

# Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar

Rafael Henrique de Freitas Noronha (\*); Rouverson Pereira da Silva; Carlos Alessandro Chioderoli; Edvaldo Pereira dos Santos; Marcelo Tufaile Cassia

*Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias de Jaboticabal (FCAV/UNESP), Departamento de Engenharia Rural, Área de Máquinas e Mecanização Agrícola, Via de Acesso Prof. Paulo Donato Castellane, 14884-900 Jaboticabal (SP), Brasil.*

*(\*) Autor correspondente: rafael.noronha.agro@gmail.com*

*Recebido: 3/mar./2011; Aceito: 11/ago./2011*

## Resumo

O sistema de colheita mecanizada pode buscar melhorias no processo utilizando ferramentas de qualidade e auxiliar na redução de perdas, aos danos à soqueira e aumentar a longevidade do canavial. O objetivo deste trabalho foi detectar o controle efetivo da variabilidade das perdas e danos à soqueira, bem como identificar se estas estão dentro dos padrões aceitáveis. Para tanto, foram amostrados 40 pontos em dois períodos de colheita, diurna e noturna, em malhas retangulares (55 x 45 m) para determinação das perdas visíveis (rebolos repicados e estilhaçados, pedaço fixo e solto, toco e estilhaço), utilizando-se armações de 10 m<sup>2</sup>. Foram mensurados a altura de corte e os danos na soqueira (sem danos, danos parciais e fragmentados). A estatística utilizada foi descritiva para as variáveis perdas de cana-de-açúcar no período diurno (D) e noturno (N), além da análise de variância, utilizando-se o teste F a 5% de probabilidade e o teste de Tukey para comparação de médias e a utilização de controle estatístico de processo por meio de cartas de controle de processo. Não houve diferença quanto a danos na soqueira. No processo de colheita, as perdas por rebolo repicado e estilhaçado foram consideradas estáveis (sob controle), assim como as perdas por toco, enquanto as perdas por pedaço fixo e solto, estilhaço e cana-inteira ficaram fora de controle. A altura de corte e as perdas totais foram maiores durante a colheita noturna. As cartas foram eficientes para a avaliação de controle do processo de colheita diurno e noturno.

**Palavras-chave:** perdas visíveis, colhedora, controle de qualidade.

## Statistical control applied in the process of mechanical sugar cane harvest in the diurnal and nocturnal periods

### Abstract

The system of mechanized harvesting can seek process improvements using quality tools that can assist in reducing losses, damaged ratoons and increase the longevity of sugarcane crop. Therefore, the objective this study was to detect the effective control of the variability of losses and damage to ratoon and identify whether they are within acceptable standards. Thus, 40 points were sampled in two periods of harvest, diurnal and nocturnal, in rectangular grids (55 x 45 m) for determining visible losses (whole and shattered billets, fixed and loose piece, stump and shrapnel), using frames of 10 m<sup>2</sup>. Also, we measured the height of cut and degree of damage to ratoon (without damage, partial injury and fragmentation). The statistic used was descriptive variables for the loss of sugarcane during the diurnal (D) and nocturnal (N) periods, analysis of variance using the F test at 5% probability and the Tukey test for comparison of the mean, also using the statistical control through charts process. There was no difference to ratoon damage. In the process of harvest, losses of whole and shattered billets by grinding were considered under control, so as losses from the stump. On the other hand, the losses of fixed piece, shrapnel and whole-cane were not controlled. The cutting height and total losses were higher during the nocturnal harvest. The charts were shown to be effective for the evaluation of control process of diurnal and nocturnal harvests.

**Key words:** visible losses, harvester, quality control.

## 1. INTRODUÇÃO

Problemas de ordem socioeconômica e ambiental têm atraído a atenção da sociedade para a cultura da cana-de-açúcar (MORAES et al., 2007). Prova disso é a proibição da queimada em canaviais no Estado, com prazo até 2014 para as áreas mecanizáveis e 2017 para as não mecanizáveis, de acordo com o protocolo de cooperação assinado em junho de 2007 entre o governo do Estado de São Paulo e a União da Agroindústria de São Paulo (ÚNICA), denominado Protocolo Agroambiental. Apesar de o protocolo não substituir a Lei Estadual n.º 11.241, de setembro de 2002, e não ser obrigatório, houve grande aceitação e a expectativa é que a grande maioria das usinas assine o protocolo (SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE, 2007).

SALVI et al. (2007) observaram que na colheita mecanizada de cana-de-açúcar existem algumas peculiaridades relacionadas às interações solo-planta-máquina, que resultam em perdas no campo, redução na qualidade da matéria-prima e da longevidade do canavial. A ausência de mecanismo flutuante provoca aumento nos índices de impurezas na carga, que implicam a redução da qualidade tecnológica da matéria-prima fornecida para moagem, e perdas de cana no campo, além da necessidade de alta potência para cortar e movimentar o volume de solo (GRAY et al., 2009).

SCHOGOR et al. (2009) testaram três modalidades de colheita de cana: corte manual, corte mecanizado e corte mecanizado seguido de rebaixamento manual, em que a porção do colmo remanescente (toco) foi recepada rente ao solo. Os autores observaram que com o rebaixamento manual e o corte mecanizado as perdas totais foram maiores apenas em oito unidades percentuais às perdas pelo método manual e consideraram o desempenho da colheita mecanizada satisfatório.

As perdas visíveis podem ser detectadas no campo após a colheita, e são facilmente quantificadas pela coleta manual. As perdas são classificadas como: canas inteiras, rebolos e tocos resultantes da altura do corte basal. As perdas na forma de caldo, serragem e estilhaços de cana, que ocorrem devido à ação de mecanismos rotativos que cortam, picam e limpam a cana durante o processamento interno nas colhedoras, são definidas como perdas invisíveis (NEVES et al., 2006).

O auxílio de técnicas estatísticas no controle das operações agrícolas mecanizadas é uma realidade, pois a qualidade das operações representa diminuição na variabilidade, obtendo-se resultados mais próximos aos limites especificados (MILAN e FERNANDES, 2002). Nesse contexto, PELOIA et al. (2010) constataram maior variabilidade do comprimento dos rebolos da cana queimada em relação à cana crua, podendo obter melhor qualidade para o processo de moagem.

TOLEDO et al. (2008), trabalhando com controle estatístico para distribuição de palha de soja por colhedoras, verificaram que as cartas de controle foram eficientes na avaliação da qualidade do processo de colheita, assim como SUGISAWA et al. (2007) identificaram a eficiência

dessa técnica na caracterização da variabilidade e análise da qualidade da pulverização mecanizada de defensivos.

VIEIRA et al. (2002) afirmam que dois produtos jamais serão idênticos em função da variabilidade de produção e que esta característica leva à definição de qualidade. Portanto, a qualidade pode ser entendida como redução da variabilidade, e pode ser analisada por meio do Controle Estatístico de Processo (CEP).

Partindo da hipótese de que a operação de colheita mecanizada de cana-de-açúcar necessita de ferramentas que auxiliem no controle efetivo da variabilidade de perdas e danos à soqueira limitando-os aos padrões aceitáveis, este trabalho objetivou avaliar perdas quantitativas e danos à soqueira na colheita mecanizada de cana-de-açúcar, mediante controle estatístico de processo, bem como verificar a qualidade da operação.

## 2. MATERIAL E MÉTODOS

A colheita foi realizada em maio de 2010, em Jaboticabal (SP), localizada nas coordenadas geodésicas: latitude 21°18'S e longitude 48°11'W, com altitude média de 640 metros e clima Cwa (subtropical), segundo a classificação de Köppen.

Quarenta (40) pontos distanciados entre si de 55 x 45 m foram amostrados em dois períodos de colheita, diurna e noturna, sendo duas fileiras de 1100 m de comprimento, resultando em malhas retangulares de duas linhas (fileiras) e 20 colunas. Os pontos foram georreferenciados utilizando-se receptor GPS de navegação marca Garmin, modelo Etrex Vista (precisão posicional < 15 m), posicionamento por ponto simples registrando-se as coordenadas em UTM. A colhedora utilizada foi de marca Case A7700, ano 2009, com rodado tipo esteira, equipada com motor Cummins, cuja potência nominal é de 184 kW (250 cv) a 1700 rpm e bitola de 1,85 m, comandada pelo mesmo operador durante os períodos de avaliação.

A produtividade no talhão foi de 85 t ha<sup>-1</sup> e a velocidade média de colheita de 6,2 km h<sup>-1</sup> (1,72 m s<sup>-1</sup>), no período diurno e noturno. A variedade de cana-de-açúcar foi a RB85 5156, 9.º corte, porte ereto, com ótimo fechamento, pouco exigente quanto à fertilidade de solo, obtendo maturação superprecoce e tolerante à seca.

A amostragem foi realizada em cada ponto das malhas retangulares para determinação das perdas visíveis, utilizando-se armação de 10 m<sup>2</sup> (3,33 x 3,00 m), sendo coletadas e separadas de acordo com a classificação proposta por NEVES et al. (2004):

- Tocos: fração do colmo enraizada cortada acima da superfície do solo, com comprimento menor ou igual a 0,2 m;
- Peça fixo: segmento médio de cana (maior que 0,20 m), que deve estar necessariamente preso ao solo.
- Cana inteira: fração de cana com tamanho igual ou superior a 2/3 do comprimento médio estimado dos colmos do local. Esse colmo pode ou não estar preso ao solo, pelas raízes.

- Rebolo repicado: fração do colmo com o corte característico do facão picador ou do corte de base, em ambas as extremidades.
- Rebolo estilhaçado: fração do colmo com pontas e/ou meio dilacerados.
- Estilhaço: fragmentos de cana dilacerados.
- Pedaco solto: todas as variações visíveis de colmos sem as características que definam tocos, colmos inteiros, rebolos, lascas e cana ponta e que, portanto, não se encaixam em nenhuma das definições anteriormente citadas.

Para avaliação dos danos às soqueiras, utilizou-se o método adaptado de MELLO e HARRIS (2003), por meio da contagem de soqueiras, de acordo com os danos provocados pelo mecanismo de corte basal, classificadas como: sem danos (SD), danos parciais (DP) e fragmentados (FR), em porcentagem.

Os resultados foram analisados por meio da análise de variância, utilizando-se o teste F de Snedecor, a 5% de probabilidade e quando houve significância, aplicou-se o teste Tukey a 5% de probabilidade para comparação de médias, utilizando o pacote estatístico SAS<sup>®</sup>. Na estatística descritiva foi utilizado o software (Minitab<sup>®</sup>), sendo calculadas medidas de tendência central (média aritmética e mediana), medidas de dispersão (amplitude, desvio-padrão e coeficiente de variação) e medidas de assimetria e de curtose. O coeficiente de assimetria (Cs) indica o afastamento da variável em relação a um valor central, caracterizando como e quanto à distribuição de frequência se afasta da simetria. Quando  $Cs > 0$  tem-se a distribuição assimétrica à direita; se  $Cs < 0$ , a distribuição é assimétrica à esquerda e se  $Cs = 0$ , a distribuição é simétrica. O coeficiente de curtose (Ck) mede o grau de achatamento da distribuição, ou seja, o quanto uma curva de frequência será achatada em relação a uma curva normal de referência. No software Minitab<sup>®</sup>, quando  $Ck = 0$ , tem-se uma distribuição mesocúrtica (normal). Para  $Ck < 0$  e  $Ck > 0$ , a distribuição é platicúrtica (achatada) e leptocúrtica (alongada), respectivamente (VIEIRA et al., 2002). Efetuou-se também o teste de Anderson-Darling para caracterizar a normalidade dos dados.

Os métodos estatísticos utilizados para as determinações de perdas foram as cartas de controle pela média, a análise de variância utilizando-se teste F a 5% de probabilidade e o teste de Tukey para a comparação de médias. Os limites de controle, inferior (LIC) e superior (LSC), resultaram da análise estatística e foram determinados de acordo com a variabilidade do processo. Os limites de controle permitem inferir se há variação dos resultados devido a causas não controladas no processo (causas especiais), e são calculados com base no desvio-padrão das variáveis, como demonstrado nas equações 1 e 2.

$$LSC = \bar{x} + 3\sigma \quad (1)$$

$$LIC = \bar{x} - 3\sigma \quad (2)$$

em que,

LSC: limite superior de controle;

$\bar{x}$ : média geral da variável;

$\sigma$ : desvio-padrão.

LIC: limite inferior de controle (Quando o valor calculado do LIC foi negativo, considerou-se o mesmo como nulo, LIC = 0).

Quando em uma observação há falha em um dos testes para causas especiais, o ponto é destacado na carta de controle, com o número do respectivo erro. Um ponto falho indica que há variação não aleatória nos resultados, variação que ocorre devido a uma causa especial e, portanto, deve ser investigada.

Quando nenhum ponto é destacado na carta de controle, não há observação falha no processo, ou seja, não existem causas especiais de variação e, conseqüentemente, o processo está sob controle estatístico.

### 3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

De modo geral, as perdas indicaram médias próximas das medianas, exceto para as variáveis rebolo repicado e cana inteira na colheita diurna e para cana inteira na colheita noturna (Tabela 1). Porém, os valores dos coeficientes de assimetria foram considerados moderados para a maioria das variáveis e os coeficientes de curtose, próximos de zero, são indicativos da normalidade da distribuição, indicando que os dados têm potencial estatístico para serem usados em uma análise de variância. Apesar de os valores do teste de Anderson-Darling terem indicado para algumas variáveis a não normalidade da distribuição, convém ressaltar que os testes de hipóteses que avaliam a normalidade, como o de Anderson-Darling, são extremamente rigorosos e facilmente rejeitam a hipótese de normalidade e, portanto, devem ser usados com cautela.

Para altura de corte e danos às soqueiras (Tabela 1), os resultados da estatística descritiva indicaram a normalidade das distribuições.

Os diferentes períodos interferiram nas perdas significativamente, sendo verificadas diferenças para as perdas tipo rebolo repicado e estilhaçado, pedaco solto e toco, sendo as maiores observadas durante a colheita noturna, exceto para as perdas de pedaco solto.

SILVA et al. (2008) constataram o mesmo excesso de perdas para rebolos soltos, citando que a alta rotação de trabalho do extrator primário pode ser a causa dessa anormalidade. Nas perdas totais, observa-se aumento de 1,59 Mg ha<sup>-1</sup> (20%) no período noturno em relação ao período diurno.

A altura de corte desejada pela propriedade era de 0,03 a 0,04 m, tendo em vista que o sistema de controle automático estava ligado. Assim, observou-se que o período diurno foi satisfatório, com aumento de 16% no período noturno, provavelmente por problemas de visibilidade.

Os altos valores de CV observados para os tipos perdas durante o período diurno e noturno (Tabela 2) refletem a grande variabilidade dos resultados em função do local

**Tabela 1.** Análise estatística para as perdas na colheita, altura de corte e danos à soqueira de cana-de-açúcar durante a colheita diurna e noturna

Perdas/Danos	Período	Perdas (kg ha <sup>-1</sup> )		DMS	Coeficiente de Variação (%)	Teste F
		Média (Período)	Média Geral			
Rebolo repicado	Diurno	130 b	563	451,14	181,86 97,30	15,066*
	Noturno	995 a				
Rebolo estilhaçado	Diurno	1325 b	1867	659,72	28,12 58,46	11,085*
	Noturno	2410 a				
Pedaço fixo	Diurno	795 a	965	526,83	94,70 78,19	1,707 <sup>ns</sup>
	Noturno	1135 a				
Pedaço solto	Diurno	4060 a	3420	733,45	31,70 35,41	12,482*
	Noturno	2780 b				
Cana Inteira	Diurno	450 a	578	635,78	185,85 160,05	0,659 <sup>ns</sup>
	Noturno	705 a				
Estilhaço	Diurno	470 a	462,5	232,95	79,34 77,94	0,017 <sup>ns</sup>
	Noturno	455 a				
Toco	Diurno	690 b	863	424,94	90,43 67,76	2,701*
	Noturno	1035 a				
Total	Diurno	7920 b	8715	1440,1	28,82 23,30	4,996*
	Noturno	9510 a				
Altura de Corte (mm)	Diurno	40,36 b	47,88	2,96	42,28	5,514*
	Noturno	55,40 a				
Sem Danos	Diurno	27,79 a	27,01	14,72	85,13	0,046 <sup>ns</sup>
	Noturno	26,23 a				
Danos Parciais	Diurno	35,79 a	39,19	14,12	56,28	0,951 <sup>ns</sup>
	Noturno	42,59 a				
Fragmentados	Diurno	36,42 a	33,80	18,11	83,68	0,343 <sup>ns</sup>
	Noturno	31,18 a				

Médias seguidas de mesma letra minúscula na coluna não diferem entre si, pelo teste de Tukey ( $p>0,05$ ) e comparam os períodos de corte de cada variável.  
DMS: Diferença mínima significativa.

**Tabela 2.** Estatísticas descritivas das variáveis das perdas de cana-de-açúcar no período diurno (D) e noturno (N): rebolo repicado (RR), rebolo estilhaçado (RE), pedaço fixo (PF), pedaço solto (PS), cana inteira (CI), estilhaço (E), toco (TO), perdas totais (PT), altura de corte (AC), sem danos (SD), danos parciais (DP) e fragmentados (FR)

Perdas	Medidas Estatísticas Descritivas (kg ha <sup>-1</sup> )								
	Média	Mediana	Amplitude	Desvio-Padrão	Coeficiente		Teste AD	Dist. *	P
					Ck	Cs			
RR(D)	130,0	0	880	236,4	2,59	1,83	3,380	A	<0,005
RR(N)	995,0	650	2800	968,0	-1,23	0,51	0,984	A	0,011
RE(D)	1325,0	1250	1200	372,6	-0,63	0,51	0,515	N	0,169
RE(N)	2410,0	2000	5200	1409,0	1,40	1,25	0,985	A	0,011
PF(D)	795,0	950	1900	753,0	-1,75	0,11	1,372	A	<0,005
PF(N)	1135,0	1200	2900	888,0	-0,53	0,31	0,407	N	0,318
PS(D)	4060,0	4150	5400	1287,0	2,36	-1,26	0,709	N	0,054
PS(N)	2780,0	2750	3400	984,0	-1,01	0,12	0,227	N	0,788
CI(D)	450,0	0	2400	836,0	0,71	1,53	4,090	A	<0,005
CI(N)	705,0	0	3000	1128,0	-0,66	1,09	3,585	A	<0,005
ES(D)	470,0	350	1100	372,9	-1,19	0,58	1,112	A	<0,005
ES(N)	455,0	450	1500	354,6	2,84	1,57	1,124	A	<0,005
TO(D)	690,0	700	1800	624,0	-0,96	0,46	0,650	N	0,077
TO(N)	1035,0	1200	2400	701,0	-0,92	-0,08	0,568	N	0,122
PT(D)	7920,0	8200	10100	2283,0	1,34	-0,41	0,337	N	0,470
PT(N)	9510,0	9550	9300	2216,0	0,66	0,54	0,221	N	0,806
AC(D)	40,36	39,05	66,34	20,25	-1,05	0,39	0,466	N	0,225
AC(N)	55,40	58,20	76,03	20,24	-0,32	0,24	0,200	N	0,864
SD(D)	27,79	22,22	85,71	24,08	0,24	0,85	0,474	N	0,216
SD(N)	26,23	30,30	66,67	21,85	-1,28	0,09	0,767	N	0,038
DP(D)	35,79	35,42	80,00	20,55	0,02	0,17	0,159	N	0,940
DP(N)	42,59	40,00	100,00	23,47	1,19	0,27	0,543	N	0,143
FR(D)	36,42	36,36	100,00	29,78	0,34	0,66	0,640	N	0,081
FR(N)	31,18	32,05	100,00	26,71	0,66	0,75	0,285	N	0,285

Ck: coeficiente de curtose; Cs: coeficiente de assimetria; \*N: distribuição normal pelo teste de Anderson-Darling; A: distribuição assimétrica; P: valor de probabilidade, pelo teste de Anderson-Darling.

amostrado. Pode-se compreender melhor esse fato, examinando-se as amplitudes, que indicam valores de mínimo e máximo muito distante entre si. As perdas por rebolo repicado, cana inteira e estilhaço representam distribuição assimétrica em ambos os períodos, enquanto em todos os outros a distribuição é normal, com exceção do pedaço fixo no período diurno e rebolo estilhaçado durante a colheita noturna. SILVA et al. (2008) também verificaram grande variabilidade para as perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar, em terceiro e quarto cortes, bem como distribuições assimétricas para a maioria das perdas analisadas.

### Perdas em rebolo repicado

Pelas cartas de controle das médias para a variável perda por rebolo repicado durante o período diurno e noturno (Figura 1), pode-se constatar que o processo está dentro de controle nas duas situações, com todos os pontos dentro dos limites, visto que a operação de colheita nesse talhão é estável.

Uma vez que as perdas em rebolos repicados podem ocorrer devido ao erro humano, pode-se perceber que não houve falta de atenção do operador ao conduzir a colhedora ou o transbordo. Nota-se que houve menor amplitude entre os limites superior e inferior durante o processo de colheita diurna, e a colheita noturna, devido à baixa visibilidade pode ter causado aumento nas perdas devido à descarga no transbordo ser menos eficiente que a colheita diurna. Estes resultados diferem dos analisados por SILVA et al. (2008), que verificaram processo instável para este indicador, afirmando que, provavelmente, a maior porcentagem de perdas no 4.º corte tenha ocorrido durante a noite, quando a visibilidade de descarga no transbordo é deficiente.

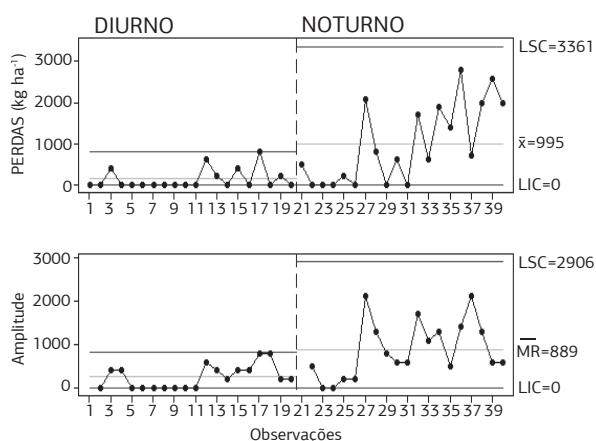


Figura 1. Carta de controle para as perdas de rebolo repicado diurno e noturno.

### Perdas em rebolo estilhaçado

As cartas de controle para a variável perdas em rebolo estilhaçado (Figura 2) indicam que o processo se mantém sob

controle, visto que todos os pontos estão dentro dos limites nas duas cartas. Essas perdas estão relacionadas com o exaustor primário, indicando que a velocidade esteve adequada, pois quando está muito elevada, o rebolo repicado é sugado junto com terra e palha, sendo lançado fora dos transbordos como matéria estranha. Ao passar pelo ventilador, os rebolos são atingidos pelas pás, sendo, então, estilhaçados.

Ainda, observa-se que também houve maior amplitude durante o processo de colheita noturna, com menor estabilidade em relação à colheita diurna.

RIPOLI (1999) observou para ensaios de diversas colhedoras perdas tipo rebolo estilhaçado da ordem de 3,6%, enquanto SILVA et al. (2008) obtiveram perdas médias do rebolo estilhaçado próximas a 1,0% e a 1,5%, no 4.º e no 3.º cortes respectivamente. Os valores avaliados no presente trabalho correspondem a 1,6% e 2,8% para as colheitas realizadas, respectivamente, no período diurno e noturno, situando-se, portanto, próximos dos observados por que SILVA et al. (2008) e RIPOLI (1999).

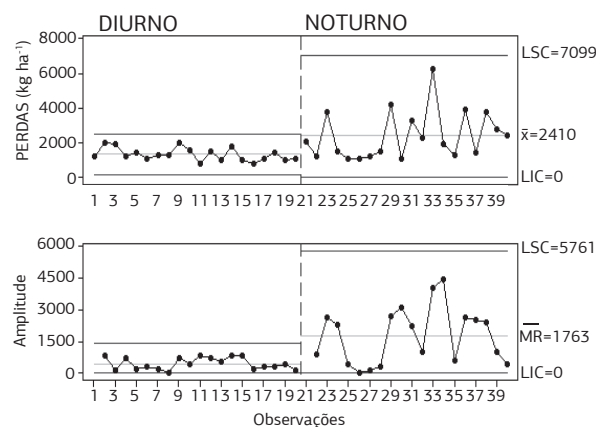


Figura 2. Carta de controle para as perdas de rebolo estilhaçado diurno e noturno.

### Perdas em pedaço fixo

A justificativa quanto às perdas por pedaço fixo é a colheita ter sido realizada no período noturno, devido à baixa visibilidade no controle da altura de corte basal, pois o operador era experiente. Na figura 3 constata-se que houve controle no processo de colheita durante os períodos diurno e noturno, estando todos os pontos dentro dos limites do controle de qualidade do processo. As perdas por pedaço fixo indicam que o corte basal está fora dos padrões aceitáveis estabelecidos pela fazenda (0,05 m). De acordo com SILVA et al. (2008), essas perdas normalmente ocorrem em terrenos acidentados ou mudanças na altura de corte durante o processo, principalmente quando se trabalha sem o uso dispositivo automático de controle da altura de corte de base. SALVI et al. (2007) relatam que a maior altura de corte observada para o sistema de corte de base operado manualmente pode estar associado à falta de visibilidade do operador

devido à presença de plantas daninhas no canavial. Esse fato faz com que o operador realize o corte em altura superior para evitar o contato das lâminas dos discos de corte de base com o solo.

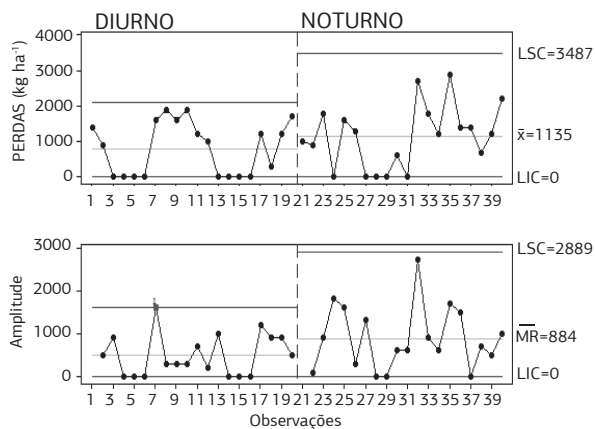


Figura 3. Carta de controle para as perdas de pedaço fixo diurno e noturno.

### Perdas em pedaço solto

Esse tipo de perda ocorre da mesma forma que o rebolo estilhaçado, porém suas dimensões diferenciam-no do rebolo estilhaçado devido ao corte no picador de colmos que, em geral, são maiores, com até dois entrenós.

Conforme as cartas de controle para as perdas em pedaço solto (Figura 4), o processo de colheita está fora de controle durante o período diurno, apesar de ter ocorrido um único ponto abaixo do limite inferior, o que pode representar um ponto discrepante, ou seja, pode ser considerado como erro de amostragem. Para a colheita noturna, observa-se que o processo esteve sob controle, além de se notar menor amplitude em relação à colheita diurna.

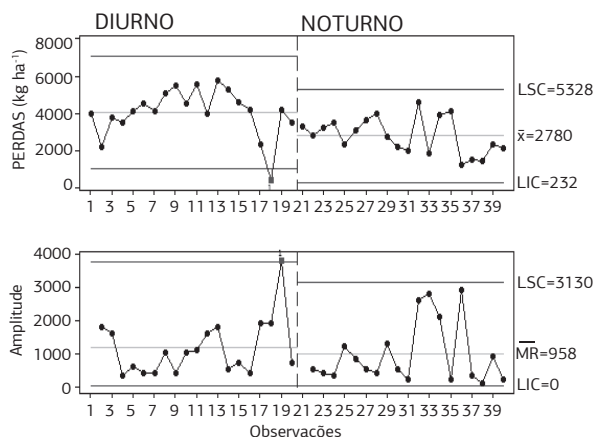


Figura 4. Carta de controle para as perdas de pedaço solto diurno e noturno.

### Perdas em cana inteira

Houve falta de controle do processo durante a colheita diurna, embora exista pouca incidência dessas perdas (Figura 5). O processo de colheita noturna manteve-se dentro dos limites de controle de qualidade. A perda em cana inteira pode estar relacionada ao acamamento ou à presença de plantas acamadas; quando essas ocorrem em condições extremas, torna ineficiente o trabalho do levantador de colmo da colhedora. A área amostrada foi classificada como porte ereto facilitando o trabalho da colhedora ocorrendo perdas em apenas algumas observações. Outro fator que pode afetar as perdas de cana inteira é a velocidade de deslocamento, que no presente trabalho não foi alterada. NEVES et al. (2004) relataram associação entre perda de cana inteira e velocidade excessiva da colhedora, concordando com SEGATO e DAHER (2011) que constataram a ocorrência de maiores perdas para maior velocidade de deslocamento.

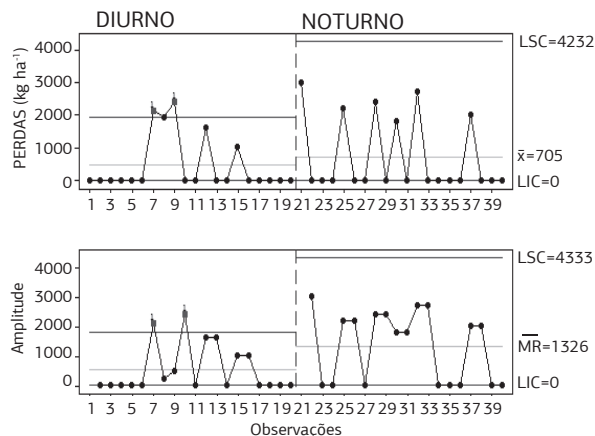


Figura 5. Carta de controle para as perdas de cana inteira, períodos diurno e noturno.

### Perdas em estilhaço

As perdas em estilhaço relativas ao processo de colheita diurna e noturna estavam fora de controle, apesar de haver um único ponto discrepante em cada período de colheita (Figura 6). O corte da planta nos picadores em frações menores que as desejadas, aliados à velocidade dos ventiladores de exaustão dilaceraram os fragmentos do colmo. Ambos os talhões estavam fora de controle, assim identifica-se que houve menor amplitude do processo no período diurno.

### Perdas em toco e Altura de corte

As variáveis perda em toco e altura de corte estão diretamente relacionadas e a análise de variância permitiu constatar

que os períodos de colheita diferiram entre si pelo teste F ao nível de 5% de probabilidade, indicando que durante a colheita noturna houve maior altura de corte e, consequentemente, maior perda em toco. As cartas indicaram que o processo de colheita esteve sob controle para as perdas em toco (Figura 7). SALVI et al. (2007) testou um dispositivo de altura de corte e concluíram que a manutenção de altura de corte foi menor no canal de 6.º corte (porte ereto) e no canal de 2.º corte (porte deitado) não ocorreu influência. Ambos os processos estavam fora de controle ao contrário do que foi provado neste trabalho, quanto à altura de corte no controle de qualidade. As perdas em toco estão relacionadas com as perdas em pedaço fixo, isso é explicado pelo fato de ambos os tipos de perdas serem causadas pelos mesmos motivos, confirmado no processo de colheita em que ambos estavam sob controle (Figura 8). Porém, GRAY et al. (2009) testaram a suspensão pantográfica para o corte basal e obtiveram resultados com maior controle, com amplitude entre 25 mm e 50 mm.

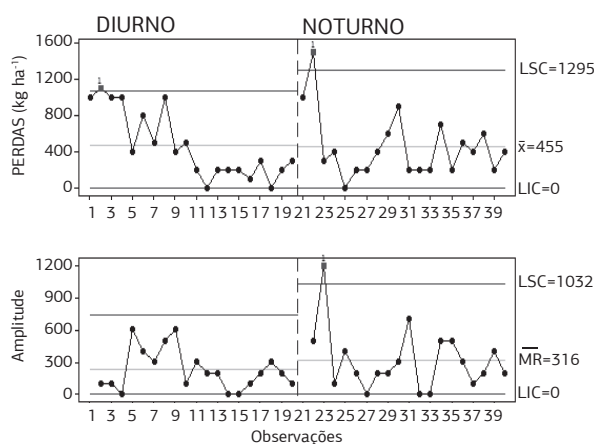


Figura 6. Carta de controle para as perdas de estilhaço, períodos diurno e noturno.

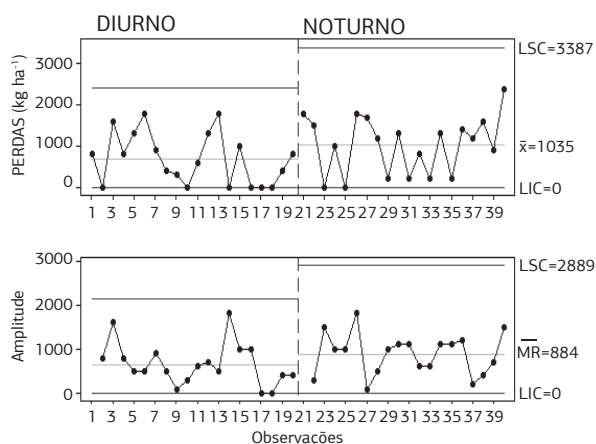


Figura 7. Carta de controle para as perdas de toco, períodos diurno e noturno.

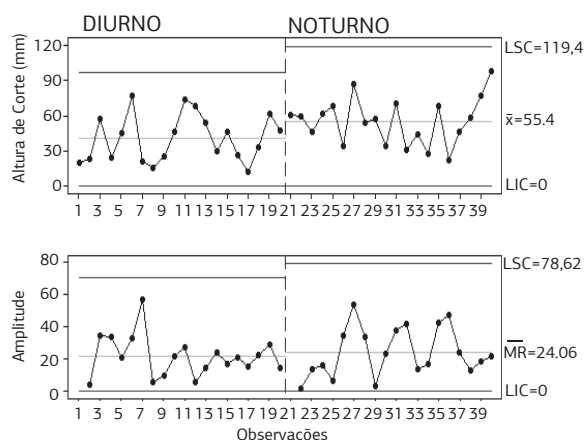


Figura 8. Carta de controle para a altura de corte, períodos diurno e noturno.

### Perdas totais

As perdas totais estavam fora de controle no período diurno e sob controle no período noturno (Figura 9). Porém, nota-se que a amplitude no período noturno estava fora do controle, enquanto o processo de colheita durante o período diurno esteve sob controle, evidenciando assim que durante o período diurno o desvio foi menor que na colheita noturna. NEVES et al. (2004) verificaram, na colheita mecanizada da variedade RB72-454, de terceiro corte, colhida com colhedora Cameco CHT 2500, perdas totais de 8,72 Mg ha<sup>-1</sup> (5,68%), corroborando com a média do trabalho de 8,52 Mg ha<sup>-1</sup>. RIPOLI (1999), avaliando a colheita mecanizada da cana-de-açúcar, com a variedade RB83-5089, verificou perdas de 8,8%. Deve-se considerar que as duas variedades utilizadas por estes autores são consideradas como adequadas para a colheita mecanizada de cana crua (HERMANN et al., 2008).

Os resultados de perdas totais demonstram que na colheita noturna ocorreram maiores perdas (11,2%) em relação à colheita diurna (9,3%). Além dos maiores percentuais

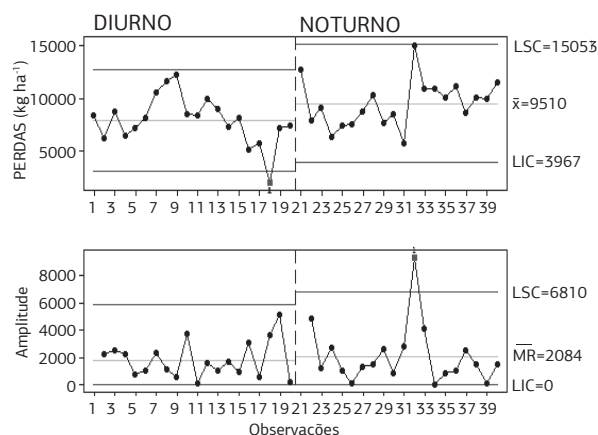


Figura 9. Carta de controle para as perdas totais, períodos diurno e noturno.

de perdas, observa-se que houve maior variabilidade nas perdas totais durante a colheita noturna. Esta maior variabilidade foi observada para todos os tipos de perdas, com exceção das perdas de pedaço solto. Estes resultados indicam a necessidade de maior controle da colheita noturna de cana-de-açúcar, o que pode ser conseguido atuando-se nos fatores conhecidos como “6 M’s” (mão de obra, matéria-prima, método, medição, máquina e meio ambiente).

### Danos à soqueira

Não houve diferença significativa quanto aos danos à soqueira, observando-se danos de 27% nos períodos diurnos e noturnos respectivamente. Danos parciais e fragmentados, apesar de não se notar diferença significativa, houve diferença entre períodos nos danos parciais (42,6% na colheita diurna e 35,8% noturna) e nos danos fragmentados, com 36,4 % na colheita diurna e 31,2 % na noturna (Tabela 1).

## 4. CONCLUSÃO

As perdas da variável pedaço solto foram as maiores analisadas no experimento. No processo de colheita, as perdas por rebolo repicado e estilhaçado foram controladas, assim como as perdas por toco. Perdas por pedaço fixo, solto, estilhaço e cana inteira não foram controladas. A altura de corte e perdas totais foram maiores durante a colheita noturna e quanto aos danos à soqueira não houve diferença significativa.

## AGRADECIMENTOS

Ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico e à Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsas de estudo.

## REFERÊNCIAS

GRAY, G.R.; MAGALHÃES, P.S.G.; BRAUNBECK, O.A. Suspensão pantográfica para corte de base de cana-de-açúcar. *Ciência Rural*, v.39, p.766-771, 2009.

MELLO, R.C.; HARRIS, H. Desempenho de cortadores de base para colhedoras de cana-de-açúcar com lâminas serrilhadas e inclinadas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, v.7, p.355-358, 2003.

MILAN, M.; FERNANDES, R.A.T. Qualidade das operações de preparo do solo por controle estatístico de processo. *Scientia Agrícola*, v.59, p.261-266, 2002.

MORAES, M.A.F.D. Indicadores do mercado de trabalho do sistema agroindustrial da cana-de-açúcar do Brasil no período de 1992-2005. *Estudos Econômicos*, v.37, p.875-902, 2007.

NEVES, J.L.M.; MAGALHÃES, P.S.G.; MORAES, E.E.; ARAÚJO, F.V.M. Avaliação de perdas invisíveis na colheita mecanizada em dois fluxos de massa de cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, v.26, p.787-794, 2006.

NEVES, J.L.M.; MAGALHÃES, P.S.G.; OTA, W.M. Sistema de monitoramento de perdas visíveis de cana-de-açúcar em colhedora de cana picada. *Engenharia Agrícola*, v.24, p.764-70, 2004.

PELOIA, P.R.; MILAN, M.; ROMANELLI, T.L. Capacity of the mechanical harvesting process of sugar cane billets. *Scientia Agrícola*, v.67, p.619-623, 2010.

HERMANN, P.H.; SANTOS, E.G.D.; BASSINELLO, A.I.V.; VIEIRA, M.A.S. Variedades RB de Cana-de-Açúcar. CCA/UFSCar, 2008. 30 p.

RIPOLI, T.C.C.; NERY, M.S.; de LEÓN, M.J.; PIEDADE, S.M.S. Desempenho operacional de uma colhedora em cana crua em função da velocidade de avanço. *Engenharia Agrícola*, v.19, p.199-207, 1999.

SALVI, J.V.; MATOS, M.A.; MILAN, M. Avaliação do desempenho de dispositivo de cortes de base de colhedora de cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, v.27, p.201-209, 2007.

SECRETARIA DO MEIO AMBIENTE DO ESTADO DE SÃO PAULO (SMASP). Protocolo Aaroambiental. São Paulo, 2007 [citado 2010 Jun 24]. Available from: <http://www.ambiente.sp.gov.br/cana/protocolo.pdf>.

SEGATO, S.V.; DAHER, F. Perdas visíveis na colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua sob velocidades de deslocamento da colhedora. *Nucleus*, v.8, p. 315-326, 2011.

SCHOGOR, A.L.B.; NUSSIO, L.G.; MOURÃO, G.B.; MURARO, J.O. SARTURI; MATOS, B.C. Perdas das frações de cana-de-açúcar submetida a diversos métodos de colheita. *Revista Brasileira de Zootecnia*, v.38, p.1443-1450, 2009.

SILVA, R.P.; CORRÊA, C.F.; CORTEZ, J.W.; FURLANI, C.E.A. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.292-304, 2008.

SUGISAWA, J.M.; FRANCO, F.N.; SILVA, S.S.S.; PECHE FILHO, A. Qualidade de aplicação de herbicida em lavoura de trigo. *Engenharia Agrícola*, v.27, p.41-7, 2007.

TOLEDO, A.; TABILE R.A.; SILVA, R.P.; FURLANI, C.E.A.; MAGALHÃES, S.C.; COSTA, B.O. Caracterização das perdas e distribuição de cobertura vegetal em colheita mecanizada de soja. *Engenharia Agrícola*, v.28, p.710-719, 2008.

VIEIRA, S.R.; MILLETE, J.; TOPP, G.C.; REYNOLDS, W.D. Handbook for geoestatistical analysis of variability in soil and climate data. In: ALVAREZ V.V.H.; SCHAEFER, C.E.G.R.; BARROS, N.F.; MELLO, J.W.V.; COSTA, L.M. (Ed.). *Tópicos em ciência do solo*. Viçosa: Sociedade Brasileira de Ciência do Solo, 2002. v.2, p.1-45.