

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

Variabilidade de indicadores de qualidade na colheita mecanizada de sorgo

Kristhian Bender Jaeger

Jaboticabal – SP

2024

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRÁRIAS E VETERINÁRIAS
CÂMPUS DE JABOTICABAL

Variabilidade de indicadores de qualidade na colheita mecanizada de sorgo

Kristhian Bender Jaeger

Orientador: Rouverson Pereira da Silva

Trabalho apresentado à Faculdade de Ciências
Agrárias e Veterinárias - UNESP, Câmpus de
Jaboticabal, para graduação em ENGENHARIA
AGRONÔMICA.

Jaboticabal - SP
1º semestre/2024

J22v	Jaeger, Kristhian Variabilidade de indicadores de qualidade na colheita mecanizada de sorgo / Kristhian Jaeger. -- Jaboticabal, 2024 24 f. : tabs., fotos Trabalho de conclusão de curso (Bacharelado - Engenharia Agrônômica) - Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal Orientador: Rouverson Pereira da Silva 1. Estatística agrícola. 2. Índice de vegetação por diferença normalizada. 3. Perdas durante a colheita. I. Título.
------	--

Sistema de geração automática de fichas catalográficas da Unesp. Biblioteca da Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal. Dados fornecidos pelo autor(a).

Essa ficha não pode ser modificada.



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Câmpus Jaboticabal



KRISTHIAN BENDER JAEGER

VARIABILIDADE DE INDICADORES DE QUALIDADE NA COLHEITA MECANIZADA DE SORGO

Trabalho de Conclusão de Curso apresentada à Universidade Estadual Paulista (UNESP), Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Jaboticabal, para obtenção do título de Bacharel em Engenharia Agrônômica.

Orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva

Área de Concentração: Máquinas e Mecanização Agrícola.

Data da defesa: 21/06/2024

(X) Aprovado

() Reprovado

Banca Examinadora:

Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Documento assinado digitalmente



BRENO DOS SANTOS SILVA
Data: 12/07/2024 07:52:15-0300
Verifique em <https://validar36.gov.br>

Breno Santos Silva

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Documento assinado digitalmente



PEDRO HENRIQUE NOGUEIRA GUSMÃO
Data: 12/07/2024 09:22:33-0300
Verifique em <https://validar36.gov.br>

Pedro Henrique Nogueira Gusmão

UNESP – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Campus de Jaboticabal

Aprovado em reunião do Conselho do Departamento em:

12, 07, 2024

Prof. Dr. Luiz Fabiano Palaretti
Chefe do Departamento

**Dedico esse trabalho à minha família,
meu orientador, além de todos que
participaram ou contribuíram de alguma
forma.**

AGRADECIMENTOS

Agradeço a Universidade, ao Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola e ao meu orientador por tornarem esse trabalho possível.

Agradeço também meus amigos e familiares que me deram apoio incondicional durante todo o processo.

RESUMO

Apesar do avanço nas tecnologias utilizadas na agricultura, as perdas que ocorrem no processo de colheita mecanizada ainda são um tópico que requer atenção. Neste trabalho objetivou-se avaliar o efeito de três regulagens do índice de velocidade do molinete (IVm) da colhedora nas perdas na colheita mecanizada de sorgo, utilizando o controle estatístico de processo. O trabalho foi realizado em uma propriedade do município de Maracáí – SP, em setembro de 2023. Para contabilizar as perdas, foi utilizada uma armação de 1 m², que foi posicionada no solo após a colheita, nos pontos amostrais, transversalmente ao sentido de deslocamento da colhedora. Os dados foram analisados por meio do Controle Estatístico de Processos, utilizando como indicadores de qualidade altura de inserção da primeira panícula, altura de plantas, fluxo de alimentação, biomassa, perdas, produtividade e NDVI. O processo foi considerado estável para maioria das variáveis analisadas. Os indicadores de qualidade altura de inserção da primeira panícula, fluxo de alimentação, perdas e NDVI apresentaram maiores variabilidades para IVm = 0,93.

PALAVRAS-CHAVE: Estatística agrícola, Índice de vegetação por diferença normalizada, Perdas durante a colheita.

SUMMARY

Despite advances in agricultural technologies, losses occurring in the process of mechanized harvesting remain a topic that requires attention. This study aimed to evaluate the effect of three adjustments to the reel speed index (IVm) of the harvester on losses in the mechanized sorghum harvesting, using Statistical Process Control. The study was conducted on a farm in the municipality of Maracaí – SP, Brazil, in September 2023. To quantify the losses, a frame of 1 m² was used, which was positioned on the soil after harvesting, at sampling points, transversely to the direction of harvester displacement. The data were analyzed using Statistical Process Control, utilizing quality indicators such as insertion height of the first panicle, plant height, feeding flow, biomass, losses, yield, and NDVI. The process was considered stable for most of the variables analyzed. Quality indicators such as insertion height of the first panicle, feeding flow, losses, and NDVI showed greater variability for IVm = 0.93.

KEYWORDS: Agricultural statistics, Normalized Difference Vegetation Index, Harvesting losses.

1. INTRODUÇÃO

A realização de uma colheita de qualidade é essencial para garantir o máximo aproveitamento dos recursos investidos, aumentando o rendimento e diminuindo os desperdícios. Neste sentido, a mecanização é fundamental para garantir uma colheita eficiente e com produto de melhor qualidade. Os principais cereais produzidos no mundo, como o sorgo, por exemplo, podem ser colhidos de forma mecanizada, sendo que esta operação requer atenção especial para minimizar as perdas no processo de colheita.

O sorgo (*Sorghum bicolor* L. Moench) está entre os cereais mais plantados no mundo, destacando-se pela sua maior tolerância ao estresse hídrico quando comparado a outras culturas. Em termos mercadológicos, o cultivo de sorgo granífero em sucessão às culturas de verão, principalmente a soja, na chamada segunda safra tem contribuído para a oferta sustentável de grãos de baixo custo para a agroindústria de rações, e permitido o cultivo deste grão em épocas mais tardias, nas quais o volume de chuvas esperado não é suficiente para a cultura do milho (EMBRAPA, 2015). No Brasil, em 2022 foram cultivados 1,03 milhão de hectares com a cultura (EMBRAPA, 2022).

A realização da colheita mecanizada leva à ocorrência de perdas durante o processo, porém para a cultura do sorgo poucos são os trabalhos que abordam este tema. Lazzarotto et al. (2019), ao avaliarem as perdas de grãos de sorgo granífero na colheita mecanizada de sorgo, não encontram diferença para as perdas em velocidades de deslocamento da colhedora entre 3 e 9 km h⁻¹.

Diversos autores têm utilizado ferramentas do Controle Estatístico de Processos (CEP) para estudar a colheita mecanizada de algumas culturas, porém, não são encontrados trabalhos que envolvam o uso do CEP na colheita de sorgo. Menezes et al. (2018) avaliaram a qualidade da colheita mecanizada de soja com diferentes plataformas de corte e velocidades de deslocamento e constataram melhor qualidade no processo de colheita com a plataforma de esteira, com pouca influência da velocidade de deslocamento, além de que os níveis de perdas foram acima do limite aceitável, indicando necessidade de melhoria no processo. Lima et al. (2017), buscaram determinar e caracterizar as perdas quantitativas e as características operacionais de uma colhedora de fluxo axial em duas velocidades (5 e 7 km h^{-1}) e observaram que as características operacionais mantiveram-se estáveis para ambas as velocidades, já as perdas aumentaram com a maior velocidade, contudo mantiveram-se em níveis aceitáveis. Paixão et al. (2017) constaram que a qualidade física e fisiológica das sementes de soja, em três velocidades da colhedora ($4,5$; $5,0$ e $5,5 \text{ km h}^{-1}$), foi influenciada, conforme a alteração na velocidade, sendo a maior velocidade a que causou menos danos mecânicos e consequentemente sementes de soja com maior vigor.

Loureiro et al. (2014) realizaram um trabalho tendo por objetivo analisar a variabilidade e a viabilidade do uso de diferentes tamanhos de área amostral (1 , 2 e 3 m^2) na quantificação de perdas na colheita mecanizada de soja. Para isso os dados foram submetidos à análise estatística e ao Controle Estatístico de Processo, constatando que o tamanho da armação não interferiu na

quantificação e na variabilidade das perdas na colheita mecanizada de soja, podendo ser usada armação de 1 m².

Silva et al. (2013) realizaram um trabalho no qual objetivou-se avaliar a qualidade da operação da colheita mecanizada de feijão (*Phaseolus vulgaris*), cultivado sob preparo convencional e plantio direto. As variáveis analisadas foram: o nível de ruído emitido, desempenho operacional e a operação de colheita. Por fim, constataram que apenas o consumo horário e a produção de matéria seca de palhada apresentaram comportamento instável em relação ao controle estatístico de processo. Paixão et al. (2020) também utilizaram o CEP para monitorar perdas na colheita de cana-de-açúcar. Nesse trabalho as perdas foram divididas em pedaço solto + pedaço fixo, cana inteira, estilhaço e perdas totais. Por fim obtiveram que as maiores perdas são provenientes de pedaços solto + pedaço fixos.

O CEP tem sido bastante utilizado para avaliar o processo de colheita de varias culturas, porém, para a cultura do sorgo não são encontradas pesquisas sobre este tema. Diante disso, partindo da suposição que difentes regulagens da colhedora podem proporcionar alterações na qualidade da operação de colheita de sorgo, objetivou-se neste trabalho avaliar o efeito de três velocidades de deslocamento da colhedora nas perdas na colheita mecanizada de sorgo, utilizando o controle estatístico de processo.

2. MATERIAL E MÉTODOS

O trabalho foi realizado na Fazenda Jaeger localizada nas coordenadas geográficas correspondentes a 22°40,45"S e 50°49,22"O, com altitude de 423 metros, em Maracaí – São Paulo. O clima predominante segundo a classificação de Köppen é o cfa, subtropical úmido. O experimento foi realizado em um talhão de 15 hectares. Esta área anteriormente foi utilizada para cultivo de soja, e nos últimos dias do mês de março de 2023, foi semeado o sorgo granífero da Nussed, cultivar Nugreed 430, com espaçamento de semeadura de 0,5 m entre linhas e 12 plantas por metro, totalizando uma população de 240.000 plantas ha⁻¹.

Foram realizados tratos culturais para o controle de pragas e plantas daninhas com o uso de inseticidas e herbicidas químicos. Para a adubação, foi aplicado no sulco de plantio 200 kg ha⁻¹ de um fertilizante com formulação de nitrogênio, fósforo e potássio, correspondente a 13 13 08 (N-P-K).

A colheita da área experimental foi realizada no dia 1 de setembro de 2023 por uma colhedora da marca New Holland, modelo TC57 Hydro, ano 2007, com 125,8 kW (170 cv) de potência no motor, sistema de trilha tangencial, acoplada com uma plataforma para a colheita de cereais também da marca New Holland, com largura de corte de 5,80 m (19 pés). A colhedora foi mantida com as mesmas regulagens para todos os tratamentos, sendo elas 900 rpm no cilindro, 800 rpm no ventilador e o côncavo na posição 2, em uma escala de 1 a 14. A altura de corte média foi de 0,4 m.

O delineamento utilizado obedeceu às premissas do Controle Estatístico de Processos, com as amostras coletadas ao longo do tempo. Para cada

tratamento, foram coletadas 15 amostras, de cada variável, espaçadas entre si por 15 m.

Os tratamentos utilizados foram definidos por três velocidades de deslocamento da colhedora (3,0; 4,5 e 6,0 km h⁻¹), que corresponderam aos índices de velocidade do molinete (IVm) de 1,88; 1,25 e 0,93, respectivamente. O IVm é definido como sendo a razão entre a velocidade de deslocamento da colhedora e a velocidade do molinete, que foi mantida constante em 1,56 m s⁻¹.

Foram avaliadas a altura de inserção da primeira panícula, altura da planta, biomassa da parte aérea das plantas, produtividade, fluxo de alimentação da colhedora e as perdas na colheita. As alturas de inserção da primeira panícula (AIPP) e de planta (AP) foram aferidas com auxílio de uma trena, medindo-se em cada ponto amostral, do solo até a base da primeira panícula (AIPP) e do solo até o ponto mais alto da planta (AP).

Para determinação da biomassa da parte aérea utilizou-se uma armação de 0,5 m², dentro da qual foram coletadas, a partir de 40 cm do solo, todas as plantas encontradas. As amostras tiveram sua massa determinada em uma balança com precisão de 1 g. De cada uma das amostras foram retiradas todas as panículas, que foram debulhadas e pesadas para determinação da produtividade.

O fluxo de alimentação foi determinado a partir da largura da plataforma, velocidade e biomassa, de acordo com a equação 1.

$$\phi = \frac{L \cdot v \cdot BM}{10000} \quad (1)$$

na qual

ϕ - fluxo de alimentação kg s⁻¹;

L - largura da plataforma, m;

v - velocidade da colhedora m s^{-1} ;

BM – biomassa kg ha^{-1} .

E por fim, para a determinação das perdas na colheita foi utilizada uma armação com ripas de madeira e barbante de 0,17 m por 5,80 m, totalizando 1 m^2 . Essa armação foi posicionada no solo após a colheita, nos pontos amostrais, transversalmente ao sentido de deslocamento da colhedora e, dentro dessa armação foram coletados os grãos soltos e as panículas sobre o solo. Posteriormente as panículas foram debulhadas e os grãos coletados tiveram sua massa determinada para quantificar as perdas totais na colheita.

As imagens de satélite utilizadas foram obtidas a partir de dados de satélites da plataforma PlanetScope CubeSat, que são caracterizados como 3U CubeSats (10 x 10 x 30 cm) com massa de aproximadamente 4 kg. O PlanetScope é uma constelação de satélites que compreende diferentes tipos de satélites de alta resolução. O PlanetScope possui mais de 200 satélites em órbita solar, os quais possuem capacidade de coletar imagens diariamente em qualquer lugar do globo terrestre com resolução de 3-5 m. Os satélites da PlanetScope possuem quatro bandas espectrais, sendo três no visível, Azul-Blue (455-515 nm), Verde-Green (500-590), vermelho-Red (590-670 nm) e uma no infravermelho próximo-NIR (780-860 nm) (PLANET TEAM, 2023).

As imagens foram processadas no software QGIS 3.22.6 (Boston, MA, EUA) onde foi calculado o NDVI (Equação 2). Para isso, logo acima da passagem da colhedora (observado na própria imagem e com referencial)

foram extraídos 15 valores de NDVI, espaçados em aproximadamente 15 metros, para cada tratamento.

$$NDVI = \left(\frac{NIR - Red}{NIR + Red} \right) \quad (\text{ROUSE et al., 1974})$$

3. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Tabela 1 encontram-se os valores da estatística descritiva para todas as variáveis analisadas. Observa-se que a média e a mediana foram menores, para a maioria das variáveis, com exceção da biomassa e do fluxo de alimentação, no talhão que foi colhido com a velocidade de $4,5 \text{ km h}^{-1}$. É provável que neste talhão o solo possuía algumas limitações que impediram as plantas de se desenvolverem como nos demais, podendo ser elas, compactação ou deficiência de nutrientes. Quanto ao motivo de a biomassa e o fluxo não serem menores neste talhão, pode ser atribuído ao fato de a lavoura não ter sido dessecada, gerando uma desuniformidade no teor de água nas plantas, o que proporcionou as plantas do talhão mais baixo e menos produtivo, serem mais pesadas que as demais.

Nessa tabela também é possível observar que houve proximidade entre os valores de médias e medianas e que a maioria dos dados apresentou coeficientes de curtose e assimetria próximos de zero, sendo estes fatores indicadores de normalidade das distribuições, o que de fato ocorreu, exceto para a variável perdas, nas velocidades $4,5$ e $6,0 \text{ km h}^{-1}$. Para a variável perdas na colheita, o coeficiente de variação foi muito alto (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002), o que corrobora com os resultados de Toledo et al. (2008), para quem as pesquisas envolvendo perdas na colheita mecanizada apresentam elevados coeficientes de variação. Campos et al. (2005), também encontraram altos valores para o coeficiente de variação, que foram justificados pela alta variabilidade observada em vários estudos sobre perdas na colheita em condições de campo.

Tabela 1. Parâmetros da estatística descritiva das variáveis na colheita mecanizada de sorgo.

Parâmetro	Velocidade	AIPP*	AP**	Produtividade	BM***	Perdas	Fluxo
	(km h ⁻¹)	(cm)		(kg ha ⁻¹)	(kg ha ⁻¹)	(%)	(kg s ⁻¹)
Média	3,0	103,7	125,5	9101,0	15624,0	7,3	7,5
	4,5	96,0	114,6	7581,0	12824,0	4,4	6,2
	6,0	107,0	127,8	8241,0	11979,0	11,0	5,8
Mediana	3,0	103,3	125,7	8500,0	13960,0	6,9	6,7
	4,5	97,3	115,0	7660,0	12840,0	2,2	6,2
	6,0	106,7	127,3	8980	12460,0	7,6	6,0
s	3,0	3,9	4,4	2306,0	4203,0	69,5	26,9
	4,5	2,8	3,7	2001,0	2952,0	5,6	1,4
	6,0	4,8	5,1	1967,0	2691,0	10,7	1,3
Amplitude	3,0	13,7	15,3	7960,0	15180,0	16,3	7,3
	4,5	10,0	13,0	7720,0	11920,0	20,4	5,7
	6,0	21,7	22,7	6060,0	9160,0	39,7	4,4
CV (%)	3,0	3,8	3,5	25,3	26,9	69,5	26,9
	4,5	2,9	3,2	26,4	23,0	126,1	23,0
	6,0	4,5	4,0	23,9	22,5	97,1	22,5
Cs	3,0	0,07	0,04	0,59	0,58	0,72	0,58
	4,5	-0,28	-0,62	1,25	1,35	2,19	1,35
	6,0	1,04	0,97	-0,69	-0,42	1,80	-0,42
Ck	3,0	-0,51	-0,29	-0,27	-0,27	-0,44	-0,27
	4,5	-0,52	0,62	2,59	3,14	4,90	3,14
	6,0	3,23	2,95	-0,70	-0,74	3,35	-0,74
AD	3,0	0,218 ^N	0,158 ^N	0,382 ^N	0,460 ^N	0,461 ^N	0,460 ^N
	4,5	0,436 ^N	0,503 ^N	0,505 ^N	0,505 ^N	1,681 ^A	0,505 ^N
	6,0	0,663 ^N	0,421 ^N	0,518 ^N	0,330 ^N	1,122 ^A	0,330 ^N

* AIPP: Altura de inserção da primeira panícula; **AP: Altura de planta; ***BM: Biomassa; s: desvio-padrão; 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).

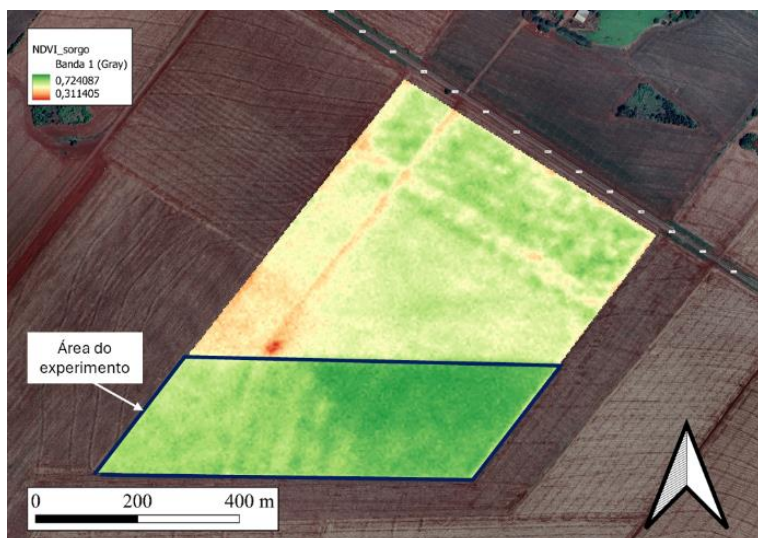


Figura 1. Mapa para visualização do NDVI na área de estudo.

O NDVI apresentou comportamento esperado na área do estudo (destacada na Figura 1), com variabilidade espacial muito pequena, embora, quando considerada todo o talhão esta variabilidade tenha sido maior. A homogeneidade espacial da vegetação na área do estudo pode ser associada à maturação da cultura, uma vez que a imagem corresponde ao fim do estágio vegetativo da planta, momento no qual as panículas estão iniciando a maturação.

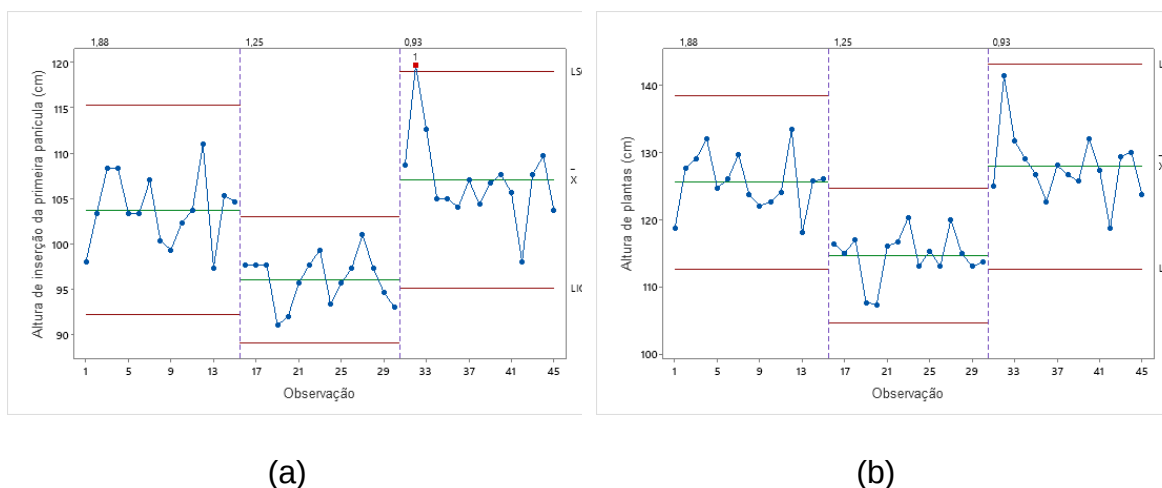


Figura 2. Cartas de controle individuais para: a) Altura de inserção da primeira panícula; b) Altura de plantas.

Analizando as cartas de controle para altura de inserção da primeira panícula (AIPP) e altura de plantas (AP) (Figura 2), constata-se que o processo manteve-se estável para todos os tratamentos analisados, exceto para o tratamento 3 ($v=6,0 \text{ km h}^{-1}$) na variável AIPP (Figura 2.a). As menores variabilidades foram encontradas no tratamento 2 ($v=4,5 \text{ km h}^{-1}$), tanto para AIPP quanto para AP, indicando que neste tratamento as plantas encontravam-se mais uniformes. Essa menor variabilidade na área onde se encontrava o tratamento 2 é decorrente de fatores não relacionados com a velocidade de deslocamento, tais como solo, desuniformidade na distribuição dos restos culturais, além disso a parcela com tratamento 2 tem as menores médias de AIPP e AP (96,1 cm e 114,6 cm, respectivamente).

Já nas parcelas cuja velocidade foi de $3,0 \text{ km h}^{-1}$, as médias de AIPP e AP foram de 103,7 cm e 125,5 cm, respectivamente, enquanto que na parcela do tratamento 3 ($v= 6,0 \text{ km h}^{-1}$) estas médias foram de 107,0 cm (AIPP) e 127,8

cm (AP). Nota-se que a altura média das plantas, em todas as parcelas, foi menor que aquela prevista no manual técnico da empresa fornecedora (1,50 m). Isso pode ser atribuído à sementeira tardia (abril) e a falta de chuvas durante o desenvolvimento da cultura.

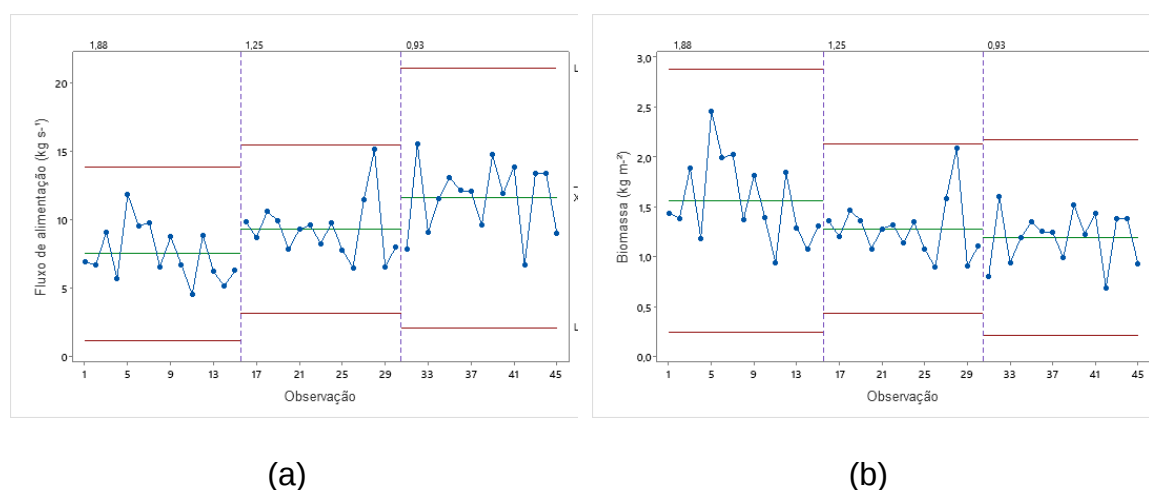


Figura 3. Cartas de controle individuais para: a) Fluxo de alimentação; b) Biomassa.

Nas cartas de controle para fluxo de alimentação e biomassa (Figura 3), constata-se que o processo manteve-se estável para todos os tratamentos utilizados. No fluxo de alimentação (Figura 3.a), nota-se que as médias foram aumentando conforme os tratamentos, o que já era esperado, pois, o fluxo de alimentação é diretamente proporcional à largura da plataforma, biomassa e velocidade, que aumentou de 3,0 para 6,0 km h⁻¹. Observando os valores de biomassa (Figura 3.b), constata-se que a biomassa diminuiu nos talhões nos quais foram utilizadas as maiores velocidades, entretanto, esta diminuição não foi suficiente para proporcionar a diminuição do fluxo de alimentação.

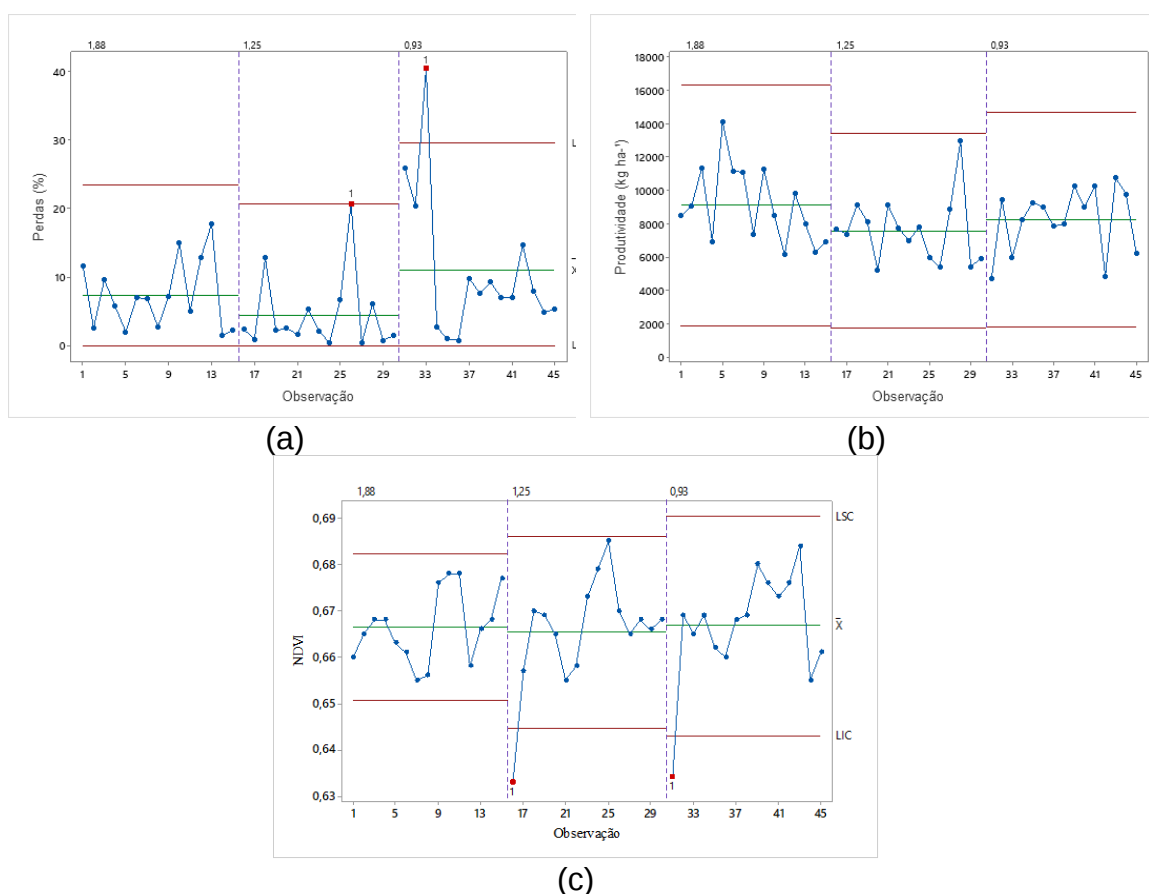


Figura 4. Cartas de controle individuais para: a) Perdas; b) Produtividade; c) NDVI.

Analisando a carta de controle sobre as perdas na colheita (%), constata-se que o processo manteve-se estável apenas para o tratamento 1 ($v = 3,0 \text{ km h}^{-1}$), enquanto nos tratamentos 2 ($v = 4,5 \text{ km h}^{-1}$) e 3 ($v = 6,0 \text{ km h}^{-1}$) as observações número 26 e 33 levaram à instabilidade do processo. Estes pontos, muito discrepantes em relação aos demais, em cada tratamento, representam a ocorrência de causas especiais nos processos, que neste caso podem ser atribuídas aos fatores mão de obra ou meio ambiente. Quanto ao fator mão de obra, pode ter ocorrido alteração na altura de corte nos dois pontos fora de controle, ocasionado a elevação do molinete e, conseqüentemente, elevando os valores das perdas. Já para o fator meio ambiente, a presença de javalis na área, provocando a formação de reboleiras

com plantas acamadas, o que eleva os índices de perdas na colheita. Zerbato et al. (2013), ao trabalharem com perdas na colheita de milho, também constataram instabilidade no processo para o indicador de qualidade perdas na colheita, e apontaram que as causas decorrem de regulação inadequada ou mau funcionamento da máquina, o que aumenta a quantidade de perdas totais.

Por fim, observando a carta para produtividade (Figura 4.b), nota-se que o processo manteve-se estável para todos os tratamentos, apesar de haver uma variação considerável na produtividade. Do tratamento 1 para o 2 a média da produtividade diminuiu 20,0%, e do 1 para 3, diminuiu 10,4%.

A carta de controle para os valores de NDVI demonstrou comportamento esperado, corroborando com o que foi verificado visualmente no mapa de NDVI para caracterização (Figura 4.c). Nos três tratamentos, observou-se média semelhante, embora com oscilações na amplitude. A homogeneidade espacial da vegetação pode ser associada à maturação da cultura, uma vez que a imagem corresponde ao fim do estágio vegetativo da planta.

4. CONCLUSÃO

O processo foi estável para a maioria dos indicadores de qualidade analisados, exceto para altura de inserção da primeira panícula ($IVm = 0,93$), perdas e NDVI ($IVm = 1,25$ e $0,93$). As maiores variabilidades para os indicadores de qualidade altura de inserção da primeira panícula, fluxo de alimentação, perdas e NDVI foram observadas no tratamento 3 ($IVm = 0,93$), e no tratamento 1 ($IVm = 1,88$) para altura de plantas, biomassa e produtividade.

LITERATURA CITADA

ANDRADE, T. G. et al. Soybean yield prediction using remote sensing in southwestern Piauí state, Brazil. *Revista Caatinga*, Mossoró, v. 35, p. 105-116, 2022.

CAMPOS, M. A. O. et al. Perdas na colheita mecanizada de soja no Estado de Minas Gerais. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 25, p. 207-213, 2005.

FILLA, V. A. et al. Model performance in estimating the yield of common bean cultivars. *Revista Ciência Agronômica*, Fortaleza, v. 54, 2022.

LAZZAROTTO, E. et al. Perdas quantitativas na colheita de sorgo granífero de segunda safra em função da velocidade da colhedora. *Enciclopédia Biosfera*, Goiânia, v. 16, n. 29, 2019.

LOUREIRO, J. A. M. et al. Influence of the sample area in the variability of losses in the mechanical harvesting of soybeans. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 34, p. 76-85, 2014.

MENEZES, C. B. Sorghum grain: extend your second crop with safety. In: Portal Embrapa. Disponível em: <http://www.embrapa.br/sorgo-granifero-estenda-sua-safrinha-com-seguranca>. Acesso em: 08 dez. 2023.

PAIXÃO, C. S. et al. Statistical process control applied to monitor losses in the mechanized sugarcane harvesting. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 40, p. 473-480, 2020.

TOLEDO, A. D. et al. Caracterização das perdas e distribuição de cobertura vegetal em colheita mecanizada de soja. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 28, p. 710-719, 2008.

VIANA, G. Sorghum production in Brazil rises by over 36% in just one harvest. In: Portal Embrapa. Disponível em: <http://www.embrapa.br/producao-de-sorgo-no-brasil-sobe-mais-de-36-em-apenas-uma-safra>. Acesso em: 08 dez. 2023.

ZERBATO, C. et al. Controle estatístico de processo aplicado à colheita mecanizada de milho. Revista Engenharia na Agricultura-REVENG, Jaboticabal, v. 21, n. 3, p. 261-270, 2013.