, sendo esse depósito projetado para não danificá-las. As mudas são colocadas na parte superior do disco e com o deslocamento da máquina, o disco gira e a muda chega ao sulco, sendo então liberada. A transplantadora-adubadora foi tracionada por um trator da marca John Deere, modelo 5403, série 5.000, com tração dianteira auxiliar (TDA) 4x2, potência no motor de 55,2 kW (75 cv) a 2.300 rpm, que operou na marcha 1A, com rotação de 1.500 rpm, obtendo velocidade teórica de 1,8 km h<sup>-1</sup>. O trator possui o mesmo sistema de autodirecionamento descrito anteriormente.

O delineamento experimental utilizado foi em faixas, tanto para o preparo do solo, como para o transplante mecanizado das mudas. Foi materializada uma grade amostral de 48 pontos espaçados em 7,0 m x 20,0 m, totalizando aproximadamente 2 ha, onde foram coletadas as variáveis definidas como indicadores de qualidade: velocidade de deslocamento e erro de alinhamento foram registradas no próprio monitor do equipamento de autodirecionamento automático, enquanto que a patinagem dos rodados traseiros foi calculada com a metodologia descrita por Corrêa et al. (1999) em que se utiliza o número conhecidos de giros dos rodados sem e com carga, em uma determinada distância, tanto para a operação de preparo reduzido do solo, quanto para o transplante de mudas.

Os resultados obtidos foram submetidos à análise de estatística descritiva para o cálculo das medidas de tendência central (média e mediana), medidas de dispersão (amplitude, desvio-padrão e coeficiente de variação) e medidas de assimetria e curtose. Efetuou-se também o teste de Anderson-Darling, para verificação da normalidade dos dados, pelo programa computacional Minitab® 15. Todas as variáveis foram utilizadas para a confecção das cartas de controle, independentemente da suposição de normalidade (SAMOBYL, 2005).

Depois de atendidas as premissas básicas para análise estatística foi realizada a avaliação da qualidade da operação de preparo reduzido

do solo e do transplante mecanizado de mudas, sendo os resultados avaliados por meio do controle estatístico de processo, utilizando-se as cartas de controle do tipo I-MR (valores individuais e amplitude móvel), que possuem linhas centrais (média geral e amplitude média), bem como os limites superior e inferior de controle, definidos como LSC e LIC, calculados com base no desvio-padrão das variáveis (para LSC, média mais três vezes o desvio-padrão, e para LIC, média menos três vezes o desvio, quando maior que zero). Essas cartas foram utilizadas a fim de identificar a não aleatoriedade, provocadas por algum fator externo, decorrente do processo, bem como avaliar a qualidade da operação, utilizando-se como indicadores de qualidade as variáveis descritas anteriormente.

### 3 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Todos os indicadores de qualidade apresentaram distribuição assimétrica do conjunto de dados, por meio do teste de Anderson-Darling. Observa-se que, tanto no preparo reduzido do solo, quanto no transplante de mudas as variáveis velocidade de trabalho, patinagem e erro de alinhamento (Tabela 1) apresentaram coeficientes de assimetria positivos, caracterizando curvas de distribuição mais alongada à direita, com a concentração de pontos agrupando-se abaixo da média.

Já as variáveis velocidade e patinagem no preparo reduzido do solo (PRS) e patinagem e erro de alinhamento no transplante de mudas (TP) apresentaram coeficientes de curtose positivos, caracterizando curvas de distribuição com afilamento maior em relação à normal, sendo denominada leptocúrtica. Por outro lado, as variáveis velocidade e erro de alinhamento na operação de PRS apresentaram coeficientes de curtose negativos, caracterizando curvas de distribuição mais achatadas (platicúrticas) em relação à normal.

Observa-se ainda que para o indicador de qualidade “velocidade” para as operações de PRS e TP apresentaram os menores desvios-padrão, amplitudes e coeficientes de variação, ao contrário da patinagem e erro de alinhamento para PRS e TP, em que esses valores são considerados elevados, portanto, existe maior dispersão do conjunto de dados para essas variáveis.

**TABELA 1** - Estatística descritiva para as variáveis velocidade de trabalho do conjunto, patinagem traseira dos rodados e o desvio do alinhamento para a operação de preparo reduzido do solo (PRS) e transplântio de mudas (TP).

Parâmetros	Velocidade (km h <sup>-1</sup> )		Patinagem (%)		Erro do alinhamento (cm)	
	PRS	TP	PRS	TP	PRS	TP
Média	1,86	1,43	2,55	0,90	9,02	5,02
Mediana	1,80	1,40	2,64	0,79	2,64	4,50
Amplitude	0,80	0,30	6,78	4,44	24,00	22,00
Desvio Padrão	0,15	0,07	1,07	0,83	6,53	3,80
CV(%)	7,86	4,74	42,07	92,52	72,40	75,59
Cs (%)	0,86	0,04	1,99	1,96	0,79	1,88
Ck (%)	2,33	- 0,12	8,12	6,32	- 0,26	7,28
AD	A	A	A	A	A	A

CV: coeficiente de variação, Cs: coeficiente de assimetria, Ck: coeficiente de curtose; AD: teste de normalidade de Anderson-Darling (N: distribuição normal; A: distribuição assimétrica).

Para o indicador de qualidade “velocidade de trabalho do conjunto” na operação de preparo reduzido do solo (Figura 1), a carta de valores individuais mostra que a média dos valores, durante a operação, ficou em 1,86 km h<sup>-1</sup>, valor esse bastante próximo ao desejado no momento da seleção da marcha de trabalho.

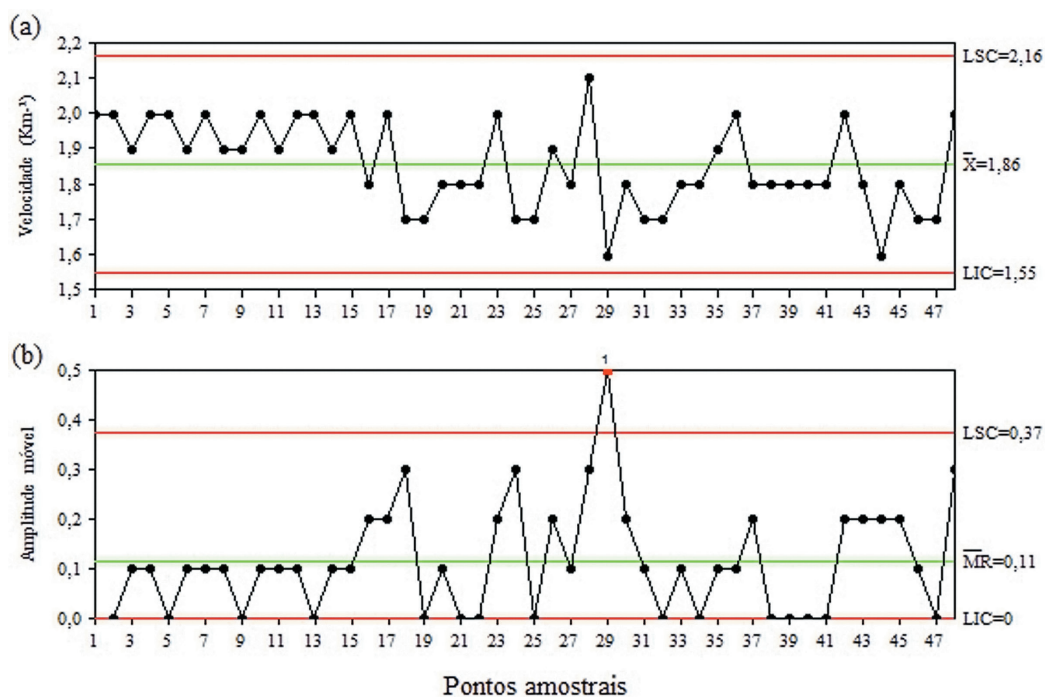
Nota-se que todos os pontos apresentaram-se dentro dos limites de controle, devido ao elevado valor de desvio-padrão, que ampliou os limites inferior e superior de controle. Contudo, na carta de amplitude móvel (variação do processo) observou-se um ponto fora dos limites de controle, apesar da elevada variabilidade do processo, causado por uma redução brusca na velocidade entre os pontos 28 e 29, possivelmente devido a alguma irregularidade no terreno, o que caracterizou o processo como instável. Excetuando-se esse ponto fora de controle, constata-se pela carta de amplitude móvel que a variabilidade do processo se manteve dentro de uma faixa aceitável, com variação de velocidades entre dois pontos consecutivos menores que 0,3 km h<sup>-1</sup>. Carvalho Filho et al. (2007) relataram que o uso da enxada rotativa em velocidade próxima à velocidade média de deslocamento do trabalho, com órgãos ativos semelhantes ao equipamento de preparo reduzido do solo utilizado neste estudo, apresentou maior desagregação e maior

empolamento do solo, podendo favorecer maior área de exploração do sistema radicular e, conseqüentemente, melhor desenvolvimento das plantas.

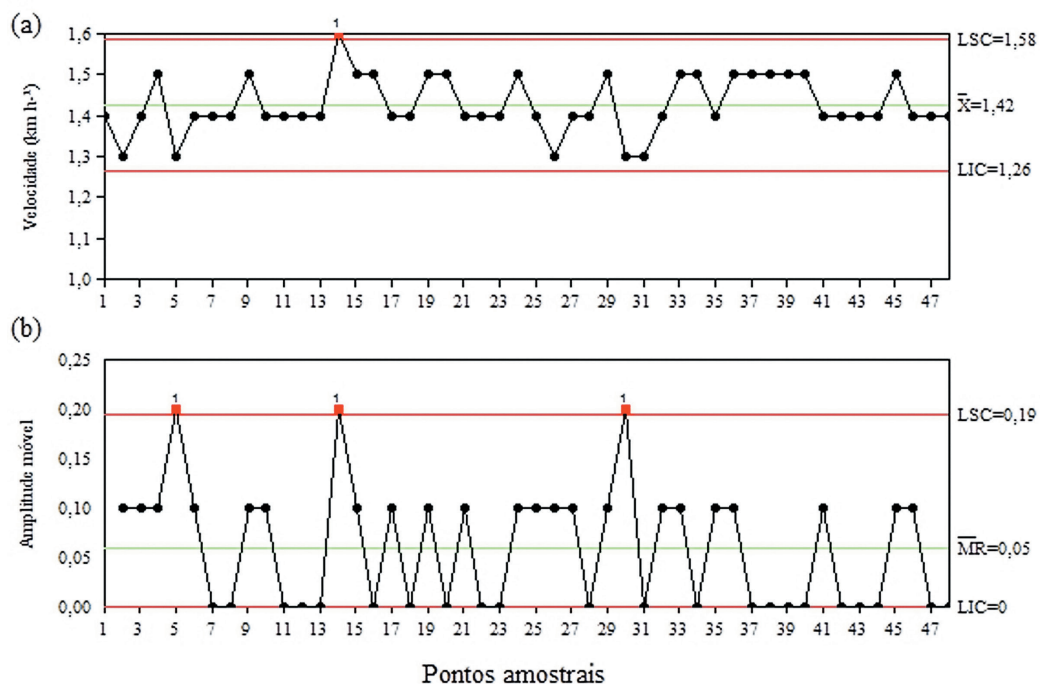
Observa-se, na carta de valores individuais para a velocidade de trabalho do conjunto de transplântio das mudas (Figura 2), que a média dos valores durante a operação ficou em 1,43 km h<sup>-1</sup>, valor esse inferior ao desejado no momento da seleção da marcha de trabalho (1,80 km h<sup>-1</sup>), o que pode implicar na necessidade de uma nova seleção de marchas no momento do planejamento da operação.

Observa-se também que, na carta de valores individuais, mesmo o maior valor de velocidade registrado foi inferior à velocidade teórica desejada. Esse fato decorre da utilização de rotação de trabalho (1.500 rpm) inferior à rotação de potência máxima (2.300 rpm), utilizada com a finalidade de se obter menor velocidade no trabalho, de modo a permitir que o auxiliar de plantio tenha tempo suficiente para depositar as mudas no disco vertical da transplantadora.

Nota-se ainda a presença de um ponto fora do limite superior de controle na carta de valores individuais e outros na carta de amplitude móvel, o que caracterizou o processo como instável refletindo na presença de causas não aleatórias, extrínsecas ao processo.



**FIGURA 1** - Carta de controle para velocidade média de trabalho do conjunto de preparo reduzido do solo. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle.  $\bar{X}$  e  $\bar{MR}$ : média.



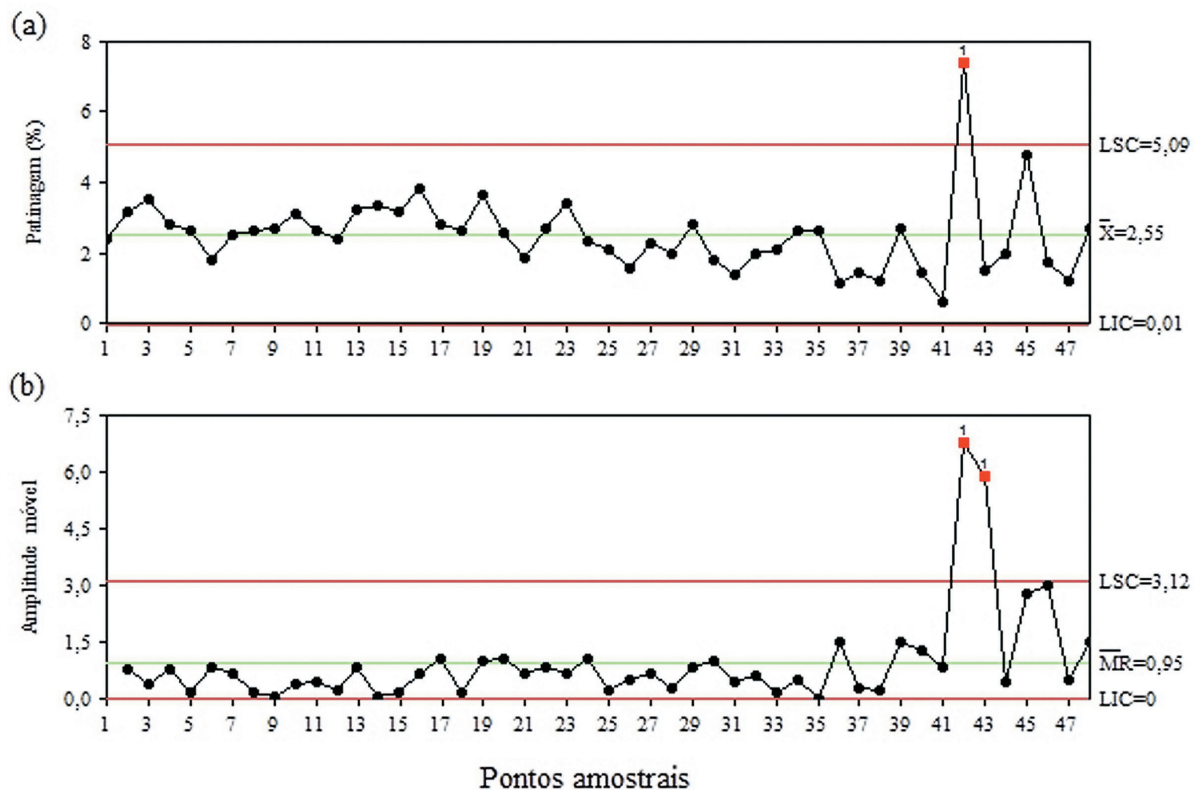
**FIGURA 2** - Carta de controle para velocidade média de trabalho do conjunto de transplante de mudas. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle.  $\bar{X}$  e  $\bar{MR}$ : média.

Tais causas podem ser explicadas para a carta de valores individuais (ponto nº14) devido ao ganho de velocidade do conjunto mecanizado associado à declividade do terreno naquele ponto amostral. Já para a carta de variação do processo (amplitude móvel), observa-se elevada variabilidade do conjunto de dados, sendo os pontos fora de controle explicados pela variação de velocidade ocorrida nos diferentes pontos amostrados durante a operação de transplântio das mudas.

As cartas de controle para a patinagem traseira dos rodados na operação de preparo do solo (Figura 3) apresentaram níveis de patinagem que se mantiveram relativamente baixos, ficando ao redor da média (2,55%); contudo a carta de valores individuais apresentou, no ponto nº 42, valor próximo a 8%, que extrapolou o limite superior de controle e fez com que os dois pontos relativos a esse, na carta de amplitude móvel, também ficassem fora do controle, levando a operação a ser classificada como instável.

Considerando-se os fatores “6 M’s” (matéria-prima, mão de obra, método, máquina, medição e meio ambiente) a instabilidade do processo pode ser explicada, nesse caso, pelos fatores método e medição, uma vez que a determinação da patinagem pelo método da distância apresenta menor precisão se comparado aos métodos de sensoriamento (CORRÊA et al., 1999), além do que a medição no caso pode ser influenciada pela fadiga dos avaliadores no decorrer do processo.

Nota-se que os valores apresentados nesse ponto foram discrepantes dos demais, o que pode caracterizar uma instabilidade do processo ou ser apenas um caso de influência externa, denominada por Toledo et al. (2008) como “outlier”. Esses “outliers” são pontos incomuns que se apresentam distantes das demais observações afastados da média, podendo estar acima ou abaixo da mesma, tanto para a variável resposta como para explicativa, podendo ser considerado potencialmente como valores que não representam o verdadeiro comportamento do conjunto de dados, mas ocorreram no processo e devem ser investigados.



**FIGURA 3** - Carta de controle para patinagem do conjunto mecanizado de preparo reduzido do solo. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle.  $\bar{X}$  e  $\bar{MR}$ : média.

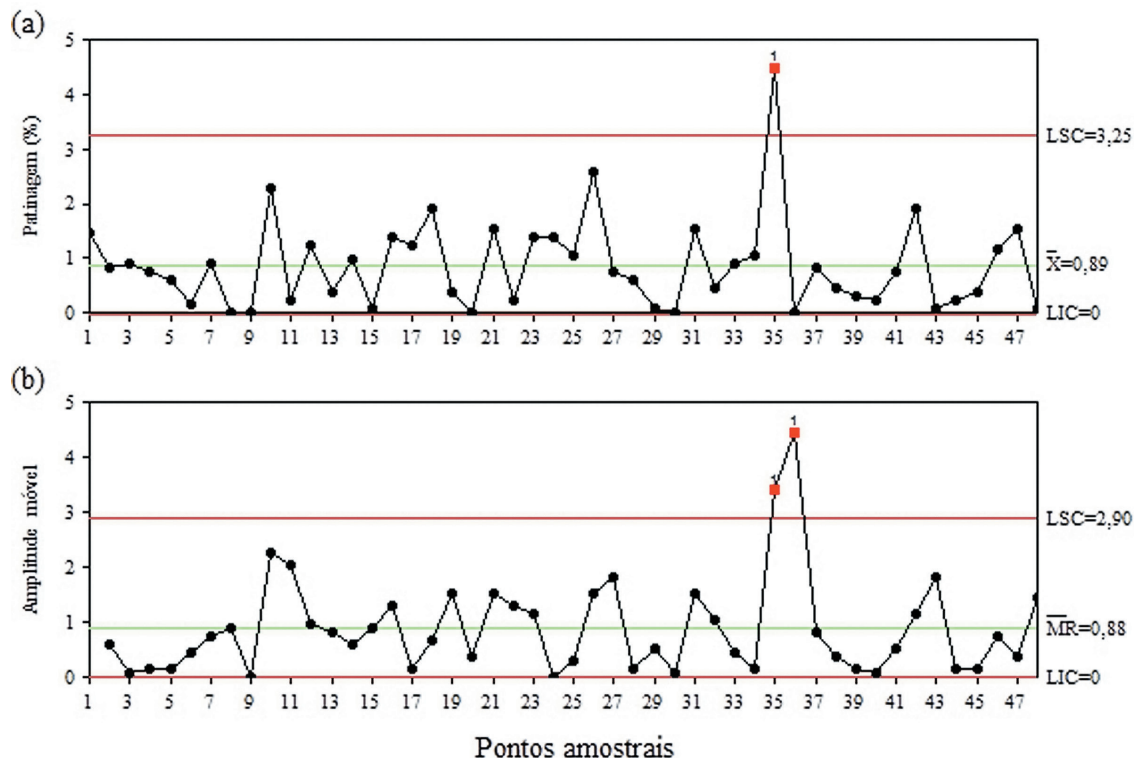
Gabriel Filho et al. (2010) encontraram valores de patinagem relativamente baixos em solos firmes e sem a presença de cobertura vegetal morta, tendo com isso uma melhor capacidade de trabalho. Fernandes e Gamero (2010) relataram que o preparo reduzido do solo apresentou maior índice de patinagem quando comparado ao sistema convencional. Por outro lado, Barbosa et al. (2005) relatam que existe diferença significativa quando se comparam níveis de patinagem, sendo que o de 10% é o que melhor representa a força trativa a campo. Ressalta-se que, aproximadamente, 98% dos valores de patinagem encontrados no presente trabalho situaram-se abaixo de 5% e, de acordo com American Society of Agricultural and Biological Engineers - ASABE (2006) a obtenção de máxima eficiência de tração, em solos não mobilizados, é obtida para patinagem de 8 a 10%.

Por meio das cartas de controle para a patinagem dos rodados traseiros na operação de transplântio (Figura 4) pôde-se constatar que os níveis de patinagem se mantiveram abaixo de 3%, exceto o ponto n° 35, que apresentou patinagem

próxima a 5%, que extrapolou o limite superior de controle e fez com que os dois pontos relativos a esse na carta de amplitude móvel também ficassem fora do controle, tornando a operação instável.

Por outro lado Almeida, Tavares-Silva e Silva (2010) avaliaram a patinagem dos rodados motrizes de um trator em rotações inferiores a da potência máxima e relataram que não houve diferenças entre a patinagem nas rotações avaliadas, sendo as mesmas abaixo das condições ideais, resultado esse semelhante ao encontrado neste trabalho.

Neste caso, nota-se que os valores apresentados apenas neste ponto foram discrepantes dos demais, o que pode caracterizar uma instabilidade do processo ou ser apenas um caso de influência externa denominada por Toledo et al. (2008) como “outlier”. Verifica-se que, o comportamento da patinagem para a operação de transplântio também ficou abaixo de 8% (todos os pontos), valor considerado pela ASABE (2006) abaixo do ideal para condições de trabalho para solos não mobilizados.

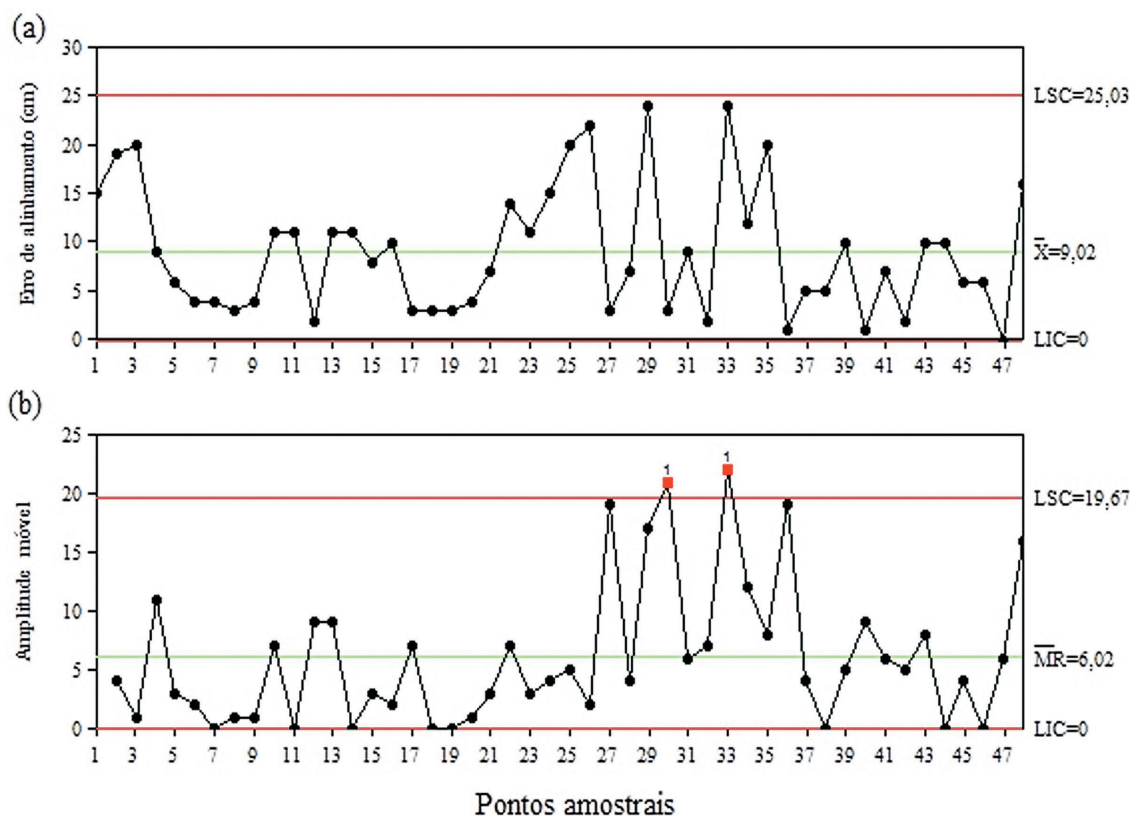


**FIGURA 4** - Carta de controle para patinagem traseira do conjunto mecanizado de transplântio de mudas. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle.  $\bar{X}$  e  $\bar{MR}$ : média.

Na Figura 5 estão apresentadas as cartas de controle para o desvio no alinhamento de preparo do solo que deveria ser espaçado em 3,5 m entre si. Observa-se que o erro médio por parte do operador ficou em torno de 9 cm, o que é significativo, ao se comparar com a precisão do sistema RTK, que fica em torno de 2 cm, podendo acarretar transtornos na operação subsequente (transplântio) e, conseqüentemente, nos demais tratos culturais. Heidman et al. (2002) estudaram pilotos automáticos com uso de diferentes sinais (WASS, RTK, SF1 e SF2) e relataram a existência de erro médio entre 0,2 a 10 cm. Observa-se ainda elevada variabilidade nos erros, fazendo com que dois pontos ficassem fora do controle na carta de amplitude, caracterizando a presença de causas especiais no processo, e que podem ter ocorrido possivelmente devido à mudanças bruscas de direção, por parte do operador durante a operação.

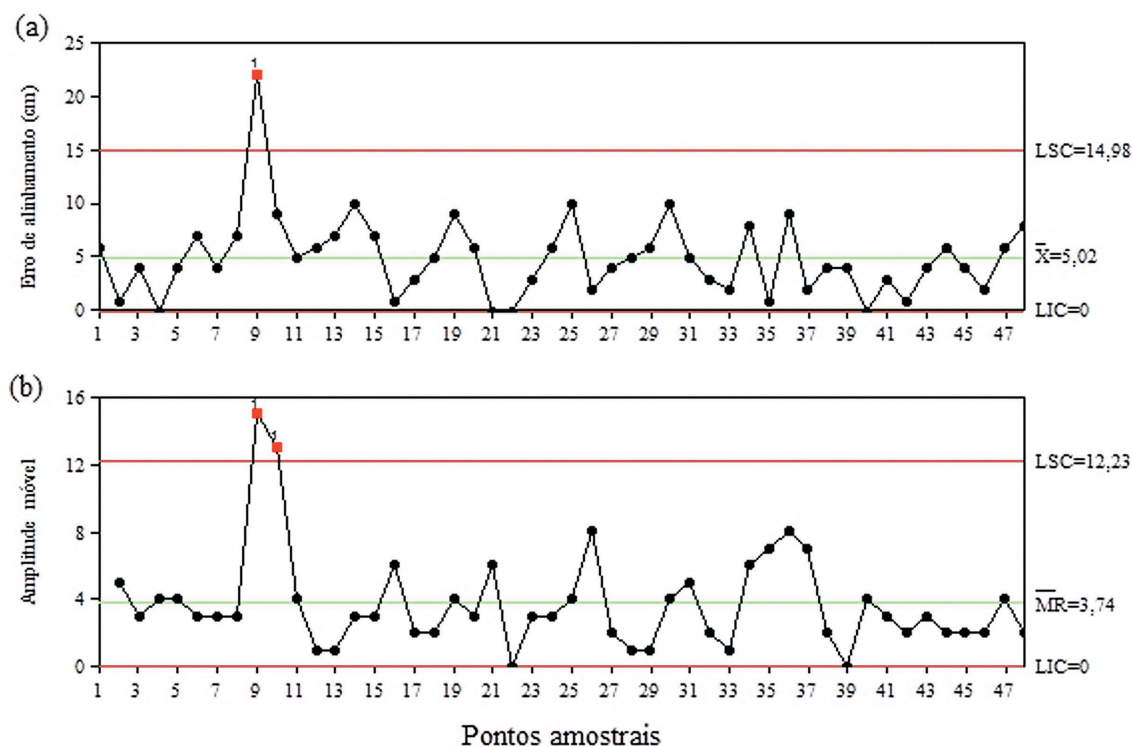
Na Figura 6, estão apresentadas as cartas de controle para o desvio no alinhamento do transplântio, que também deveria ser espaçado em 3,5 m entre si. Observa-se que o desvio médio por parte do operador ficou em torno de 5 cm, o que pode acarretar em transtornos para os tratos culturais e na colheita. Thuilot (2002), estudando o uso de sinais (WASS, RTK, SF1 e SF2), em piloto automático relataram que pode haver erro médio de 0,2 a 10 cm em relação à linha A-B referência.

Observa-se que os valores oscilaram ao redor da média, o que pode levar o processo à possível instabilidade. No entanto, o processo foi considerado como instável devido ao ponto nº 9, que extrapolou o limite superior de controle na carta de valores individuais, refletindo na carta de variação do processo nos pontos nº 9 e 10. Tal situação pode ser explicada pelos fatores mão de obra e material, uma vez que o operador poder ter se distraído no momento da operação, perdendo o controle do conjunto mecanizado ou pode ter ocorrido a perda momentânea de sinal pelo sistema de autodirecionamento automático, incorrendo em maior erro no alinhamento.



**FIGURA 5** - Carta de controle para o erro do alinhamento do conjunto mecanizado de preparo reduzido do solo. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle.  $\bar{X}$  e  $\bar{MR}$ : média.





**FIGURA 6** - Carta de controle para o erro do alinhamento do conjunto mecanizado de transplântio de mudas. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle.  $\bar{X}$  e  $\bar{MR}$ : média.

#### 4 CONCLUSÕES

A qualidade das operações de preparo reduzido do solo e de transplântio mecanizado de mudas de café mostrou-se comprometida para todos os indicadores de qualidade, devido à instabilidade detectada pelo controle estatístico de processo.

A operação de preparo reduzido do solo e transplântio mecanizado de mudas de café apresentam valores de patinação abaixo do ideal.

A velocidade, patinação e erro de alinhamento da operação de transplântio mecanizado de mudas de café apresenta menor variabilidade e, portanto maior qualidade, em relação ao preparo reduzido do solo.

#### 5 REFERÊNCIAS

ALMEIDA, R. A. S.; TAVARES-SILVA, C. A.; SILVA, S. L. Desempenho energético de um conjunto trator-sembleadora em função do escalonamento de marchas e rotações do motor. *Revista Agrarian*, Dourados, v. 3, n. 7, p. 63-70, 2010.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. ASAE EP496.3 agricultural machinery management. In: \_\_\_\_\_. **ASABE standards 2006**. Saint Joseph, 2006. p. 385-390.

BAIO, F. H. R.; MORATELLI, R. F. Avaliação da acurácia no direcionamento com piloto automático e contraste da capacidade de campo operacional no plantio mecanizado da cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 31, n. 2, p. 367-375, mar./abr. 2011.

BARBOSA, J. A. et al. Desempenho operacional de um trator agrícola equipado alternadamente com pneus radiais e diagonais. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 25, n. 2, p. 474-480, maio/ago. 2005.

BARROS, F. F.; MILAN, M. Qualidade operacional do plantio de cana-de-açúcar. *Bragantia*, Campinas, v. 69, n. 1, p. 221-229, mar. 2010.

BATTE, M. T.; EHSANI, M. R. The economics of precision guidance wiht auto-boom control for farmer-owned agricultural sprayers. *Computers and Eletronics in Agriculture*, Amsterdam, v. 53, n. 1, p. 28-44, Mar. 2006.

- BERGTOLD, J. S.; RAPER, R. L.; SCHWAB, E. B. The economic benefit of improving the proximity of tillage and planting operations in cotton production with automatic steering. **Applied Engineering in Agriculture**, Saint Joseph, v. 25, n. 2, p. 133-143, Feb. 2009.
- CAMPOS, C. M.; MILAN, M.; SIQUEIRA, L. F. F. Identificação e avaliação de variáveis críticas no processo de produção da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 554-564, jul./set. 2008.
- CARMO, D. L. et al. Propriedades físicas de um latossolo vermelho-amarelo cultivado com cafeeiro em três sistemas de manejo no sul de minas gerais. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Campinas, v. 35, n. 3, p. 991-998, maio/jun. 2011.
- CARVALHO, G. R. et al. Avaliação de produtividade de progênies de cafeeiro em dois sistemas de plantio. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 30, n. 5, p. 838-843, set./out. 2006.
- CARVALHO FILHO, A. et al. Métodos de preparo do solo: alterações na rugosidade do solo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 229-237, jan./abr. 2007.
- CASTRO, L. G.; COGO, N. P.; VOLK, L. B. S. Alterações na rugosidade superficial do solo pelo preparo e pela chuva e sua relação com a erosão hídrica. **Revista Brasileira de Ciência do Solo**, Viçosa, v. 30, n. 2, p. 339-52, mar./abr. 2006.
- CORRÊA, I. M. et al. **Técnicas de determinação de patinagem das rodas motrizes de tratores agrícolas**. Campinas: Instituto Agronômico de Campinas, 1999. 15 p. (Boletim Técnico, 179).
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. **Sistema brasileiro de classificação de solos**. 2. ed. Rio de Janeiro, 2006. 306 p.
- FERNANDES, J. C.; GAMERO, C. A. Avaliação do desempenho das máquinas agrícolas na implantação da cultura do girassol. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 25, n. 2, p. 74-87, jun. 2010.
- GABRIEL FILHO, A. et al. Desempenho de trator agrícola em três superfícies de solo e quatro velocidades de deslocamento. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 14, n. 3, p. 333-339, out. 2010.
- GUIMARÃES, R. J.; MENDES, A. N. G. **Cafeicultura empresarial: produtividade e qualidade**. Lavras: UFLA/FAEP, 1998. 47 p.
- HEIDMAN, B. C. et al. Application of RTK GPS based auto guidance system in agricultural production. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 3., 2002, Madison. **Proceedings...** Saint Joseph: ASA/CSSA/SSSA, 2002. p. 1125-1134.
- MATIELLO, J. B. **O café: do cultivo ao consumo**. São Paulo: Globo, 1991. 320 p.
- NORONHA, R. H. F. et al. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 931-938, dez. 2011.
- SALVI, J. V.; MATOS, M. A.; MILAN, M. Avaliação do desempenho de dispositivo de corte de base de colhedora de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 201-209, jan./abr. 2007.
- SAMOHYL, R. W. Controle estatístico de processo e ferramentas da qualidade. In: CARVALHO, M. M.; PALADINI, E. P. (Ed.). **Gestão da qualidade: teoria e casos**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2005. p. 261-269.
- SHOCKLEY, J. M.; DILLON, C. R. Cost savings for multiple inputs with swath control and auto guidance technologies. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 9., 2008, Denver. **Proceedings...** Denver: Colorado State University, 2008. 1 CD-ROM.
- SILVA, F. M.; SALVADOR, N. Aliança na colheita. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, v. 3, n. 36, p. 14-17, nov. 2004.
- SILVA, R. P. et al. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 292-304, abr./jun. 2008.
- THUILOT, B. Automatic guidance of a farm tractor relying on single CP-DGPS. **Autonomous Robots**, Amsterdam, v. 13, n. 1, p. 53-71, 2002.
- TOLEDO, A. et al. Caracterização das perdas e distribuição de cobertura vegetal em colheita mecanizada de soja. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 710-719, out./dez. 2008.