

Controle estatístico de qualidade aplicado à quantificação das perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em função da rotação do extrator primário

Statistical quality control applied to the quantification of losses in mechanized sugarcane harvesting as a function of primary extractor rotation

Control estadístico de calidad aplicado a la cuantificación de pérdidas en la zafra mecanizada de caña de azúcar en función de la rotación del extractor primario

Recebido: 27/11/2022 | Revisado: 09/12/2022 | Aceitado: 10/12/2022 | Publicado: 17/12/2022

Rodrigo Silva Alves

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-7746-9729>
Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Brasil
E-mail: rodrigossilva.aalves@gmail.com

Victor Augusto da Costa Escarela

ORCID: <https://orcid.org/0000-0003-4480-2593>
Universidade Federal de Jataí, Brasil
E-mail: victorescarela@gmail.com

Paulo Ricardo Alves dos Santos

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-2082-503X>
Universidade Federal do Ceará, Brasil
E-mail: paulo_ptg@hotmail.com

Thiago Orlando Costa Barboza

ORCID: <https://orcid.org/0000-0001-5156-2474>
Universidade Federal de Lavras, Brasil
E-mail: agro.thiagocosta@gmail.com

Carlos Alessandro Chioderoli

ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-5706-8060>
Universidade Federal do Triângulo Mineiro, Brasil
E-mail: cachioderoli@gmail.com

Resumo

Em decorrência do uso da colheita mecanizada da cana-de-açúcar, se faz necessário estudos que preconizam o melhor rendimento operacional e econômico da colhedora. Logo, o objetivo do trabalho foi avaliar as perdas visíveis na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em função de três rotações do extrator primário de uma colhedora automotriz (R_1 - 900 rpm, R_2 - 1.000 rpm e R_3 - 1.100 rpm) na velocidade operacional de (4 km h^{-1}). Os dados foram analisados pelo controle estatístico de processo (CEP), onde foram utilizadas cartas de controle de valores individuais e de amplitude móvel para verificação das perdas. Foram utilizadas 60 parcelas amostrais de 13 m^2 , espaçadas 50 m entre si. As perdas foram separadas, pesadas, quantificadas, transformadas em kg ha^{-1} e classificadas de acordo com a metodologia proposta por Reis (2009). Os dados foram submetidos a análise estatística descritiva para verificação da normalidade e, posteriormente, confeccionado cartas de controle de valores individuais (CEP) para quantificação do volume de perdas e instabilidade do processo. Portanto, nas condições do trabalho causas especiais atuaram no processo de colheita tornando-o instável quanto às perdas. As maiores perdas totais foram observadas na rotação intermediária de 1000 rpm, seguido da maior rotação 1100 rpm.

Palavras-chave: *Saccharum officinarum*; Matéria-prima; Mecanização agrícola; Qualidade do corte.

Abstract

As a result of the use of mechanized sugarcane harvesting, studies are needed that advocate the best operational and economic performance of the harvester. Therefore, the objective of this work was to evaluate the visible losses in the mechanized harvesting of sugarcane as a function of three rotations of the primary extractor of a self-propelled harvester (R_1 - 900 rpm, R_2 - 1,000 rpm and R_3 - 1,100 rpm) at speed operating time (4 km h^{-1}). Data were analyzed using statistical process control (SPC), where control charts of individual values and moving range were used to verify losses. Sixty sample plots of 13 m^2 were used, spaced 50 m apart. Losses were separated, weighed, quantified, transformed into kg ha^{-1} and classified according to the methodology proposed by Reis (2009). Data were submitted to descriptive statistical analysis to verify normality and, subsequently, control charts of individual values (CEP) were made to quantify the volume of losses and process instability. Therefore, under the working conditions, special causes

acted in the harvesting process, making it unstable in terms of losses. The highest total losses were observed at the intermediate speed of 1000 rpm, followed by the highest speed at 1100 rpm.

Keywords: *Saccharum officinarum*; Raw material; Agricultural mechanization; Cutting quality.

Resumen

Como resultado del uso de la cosecha mecanizada de la caña de azúcar, se necesitan estudios que aboguen por el mejor desempeño operativo y económico de la cosechadora. Por tanto, el objetivo de este trabajo fue evaluar las pérdidas visibles en la cosecha mecanizada de caña de azúcar en función de tres rotaciones del extractor primario de una cosechadora autopropulsada (R₁- 900 rpm, R₂- 1.000 rpm y R₃- 1.100 rpm) a la velocidad tiempo de funcionamiento (4 km h⁻¹). Los datos se analizaron mediante control estadístico de procesos (SPC), donde se utilizaron gráficos de control de valores individuales y rango móvil para verificar pérdidas. Se utilizaron 60 parcelas de muestra de 13 m², separadas 50 m. Las pérdidas fueron separadas, pesadas, cuantificadas, transformadas en kg ha⁻¹ y clasificadas según la metodología propuesta por Reis (2009). Los datos fueron sometidos a análisis estadístico descriptivo para verificar la normalidad y, posteriormente, se realizaron gráficas de control de valores individuales (CEP) para cuantificar el volumen de pérdidas y la inestabilidad del proceso. Por lo tanto, en las condiciones de trabajo, causas especiales actuaron en el proceso de cosecha, haciéndolo inestable en términos de pérdidas. Las pérdidas totales más altas se observaron a la velocidad intermedia de 1000 rpm, seguidas de la velocidad más alta a 1100 rpm.

Palabras clave: *Saccharum officinarum*; Materia prima; Mecanización agrícola; Calidad de corte.

1. Introdução

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) corresponde a uma das culturas de grande importância na economia do agronegócio brasileiro (Amorim et al., 2018; Brinkman et al., 2018). O Brasil é o principal produtor e exportador da cultura e de seus subprodutos (Antunes et al., 2017), com isso, se destaca na produtividade e no custo de produção da cana-de-açúcar (Salles-Filho et al., 2017). Moraes et al. (2017) relata que um dos fatores responsáveis pelo aumento de produção nacional da cana-de-açúcar se dá em razão do incremento da demanda por etanol no mercado interno. Além da produção de etanol e açúcar, as usinas têm buscado operar com maior eficiência, com a geração de energia elétrica, de modo que, reduza custos no sistema produtivo e contribua para sustentabilidade da atividade (CONAB, 2017).

A área total ocupada pela cana-de-açúcar no Brasil é de aproximadamente 9 milhões de hectares, sendo o estado de Minas Gerais o terceiro representante nacional, com uma área plantada de aproximadamente 846,5 mil hectares e uma produtividade média de 76.000 kg ha⁻¹ (CONAB, 2022).

O sistema de cultivo da cana-de-açúcar é composto de muitos processos, dentre eles a colheita. Na colheita mecanizada muitas perdas podem estar presentes, sendo que estas podem advir da inexperiência do operador, da falta de manutenção e regulação da máquina, do estado da planta, da declividade do terreno, do meio ambiente e, principalmente, das configurações incorretas da velocidade operacional e rotação dos extratores primário e secundário (Apolinário et al. 2017). No entanto, diversas vantagens são atribuídas à colheita mecanizada, principalmente quanto ao rendimento operacional de colheita. Assim, Pelloso et al. (2019) destaca que existe sempre a necessidade de maximizar a qualidade do processo, reduzindo custos e perdas durante sua execução. Como ferramenta de monitoramento visando maior estabilidade do processo em operações mecanizadas, destaca-se o controle estatístico de processo (Silva; Voltarelli; Cassia, 2015).

As cartas de controle são as ferramentas de uso mais comum do CEP, pois são de simples interpretação, o que facilita a visualização das falhas ocorridas durante o processo. Existem alguns trabalhos na literatura em que os autores utilizam cartas de controle na avaliação de qualidade, como nas operações de plantio mecanizado de cana-de-açúcar (Voltarelli et al., 2013) e na colheita mecanizada da cana-de-açúcar (Toledo et al., 2013). De acordo com Barbosa; Vieira (2017) os gráficos de controle se alinham com a engenharia de métodos, evidenciando se o processo está sob controle e assegurando a validade das cronometragens por meio da análise dos dados que apresentam anormalidade, alterando o ritmo de produção.

Tendo em vista as perdas que ocorrem durante a colheita mecanizada, as quais promovem redução na produtividade e rentabilidade do produtor, o presente trabalho teve por objetivo avaliar as perdas visíveis na colheita mecanizada de cana-de-

açúcar em três configurações de rotação do extrator primário (R₁- 900 rpm, R₂-1.000 rpm e R₃- 1.100 rpm) e uma velocidade operacional de deslocamento (4 km h⁻¹) da colhedora, por intermédio das cartas de controle, ferramentas do controle estatístico de processo (CEP).

2. Metodologia

O experimento foi conduzido em outubro de 2019 na Fazenda Três Irmãos, localizada na região de União de Minas - Iturama (MG), situada a 506 m de altitude, e coordenadas geográficas 19° 31' S de latitude 50° 20' O de longitude, tratando-se de um talhão experimental. O solo da região foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO (Santos et al., 2018). A classificação climática da região segundo Köppen é do tipo Cwa, com chuvas de verão, temperatura média de 25°C e precipitação anual de 1.415 mm concentrada nos meses de novembro a fevereiro.

Na colheita do experimento e coleta dos dados foi utilizada uma colhedora da marca Case IH- série A8000 com esteiras, cujas características são: motor Case IH C9 – 260 kW (358 cv), massa total de 15.000 kg, altura operacional de 6.300 mm, comprimento total de 15.840 mm, largura de 2.400 mm e com bitola de 1.880 mm. A máquina foi operada pelo mesmo colaborador durante as avaliações do experimento.

A produtividade registrada do talhão foi de 80 t ha⁻¹. A variedade da cana-de-açúcar utilizada para determinação das perdas foi a CTC 4, em terceira safra, com espaçamento entrelinha de 1,50 m, e as seguintes características: folhas mais novas eretas e as demais arqueadas, alta produtividade e apropriada para colheita mecanizada.

O trabalho foi realizado com base no controle estatístico de processo, seguindo os pré-requisitos das cartas de controle (Montgomery, 2009), com vinte repetições, respeitando a quantidade mínima exigida para a construção das cartas de controle, totalizando 60 unidades experimentais. Os tratamentos foram compostos pelos seguintes fatores: três rotações do extrator primário da colhedora (R₁- 900 rpm, R₂- 1.000 rpm e R₃- 1.100 rpm) e uma velocidade operacional de 4 km h⁻¹ (1,11 m s⁻¹), que se manteve constante, utilizada como padrão no trabalho. As rotações do extrator primário e a velocidade operacional utilizados no estudo foram de acordo com a logística de trabalho da propriedade, considerando declividade e condição espacial da área, além disso, buscou atender o compromisso de entrega da produção à indústria. Na classificação e quantificação das perdas foram definidos sessenta (60) pontos amostrais, distanciados a 50 m entre si, sendo que em cada um dos pontos foi posicionada uma armação de 13 m² (3,60 x 3,60 m), para avaliação das perdas na colheita mecanizada. Após a coleta, as perdas foram separadas, pesadas, quantificadas e transformadas em kg ha⁻¹, sendo as variáveis de perdas avaliadas de acordo com a classificação de Reis, (2009): Rebolo repicado (RR); Cana inteira (CI); Cana-ponta (CP); Pedaco fixo (PF); Pedaco solto (PS); Lasca (L); Estilhaço (E); Toco (T) e Perdas totais (PT).

- Rebolo repicado: fração do colmo com corte característico do facão picador ou do corte de base, em ambas as extremidades, menor que 0,20 m;
- Cana inteira: fração da cana com tamanho igual ou superior a 2/3 do comprimento total, preso ou solto ao solo pelas raízes;
- Cana-ponta: fração do colmo deixada no solo e agregada ao ponteiro;
- Pedaco fixo: segmento médio de cana (maior que 0,20 m), necessariamente preso ao solo;
- Pedaco solto: segmento médio de cana (maior que 0,20 m), necessariamente solto ao solo;
- Lasca: fração segmentada do rebolo, com presença de casca;
- Estilhaço: fragmentos de cana dilacerados, sem a presença de casca;
- Toco: fração do colmo cortada acima da superfície do solo, presa às raízes não arrancadas, com comprimento menor ou igual a 0,20 m e maior que 0,05 m altura regular do corte de base.
- Perdas totais: a soma de todas as variáveis de perdas.

Os dados foram inicialmente analisados por meio da estatística descritiva através do software (Minitab®), permitindo a visualização comportamental de maneira geral. Foram calculadas as medidas de dispersão (desvio padrão e coeficiente de variação), medidas de tendência central (média aritmética e mediana) e índices de assimetria e curtose. A verificação da normalidade dos dados foi realizada por meio do teste de Anderson-Darling.

Como método de observação para determinação das perdas, foram confeccionadas cartas de controle de valores individuais, o que possibilitou constatar a influência de cada variável de perda no volume de perdas totais e instabilidade do processo. Os limites superior e inferior de controle são calculados com base no desvio-padrão das variáveis, de acordo com a equação 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;

σ = desvio-padrão;

LIC = limite inferior de controle.

3. Resultados e Discussão

As perdas indicaram médias altas e distintas das medianas (Tabela 1), porém, algumas variáveis apontaram resultados próximos, refletindo em menores valores no coeficiente de variação (CV). Valores muito distintos e próximos de zero, resultaram em valores altos de coeficiente de variação, isto porque reproduz grande heterogeneidade entre os resultados das diferentes variáveis de perdas produzidas na colheita (Tabela 1). Resultados semelhantes foram relatados por Paixão et al. (2020), em que estudaram as perdas na colheita mecanizada e obtiveram alta variabilidade do conjunto de dados, principalmente com valores classificados como altos de CV (Pimentel-Gomes; Garcia, 2002).

Em relação aos valores de assimetria (Tabela 1), com exceção das perdas em lasca na rotação de 1100 rpm, as demais apresentaram valores de assimetria positivos e não moderados caracterizando curvas com alongamento à direita, representando que as médias das perdas dessas variáveis obtiveram resultados com maior diferença e refletiram mais em relação às medianas sobre a assimetria, assim como observado por Paixão et al. (2020). Este resultado demonstra as variações sazonais e temporais que ocorrem nos canaviais colhidos de maneira mecanizada. Silva et al. (2008) também verificaram grande variabilidade nas perdas da colheita mecanizada de cana-de-açúcar, bem como distribuições assimétricas para a maioria das perdas analisadas.

Dentro dos valores de curtose (Tabela 1), com exceção das perdas em pedaço solto, toco e total na rotação de 900 rpm, o mesmo evento evidenciado nas outras medidas de distribuição, a variabilidade em questão, ocorreu para o restante das variáveis de perdas, que apresentaram valores positivos indicando distribuição platicúrtica, assim demonstrando grande diferença dos resultados de perdas entre as variáveis no campo, em vista dos fatores que afetam a qualidade do processo de colheita mecanizada, que inclui as condições de operação, a cultura e o ambiente (Voltarelli et al., 2018). O teste de Anderson-Darling constatou não normalidade para a maioria das variáveis analisadas. As configurações de rotação do extrator primário de 900 e 1100 rpm apresentaram distribuição normal para as perdas de rebolo repicado, pedaço solto e total (Tabela 1).

Tabela 1 - Estatística descritiva dos dados coletados nas rotações 900 RPM, 1000 RPM e 1100 RPM.

Variável	(900 RPM)								
	Média (kg)	Desvio-Padrão (kg)	Mediana (kg)	CV (%)	Assimetria	Curtose	TAD	Dist.*	P
Rebolo repicado	238,38	133,07	233,85	55,82	1,05	1,19	0,536	N	0,149
Cana ponta	37,08	133,30	0,00	359,52	4,04	16,85	6,202	A	<0,005
Cana inteira	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pedaço fixo	103,38	213,86	0,00	206,86	2,20	4,27	3,960	A	<0,005
Pedaço Solto	305,35	306,30	260,00	100,31	0,60	-0,37	1,004	N	0,009
Estilhaço	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lasca	222,31	106,98	215,00	48,12	0,76	0,73	0,286	N	0,588
Toco	124,88	157,12	34,62	125,81	0,84	-1,04	2,034	A	<0,005
TOTAL	1031,38	600,73	1015,38	58,24	0,35	-0,55	0,398	N	0,334
Variável	(1000 RPM)								
	Média (kg)	Desvio-Padrão (kg)	Mediana (kg)	CV (%)	Assimetria	Curtose	TAD	Dist.*	P
Rebolo repicado	714,42	1851,20	283,08	259,12	4,40	19,56	5,677	A	<0,005
Cana ponta	100,65	320,47	0,00	318,39	3,23	10,06	6,236	A	<0,005
Cana inteira	189,73	444,58	0,00	234,32	2,42	5,00	4,747	A	<0,005
Pedaço fixo	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Pedaço Solto	550,81	796,51	240,00	144,61	2,68	8,50	2,000	A	<0,005
Estilhaço	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lasca	405,69	522,50	353,08	128,79	3,29	12,87	2,286	A	<0,005
Toco	370,00	562,57	164,62	152,05	2,49	6,74	2,400	A	<0,005
TOTAL	2331,31	3039,58	1798,46	130,38	3,96	16,86	3,556	A	<0,005
Variável	(1100 RPM)								
	Média (kg)	Desvio-Padrão (kg)	Mediana (kg)	CV (%)	Assimetria	Curtose	TAD	Dist.*	P
Rebolo repicado	1395,92	534,77	1347,69	38,31	0,32	-0,08	0,166	N	0,929
Cana ponta	6,54	29,24	0,00	447,21	4,47	20,00	7,176	A	<0,005
Cana inteira	44,54	199,18	0,00	447,21	4,47	20,00	7,176	A	<0,005
Pedaço fixo	15,35	49,90	0,00	325,18	3,41	11,66	6,180	A	<0,005
Pedaço Solto	309,58	206,32	292,31	66,65	0,94	1,04	0,814	N	0,029
Estilhaço	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Lasca	378,92	169,21	390,38	44,66	-0,05	-0,96	0,245	N	0,725
Toco	55,42	95,29	0,00	171,93	1,96	3,56	2,808	A	<0,005
TOTAL	2206,27	815,85	2196,92	36,98	0,37	-0,06	0,273	N	0,628

CV (%): Coeficiente de variação; TAD: Teste de normalidade Anderson-Darling; N: Distribuição normal pelo teste de Anderson-Darling; A: distribuição assimétrica; P: valor de probabilidade, pelo teste de Anderson-Darling. Fonte: Autores.

Às análises a seguir são por meio de cartas de controle, uma das ferramentas do controle estatístico de qualidade, compostas por uma linha central que representa a média amostral do processo, limite superior e inferior de controle, os quais monitoram o processo ao longo do espaço e do tempo (Lucietto et al., 2017). As cartas de controle apresentam boa aplicabilidade para análise e monitoramento de variações que venham a ocorrer no processo produtivo e colaboram na avaliação da estabilidade do processo (Ascensão, 2019), detectando mais precisamente as perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

Perdas em rebolo repicado

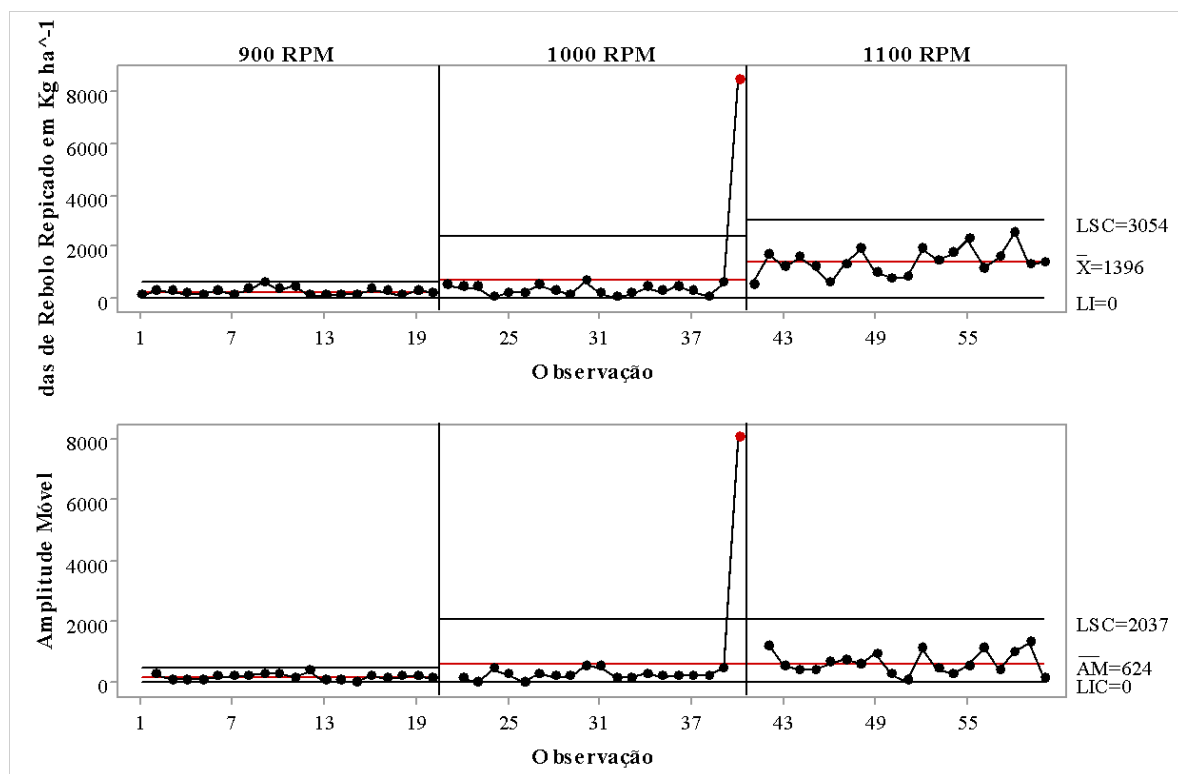
O resultado de perdas da variável rebolo repicado (Figura 1) demonstrou melhores resultados nas rotações de 900 e 1100 rpm, onde os pontos mantiveram-se sob controle, o que quer dizer que as perdas desta variável foram mais uniformes e sem discrepância nestas rotações, porém não indica menores perdas. Em relação a rotação intermediária, 1000 rpm, verificou-

se um ponto fora do limite superior de controle, esta variação ocorreu devido a alguma causa especial presente no ato da operação, como: desgaste e má regulagem da máquina ou falta de sincronismo.

As rotações de 1000 e 1100 rpm foram as que apresentaram uma maior variabilidade dos dados, indicando maiores perdas. O mesmo foi observado por Peloso et al. (2019), os quais observaram que com o aumento da rotação do extrator primário e redução na velocidade operacional da colhedora, há aumento nas perdas de cana-de-açúcar. Resultados diferentes foram descritos por Martins et al. (2017), que obtiveram níveis baixos de perdas em condição de baixa e alta rotação, respectivamente.

A amplitude móvel nessas rotações não apresentou altas oscilações em relação à média, retratando um processo bem conduzido. A rotação de 900 rpm foi a responsável por garantir menor perda em rebolo repicado no processo, apresentando menor variabilidade e menor variação em relação a amplitude móvel (Figura 1).

Figura 1 - Carta de controle para as perdas de rebolo repicado nas rotações de 900 rpm, 1000 rpm e 1100 rpm.



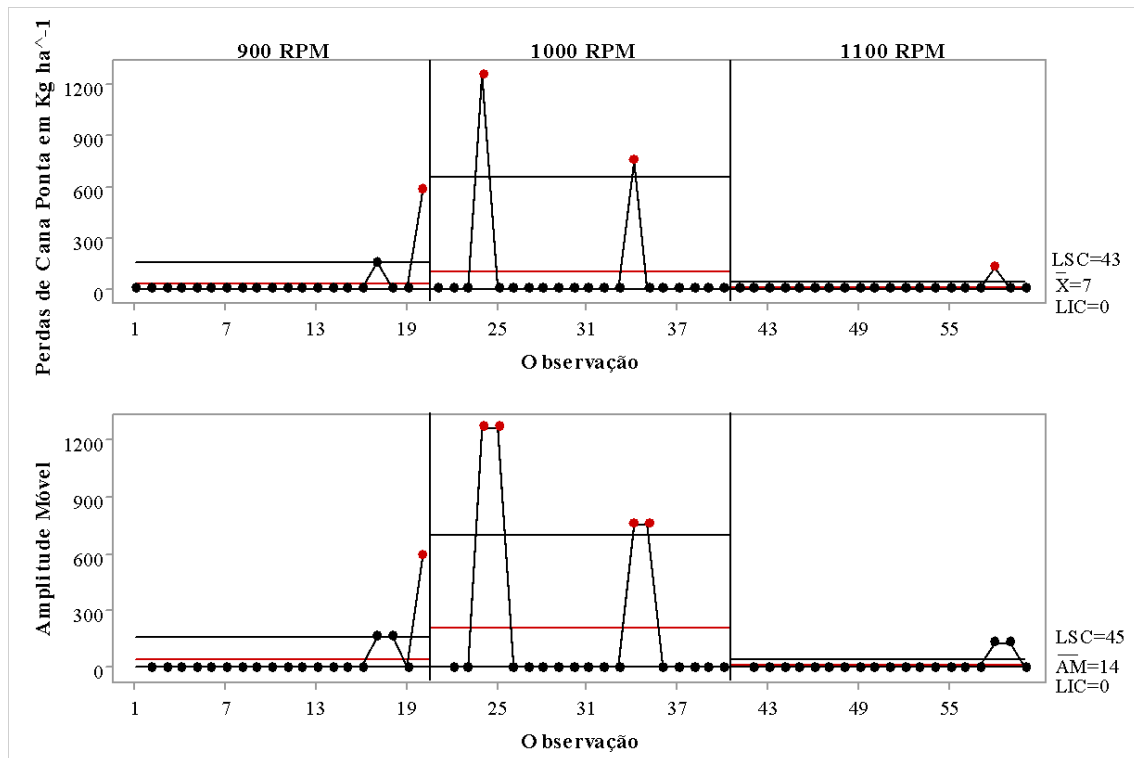
Fonte: Autores.

Perdas em cana ponta

Com relação a variável cana ponta (Figura 2), nas três rotações foram observados pontos fora de controle, porém no geral as perdas em cana ponta foram baixas. Belphman (2016) destacou que as perdas em cana ponta apresentaram baixa ou nula representatividade perante aos valores encontrados quando monitoradas. A amplitude móvel apresentou algumas variações, refletidas pelos pontos fora de controle, sendo o pior resultado na rotação de 1000 rpm, pois apontou dois pontos discrepantes e fora de controle. A rotação de 1100 rpm foi a que apresentou melhor eficiência, pois os pontos alocaram-se próximos à média, caracterizando menor variabilidade do processo nesta rotação, e apenas um ponto ficou fora dos limites de controle (Figura 2).

O cortador de ponteiros foi acionado e bem regulado durante o processo de colheita, resultando em perdas menores, visto que é recomendado realizar o desponte somente quando as plantas não ultrapassam o dispositivo, caso contrário as perdas em cana ponta podem ser maiores (Silva et al., 2008).

Figura 2 - Carta de controle para as perdas de cana ponta nas rotações de 900 rpm, 1000 rpm e 1100 rpm.

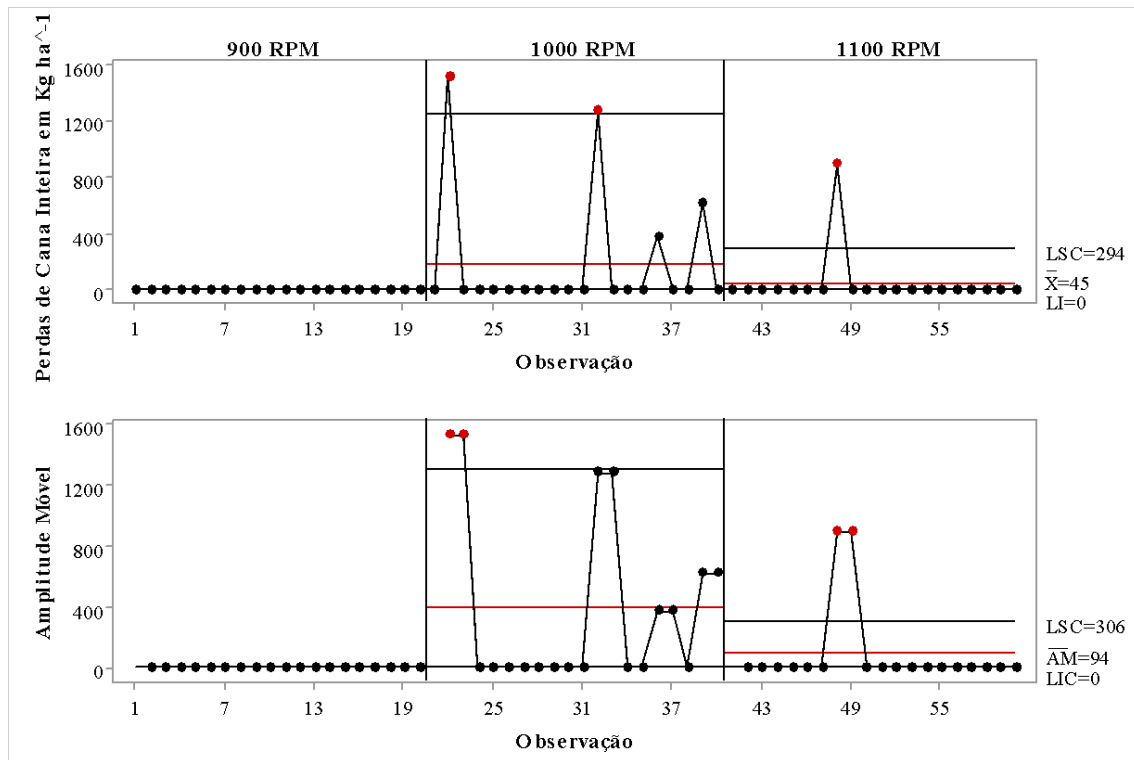


Fonte: Autores.

Perdas em cana inteira

As perdas em cana inteira (Figura 3) na menor rotação, de 900 rpm, foi a que obteve o melhor resultado, não registrando perdas nesta configuração e, conseqüentemente, apresentando estabilidade do processo. Já na rotação de 1000 rpm foram observados dois pontos fora do limite superior, representando maior instabilidade e maior perda no processo. Estas perdas em cana inteira estão relacionadas não somente à máquina, mas também aos fatores climáticos, como velocidade do vento e a topografia do terreno, a qual pode ser acentuada tornando mais difícil direcionar o colmo ao sistema de alimentação da colhedora e também ao porte do canavial, com a presença de colmos acamados, dificultando o processo de corte de base da colhedora (Ripoli; Ripoli, 2004). Essas informações corroboram com Segato; Daher (2011), onde observaram que uma rotação maior do extrator primário associado a uma velocidade de deslocamento de 3,6 km h⁻¹ proporciona maiores perdas de cana inteira. Na rotação de 1100 rpm, foi verificado um único ponto fora de controle, entretanto não interferiu nas perdas da maior rotação, pois os demais pontos mantiveram-se sob controle e próximos da média (Figura 3).

Figura 3 - Carta de controle para as perdas de cana inteira nas rotações de 900 rpm, 1000 rpm e 1100 rpm.



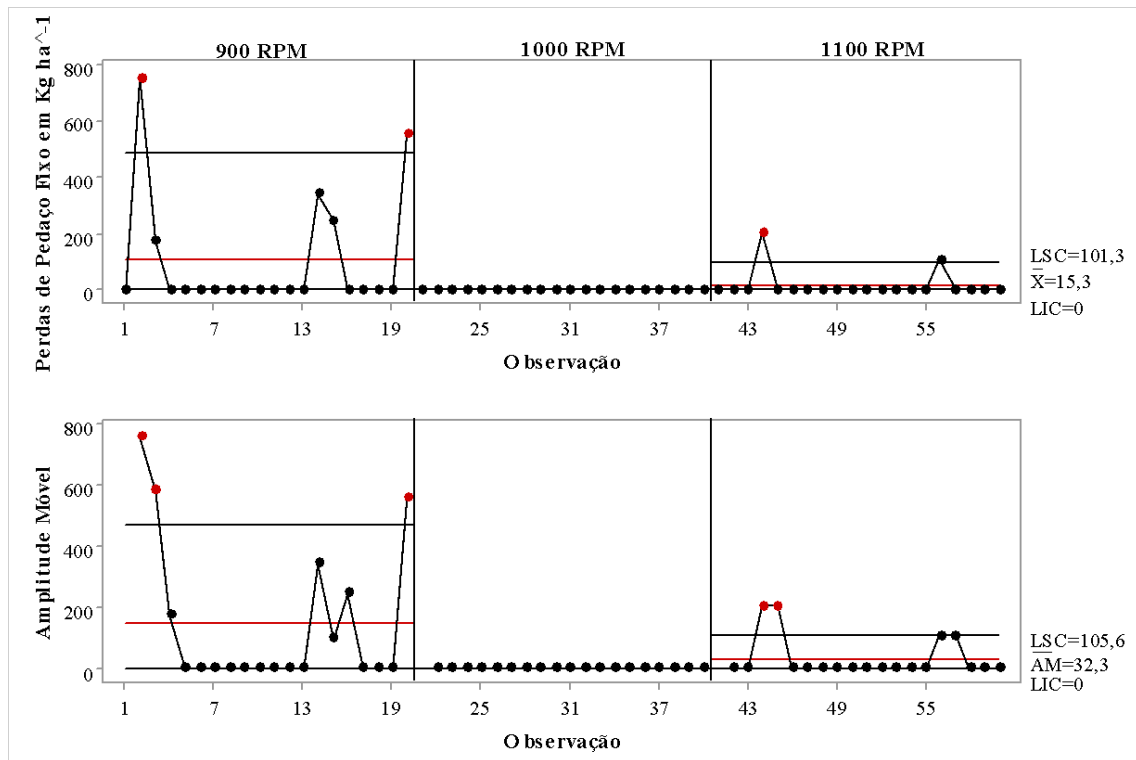
Fonte: Autores.

Perdas em pedaço fixo

Na análise dos dados referentes às perdas em pedaço fixo (Figura 4), observa-se variações fora do limite superior de controle nas rotações 900 e 1100 rpm. A maior variabilidade dos dados foi observada na menor e maior rotação, respectivamente. O oposto acontece na rotação intermediária (1000 rpm), a qual não registrou perdas em pedaço fixo. Porém, tais perdas não estão diretamente relacionadas à rotação do extrator primário, mas a possíveis problemas ou ausência no sistema de controle de altura de corte, presença de plantas daninhas ou até mesmo a quantidade de palhada na área, proveniente de cortes anteriores, o que pode atrapalhar a visão do operador.

Ao analisar a carta de controle para a rotação de 1000 rpm constata-se que não houveram perdas em pedaço fixo (Figura 4), o que indica que nesta rotação em conjunto a velocidade de deslocamento utilizada na operação foi adequada, para este indicador de perdas, o que está em consonância com o observado por Noronha et al. (2011).

Figura 4 - Carta de controle para as perdas de pedaço fixo nas rotações de 900 rpm, 1000 rpm e 1100 rpm.



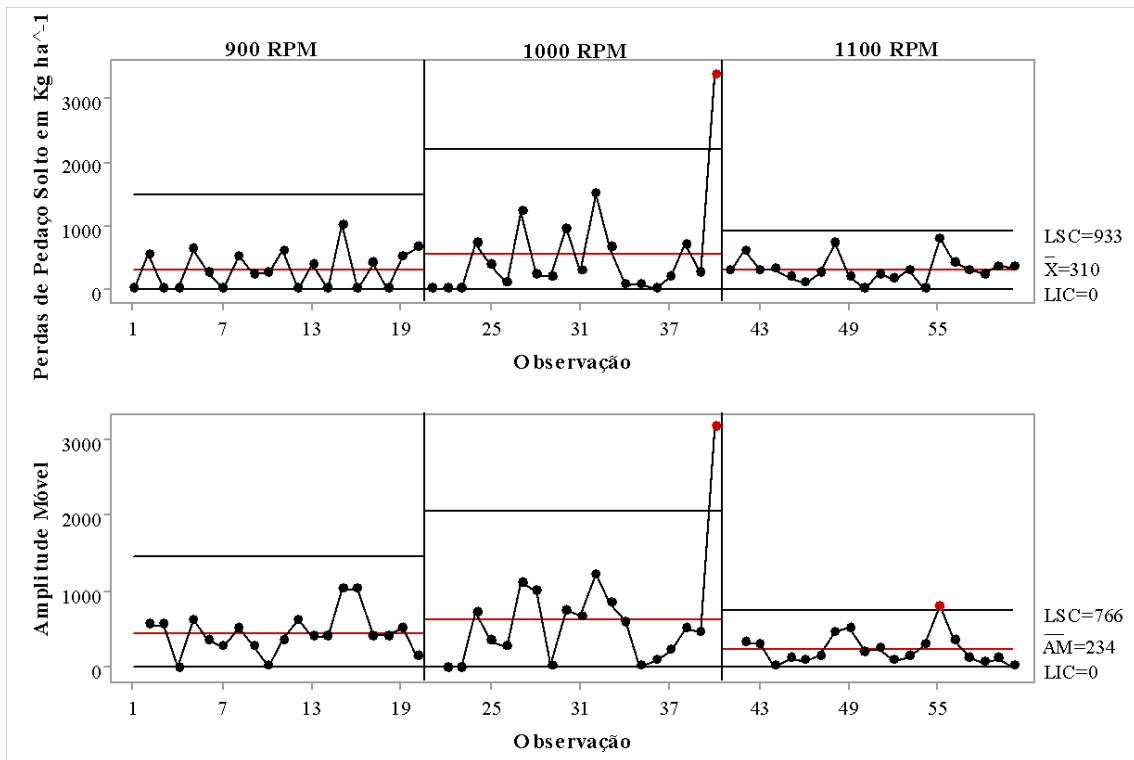
Fonte: Autores.

Perdas em pedaço solto

Perdas em pedaço solto (Figura 5) advêm do corte do picador de colmos, que em geral possui um tamanho maior, podendo apresentar até dois entrenós. Ao observar as cartas de controle para todas as rotações, constata-se a presença de apenas um ponto fora de controle observado para a rotação 1000 rpm, o qual pode ter relação direta com alguns fatores, tais como a falta de sincronia entre o operador da colhedora e o do trator transbordo, irregularidade no terreno, regulagem nos conjuntos de facas do sistema de corte.

Esta variável apresentou alta quantidade de perdas, corroborando com Silva et al. (2008), que também observou a mesma tendência para este tipo de perda. Entretanto, a carta de 1100 rpm demonstra melhor controle da operação, visto que não se observa nenhum ponto fora de controle e as médias menores ao considerar a carta de amplitude móvel, ou seja, o processo esteve sob controle (Figura 5).

Figura 5 - Carta de controle para as perdas de pedaço solto nas rotações de 900 rpm, 1000 rpm e 1100 rpm.

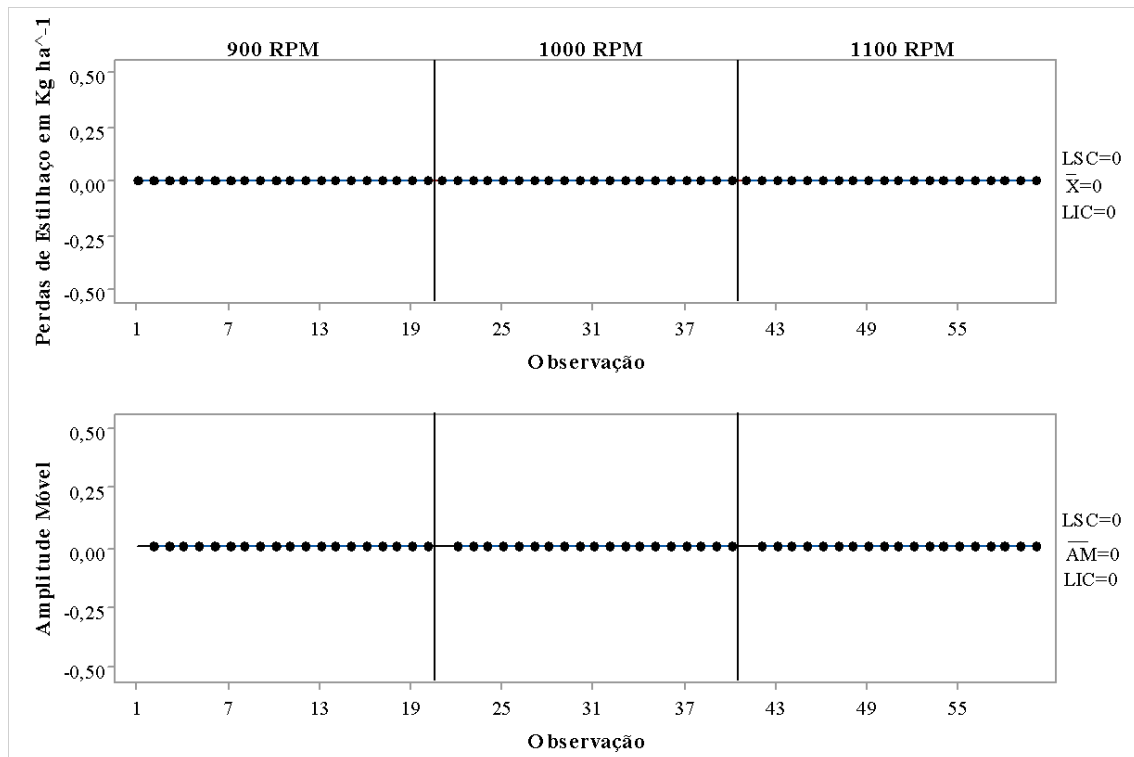


Fonte: Autores.

Perdas em estilhaço

Ao analisar as perdas em estilhaço nas cartas de controle (Figura 6) percebe-se a ausência desta perda nas três rotações observadas, o que demonstra que os picadores e a velocidade dos ventiladores de exaustão não dilaceraram fragmentos do colmo em tamanhos menores que os desejados, também observa-se padronização em todo período de colheita avaliado, deste modo as cartas de controle elaboradas para as três rotações se mostraram eficazes quanto ao controle deste indicador de perdas no processo. Essas informações se assemelham com os resultados de Neves et al. (2004) onde constatou-se que as perdas na forma de estilhaço geralmente ocorrem devido a influência de altas velocidades de deslocamento associado a altas rotações no extrator primário. No caso de baixas velocidades de deslocamento (4 km h^{-1}), perdas desse tipo muitas vezes não são um problema na colheita mecanizada (Figura 6).

Figura 6 - Carta de controle para as perdas de estilhaço nas rotações de 900 rpm, 1000 rpm e 1100 rpm.

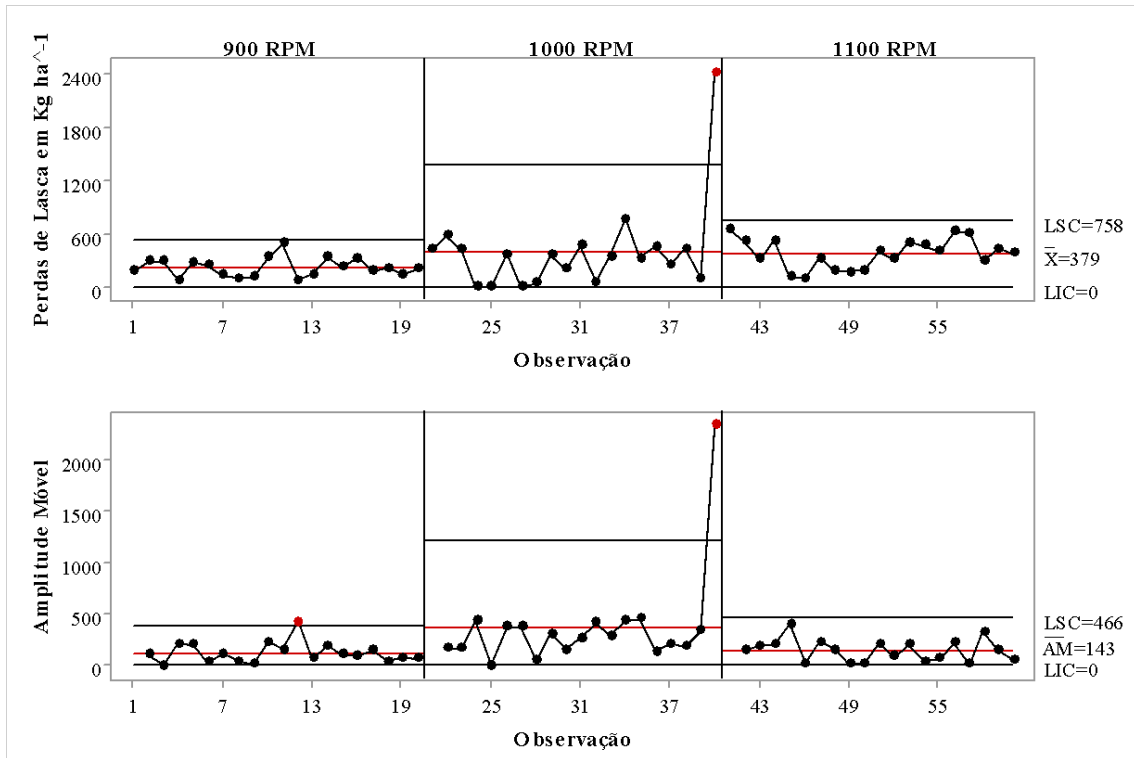


Fonte: Autores.

Perdas em lasca

As perdas em lasca (Figura 7) apresentaram-se sob controle nas rotações 900 e 1100 rpm. Apenas um ponto fora de controle foi constatado para a rotação de 1000 rpm, apesar disso tal variação também pode ser atribuída a algum fator externo. Deve-se ter em mente que perdas em lasca geralmente são produzidas por facas de corte mal afiadas, visto que, estas peças dilaceram o colmo, ao passo que o ideal seria efetivamente o corte (Meert et al. 2020). Ao observar as cartas de controle, é possível constatar que a operação de 900 rpm apresentou o melhor resultado, observou-se neste caso menor variabilidade entre os dados e nenhum ponto fora de controle. Deve-se considerar que as médias de perda na rotação de 900 rpm variaram pouco (Figura 7), o que demonstra um melhor controle do processo, tais variações nas rotações superiores, mesmo estando sob controle tendem a se elevar, o que tornam o processo suscetível a maiores perdas (Peloso et al. 2019).

Figura 7 - Carta de controle para as perdas de lasca nas rotações de 900 rpm, 1000 rpm e 1100 rpm.

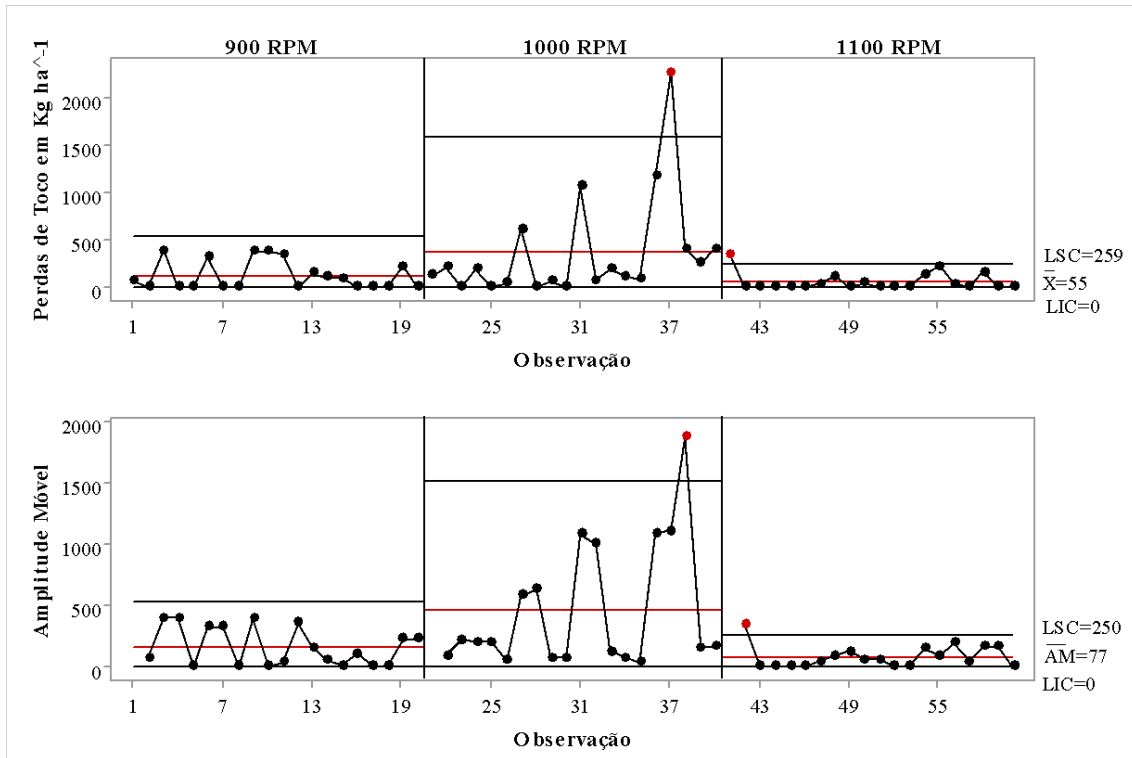


Fonte: Autores.

Perdas em toco

As perdas de toco (Figura 8) estiveram sob controle nas rotações de 900 e 1100 rpm. Por outro lado, na rotação intermediária (1000 rpm) com maior variabilidade e maior valor médio entre os dados foi encontrado um ponto fora de controle. De acordo com Voltarelli et al. (2013) quando um ponto fica distribuído fora dos LSC e LIC o processo encontra-se fora de controle, sendo estas, ocasionados por causas especiais como a velocidade de operação, regulagem incorreta da colhedora, experiência do operador e características da própria planta.

Figura 8 - Carta de controle para as perdas de toco nas rotações de 900 rpm, 1000 rpm e 1100 rpm.

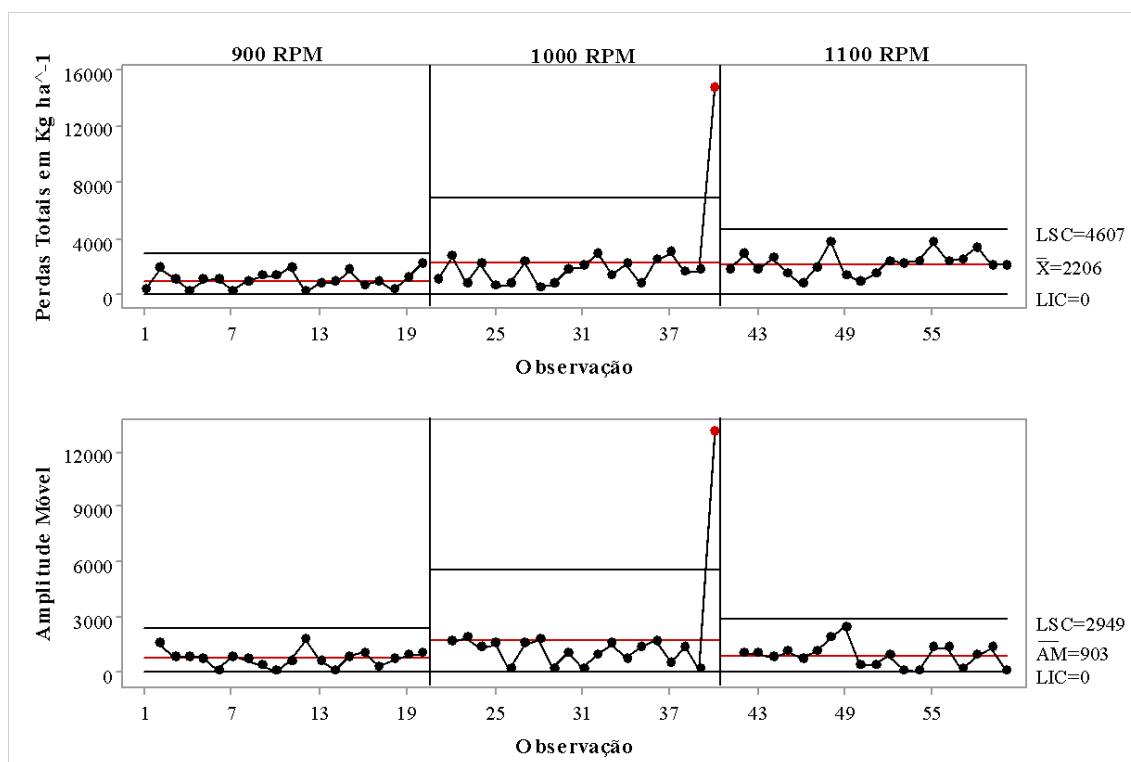


Fonte: Autores.

Perdas totais

Analisando as perdas totais (Figura 9), as rotações de 900 rpm e 1100 rpm mantiveram-se sob controle com uma menor variação dos dados na menor rotação, confirmada pela proximidade entre os limites de controle. Além do mais, por serem as perdas totais o somatório das perdas consideradas nesse trabalho, tal resultado se faz justificado, pois a maioria das perdas encontradas estavam dentro do controle para as respectivas rotações. No geral, as médias foram próximas com o menor valor médio observado na menor rotação, permitindo afirmar que o menor número de perdas totais foi na configuração de menor rotação do extrator primário, visto que por consequência da menor força de exaustão, menos fragmentos de cana-de-açúcar são jogados para fora da máquina. Portanto, as maiores perdas foram observadas na rotação intermediária de 1000 rpm, seguido da maior rotação 1100 rpm (Figura 9).

Figura 9 - Carta de controle para as perdas totais nas rotações de 900 rpm, 1000 rpm e 1100 rpm.



Fonte: Autores.

4. Conclusão

As cartas de controle de valores individuais apontaram ser adequadas para as avaliações da qualidade do processo na quantificação das perdas da colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

Nas condições do trabalho, causas especiais atuaram no processo de colheita tornando-o instável quanto às perdas. As maiores perdas totais foram observadas na rotação intermediária de 1000 rpm, seguido da maior rotação 1100 rpm.

Sugere-se para trabalhos futuros, estudos monitorando as perdas no processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar nos dois períodos de trabalho, diurno e noturno, bem como a determinação das perdas em máquinas de diferentes montadoras, baseando-se na logística de trabalho das máquinas dentro da propriedade.

Agradecimentos

Os autores deixam seus sinceros agradecimentos ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq) pelo apoio financeiro para a condução dessa pesquisa.

Referências

- Amorim F. R., Patino M. T. O., Marcomini G. R. (2018). Sustentabilidade da produção de cana-de-açúcar em usinas no estado de São Paulo. *Revista em Agronegócio e Meio Ambiente*. 11(4): 1133-1145.
- Antunes F. A. F., Chandel A. K., Brumano L. P., Terán Hilares R., Peres G. F. D., Ayabe L. E. S., Sorato V. S., Santos J. R., Santos J. C., Silva S. S. (2017). A Novel process intensification strategy for second-generation ethanol production from sugarcane bagasse in fluidized bed reactor. *Renewable Energy*. 1(1): 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.renene.2017.06.004/2017>.
- Apolinário G. A., Correa P. A., Cavalini F. C., Granato P. R. & Ferrari M. C. (2017). Perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar na usina vista alegre - Itapetininga (SP). *Revista Perspectiva em Educação, Gestão & Tecnologia*. 6(12): 1-7.
- Ascensão T. S. F. (2019). *Aplicação das ferramentas da qualidade na avaliação de desvios na indústria farmacêutica*. 60 f. Instituto de Tecnologia em Fármacos/Farmanguinhos, Fundação Oswaldo Cruz, Rio de Janeiro, RJ, 2019, p.23.

- Barbosa M. B., Vieira F. G. D. (2017). O papel estratégico do departamento de compras em uma organização cooperativa. *Caderno de administração*. 14 (1): 74-87.
- Belphman P. V. (2016). *Perdas visíveis na colheita mecanizada de cana-de-açúcar*. TCC (Graduação em Engenharia Agrícola e Ambiental) - Universidade Federal de Mato Grosso, Instituto de Ciências Agrárias e Ambientais. 32 f.: il. color.; 30 cm.
- Brinkman M. L. J., Cunha M. P., Heijnen S., Wicke B., Guilhoto J. J. M., Walter A., Faaij A. P. C., Hilst F. V. D. (2018). Interregional assessment of socio-economic effects of sugarcane ethanol production in Brazil. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. (88): 347-362. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2018.02.014/2018>.
- Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. (2017). *Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar*. Brasília: CONAB. 73 p. Safra 2017/18, 4(2), segundo levantamento.
- Companhia Nacional de Abastecimento – CONAB. (2022). *Acompanhamento da safra brasileira de cana-de-açúcar*. Brasília: CONAB. Safra 2022/23, primeiro levantamento.
- Lucietto D., Cosma M. A., Zandrea G., Cruz M. R. (2017). *4º Simpósio Científico FTSG*. Ferramentas da qualidade - Resumo.
- Martins M. B., Testa J. V. P., Drudi F. S., Sandi J., Lanças K. P. (2017). Perdas na colheita mecanizada de cana em função da velocidade de trabalho e rotação do extrator primário. *Científica*. 45(3): 218-222. DOI: <http://dx.doi.org/10.15361/1984-5529.2017v45n3p218-222>.
- Meert L., Aragão G. N., Genú A. M., Muller M. M. L., Espíndola J. S., Krenski A. (2020). Perdas quantitativas e qualitativas de cana-de-açúcar em função de métodos de colheita e cultivares. *Research, Society and Development*. 9(11).
- Minitab. Minitab Release 16: Meet Minitab 16. *Minitab Stat Guide*; Minitab Help. [S.l.]: Minitab., 2007.
- Montgomery D. C. (2009). Gráficos de controle para variáveis. In: Montgomery DC. *Introdução ao controle estatístico da qualidade*, Wiley, 6ª ed, p.226-268.
- Moraes E. R., Bernardes R. F. B., Domingues L. A. S., Lana R. M. Q. (2017). Productivity and agronomic characteristics of sugarcane under different tillage systems. *Scientific Electronic Archives*. 10(1): 75-99.
- Neves J. L., Magalhães P. S. G., Ota W. M. (2004). Sistema de monitoramento de perdas visíveis de cana-de-açúcar em colhedora de cana picada. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal. 24(3): 764-770.
- Noronha R. H. D. F., Silva R. P. D., Chioderoli C. A., Santos E. P. D., Cassia M. T. (2011). Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. *Bragantia*. 70 (4). 2011. DOI: <https://doi.org/10.1590/S0006-87052011000400028>.
- Paixão C. S. S., Voltarelli M. A., Silva R. P. D., Borba M. A. P., Torres L. S. (2020). Statistical process control applied to monitor losses in the mechanized sugarcane harvesting. *Engenharia Agrícola*. 40 (4): 473-480.
- Pelloso M. F., Lima A. A., Pellosso B. F., Silva A. P. (2019). Perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar em resposta a diferentes velocidades da colhedora e de rotação do extrator primário. *Colloquium Agrariae*. 15 (2): 114-120.
- Pimentel-Gomes F., Garcia C. H. (2002). *Estatística aplicada a experimentos agrônômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos*. Piracicaba, FEALQ, 309p.
- Reis G. N. *Perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua em função do desgaste das facas do corte de base*. Tese em Agronomia – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. 2009.
- Ripoli T. C. C., Ripoli M. L. C. (2004). *Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente*. Piracicaba: Ed. Barros & Marques. Editoração Eletrônica, 302p.
- Santos H. G., Jacomine P. K. T., Anjos L. H. C., Oliveira V. A., Lumberas J. F., Coelho M. R., Almeida J. A., Cunha T. J. F., Oliveira J. B. (2018). *Sistema brasileiro de classificação de solos*. – 5. ed. rev. e ampl. Brasília: Embrapa.
- Santos J. R., Miranda A. T. O., Cardoso D. D., Santos B. T., Amaro H. T. R., Porto E. M. V. (2019). Perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar em função da velocidade de trabalho da colhedora. *Pesquisa Agropecuária Pernambucana*. 24 (2): 1-5.
- Salles-filho S. L. M., Castro P. F. D., Bin A., Edquist C., Ferro A. F. P., Corder S. (2017). Perspectives for the Brazilian bioethanol sector: the innovation driver. *Energy Policy*. 108: 70-77.
- Segato S. V., Daher F. (2011). Perdas visíveis na colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua sob velocidades de deslocamento da colhedora. *Nucleus*. 8(1): p.315-36.
- Silva R. P., Corrêa C. F., Cortez J. W., Furlani C. E. A. (2008). Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal. 28(2): 292-304.
- Silva R. P., Voltarelli M. A., Cassia M. T. (2015). *Controle de Qualidade em Operações Agrícolas Mecanizadas*. SBEA, 242 p.: il.
- Toledo A., Silva R. P., Furlani C. E. A (2013). Quality of cut and basecutter blade configuration for the mechanized harvest of green sugarcane. *Scientia Agrícola*, Piracicaba. 70 (6): 384-389.
- Voltarelli M. A., Paixão C. S. S., Zerbato C., Silva R. P., Gazzola J. (2018). Failure mode and effect analysis (FMEA) in mechanized harvest of sugarcane billets. *Engenharia Agrícola*. 38(1): 88-96. DOI: <http://dx.doi.org/10.1590/1809-4430-Eng.Agric.v38n1p88-96/2018>
- Voltarelli M. A., Silva R. P., Rosalen D. L., Zerbato C., Cassia M. T. (2013). Quality of performance of the operation of sugarcane mechanized planting in day and night shifts. *Australian Journal of Crop Science*. 7(9): 1396-1406.