

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**TEMPOS, MOVIMENTOS E QUALIDADE DA OPERAÇÃO DE
COLHEITA MECANIZADA DE SOJA EM FUNÇÃO DO
FORMATO DOS TALHÕES**

Carla Segatto Strini Paixão

Engenheira Agrônoma

2015

**UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA - UNESP
CÂMPUS DE JABOTICABAL**

**TEMPOS, MOVIMENTOS E QUALIDADE DA OPERAÇÃO
DE COLHEITA MECANIZADA DE SOJA EM FUNÇÃO DO
FORMATO DOS TALHÕES**

Carla Segatto Strini Paixão

Orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva

Coorientador: Prof. Dr. Carlos Eduardo A. Furlani

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – Unesp, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Mestre em Agronomia (Ciência do Solo)

2015

Paixão, Carla Segatto Strini
P149t Tempos, movimentos e qualidade da operação de colheita
mecanizada de soja em função do formato dos talhões / Carla Segatto
Strini Paixão. -- Jaboticabal, 2015
xiv, 100 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2015
Orientador: Rouverson Pereira da Silva
Banca examinadora: Carlos Eduardo Angeli Furlani, Diego Augusto
Fiorese
Bibliografia

1. Colhedora de grãos. 2. Controle estatístico de processo. 3.
Desempenho de máquinas agrícolas. 4. MMEP. 5. *Glycine max* (L.)
Merrill I. Título. II. Jaboticabal-Faculdade de Ciências Agrárias e
Veterinárias.

CDU 631.3:633.34

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

CARLA SEGATTO STRINI PAIXÃO – nascida em Sertãozinho, São Paulo, no dia 16 de novembro de 1987, filho de Augusto Cesar Strini Paixão e Lydia Maria Segatto Strini Paixão. cursou o Ensino Fundamental e Médio no Colégio COC, em Ribeirão Preto, tendo finalizado o Ensino Médio no ano de 2005. Ingressou no Ensino Superior no ano de 2006 no curso de Agronomia, e recebeu o título de Engenheiro Agrônomo formado pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de Jaboticabal. Desenvolveu projetos de Iniciação Científica relacionado ao tema compostagem na agricultura e foi Bolsista de iniciação/empresa privada - FUNEP. No ano de 2013, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, no programa de Ciência do Solo, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de Jaboticabal, São Paulo, sendo bolsista CAPES, no Departamento de Engenharia Rural, desenvolvendo suas pesquisas e fazendo parte do LAMMA - Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola, com ênfase e experiência na área de Engenharia Agrícola, atuando nas áreas de máquinas e mecanização agrícola, controle de qualidade nas operações agrícolas mecanizadas. Em janeiro de 2015 submeteu-se à banca examinadora para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

"Tudo o que um sonho precisa para ser realizado é alguém que acredite que ele possa ser realizado"

Roberto Shinyashiki

Aos meus pais, Augusto Cesar Strini Paixão e Lydia Maria Segatto Strini Paixão por acreditarem pela luta, amor, carinho e dedicação ao longo de toda minha vida, tanto pessoal como profissional e também por sempre acreditarem em meus sonhos e muita vezes abrindo mãos de seus, para que os meus se realizassem.

Amo vocês...

DEDICO

À minha avó Lydia Segatto
À todos os meus familiares e amigos

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a DEUS, por me iluminar e dar proteção durante toda a minha vida, por tudo que nela já conquistei e ainda irei conquistar, e pela fé que move nossas vidas sempre em busca de novos horizontes, enfrentando novos desafios em busca da paz.

Aos meus queridos pais, Augusto e Lydia, por me proporcionarem uma educação de qualidade, pelo amor, companheirismo e união, essenciais na formação do meu caráter e também da minha vida profissional.

Aos meus irmãos Augusto e Nádia pelo amor, carinho, companheirismo e apoio, fundamental em minha vida.

À Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal, em especial ao Programa de Pós-Graduação em Agronomia (Ciência do Solo) e ao Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão de bolsa.

Ao amigo e orientador, Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, por acreditar no meu potencial e pela dedicação nas informações transmitidas e no suporte necessário para elaboração deste trabalho.

Aos pesquisadores, Prof. Dr. Carlos Eduardo Furlani e Prof. Dr. Diego Fiorese, por participar da banca examinadora bem como pelas colocações e sugestões para o aprimoramento deste trabalho.

Ao meu namorado Murilo Aparecido Voltarelli pela dedicação, carinho, paciência, companheirismo e incentivo.

Aos funcionários da fazenda São Sebastião por toda ajuda e paciência durante o experimento.

Aos amigos integrantes do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA) que ajudaram sempre que foi necessário – Marcelo Cassia, Felipe Satinato, Tiago Tavares, Elizabeth Kazama, Antonio Tassio Ormond, Cristiano Zerbato e Franciele Carneiro pela amizade, convivência e auxílio nas atividades.

SUMÁRIO

Assunto	Pág.
LISTA DE TABELAS	viii
LISTA DE FIGURAS	x
RESUMO	xiii
ABSTRACT	xiv
I INTRODUÇÃO	1
II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	3
1 Colheita mecanizada de soja	3
2 Desempenho operacional	5
3 Eficiência operacional	6
4 Controle estatístico de qualidade (CEQ).....	8
4.1 Usos de gráficos sequenciais (Run chart).....	10
4.2 Usos das cartas de controle de Shewhart.....	11
4.3 Cartas de controle da média móvel exponencialmente ponderada.....	13
4.4 Análise da capacidade ou capacidade do processo.....	15
4.5 Aplicações do CEQ na agricultura	17
III MATERIAL E METÓDOS	24
1 Área experimental	24
1.1 Histórico da área, preparo do solo e semeadura	25
1.2 Clima e solo	25
1.3 Variedade.....	26
2 Equipamentos utilizados	27
3 Análise do desempenho da colhedora	29
3.1 Análise dos tempos, movimentos e eficiência da operação	29
3.2 Desempenho operacional da colhedora.....	34
3.3 Determinação das perdas na colheita	34
4 Análises estatísticas.....	35
4.1 Delineamento experimental.....	35
4.2 Análise descritiva	36
4.3 Análise de variância	36

4.4 Controle estatístico de qualidade (CEQ).....	37
4.4.1 Padrões de aleatoriedade (Run Charts).....	37
4.4.2 Cartas de controle para valores individuais e de amplitude móvel.....	38
4.4.3 Análise da capacidade do processo.....	40
4.4.3.1 Limites específicos de controle.....	41
4.4.3.2 Índices de capacidade do processo.....	42
IV RESULTADOS E DISCUSSÃO	45
1 Desempenho operacional da colheita mecanizada de soja.....	45
1.1 Análise de tempos, movimentos e eficiência da colheita mecanizada.....	45
2 Análise da estatística descritiva e de variância.....	52
2.1 Desempenho da colhedora de soja.....	52
2.2 Parâmetros da colheita mecanizada de soja.....	54
3 Controle estatístico de qualidade.....	56
3.1 Desempenho da colhedora de soja.....	56
3.1.1 Valores padrões de aleatoriedade (Run Charts).....	56
3.1.2 Cartas de controle da média móvel exponencialmente ponderada.....	58
3.1.3 Análise da capacidade do desempenho da colhedora de soja.....	63
3.2 Parâmetros da colheita mecanizada de soja.....	68
3.2.1 Valores padrões de aleatoriedade (<i>Run Charts</i>).....	68
3.2.2 Cartas de controle da média móvel exponencialmente ponderada.....	70
3.2.3 Análise da capacidade da qualidade da operação de colheita.....	77
V CONCLUSÕES	82
VI REFERÊNCIAS	83

LISTA DE TABELAS

TABELA	Página
TABELA 1. Análise granulométrica para a caracterização da classe textural do solo.	25
TABELA 2. Análise química do solo para a semeadura mecanizada da soja.	26
TABELA 3. Características da variedade de soja utilizada na área experimental. ...	26
TABELA 4. Divisão das atividades na colheita de soja	29
TABELA 5. Índices de tolerância para a capacidade do processo.	40
TABELA 6. Limites específicos de controle utilizados na operação de colheita mecanizada de soja.....	41
TABELA 7. Análise dos tempos, movimentos e eficiência da colheita mecanizada de soja em diferentes talhões.....	45
TABELA 8. Estatística descritiva para as variáveis do desempenho da colhedora durante a colheita mecanizada de soja em três formatos de talhões: irregular, retangular e trapezoidal.....	52
TABELA 9. Estatística descritiva para as variáveis avaliadas durante a colheita mecanizada de soja em três formatos de talhões: irregular, retangular e trapezoidal.....	55
TABELA 10. Valores padrões de probabilidade dos gráficos sequenciais para os indicadores de qualidade do desempenho da colhedora de soja.	57
TABELA 11. Valores padrões de probabilidade dos gráficos sequenciais para os indicadores de qualidade durante a colheita mecanizada de soja.....	69

LISTA DE FIGURAS

FIGURA	Página
FIGURA 1. Mapa da área experimental.....	24
FIGURA 2. Colhedora de soja Massey Ferguson 5650 Advanced.....	27
FIGURA 3 Medidor de temperatura e teor de água dos grãos de soja.	28
FIGURA 4 Esquema de amostragem de perdas na colheita mecanizada de soja	35
FIGURA 5. Eficiência de tempo do talhão irregular nas operações agrícolas e manutenção durante colheita mecanizada de soja.....	47
FIGURA 6. Eficiência de tempo do talhão retangular nas operações agrícolas e manutenção durante colheita mecanizada de soja.....	49
FIGURA 7. Eficiência de tempo do talhão trapezoidal nas operações agrícolas e manutenção durante colheita mecanizada de soja.....	51
FIGURA 8. Cartas de controle para a velocidade da colhedora durante a colheita mecanizada da soja em diferentes formatos de talhão. LSC: Limite superior de controle; LIC: Limite inferior de controle. x: M dia vel exponencialmente ponderada dos valores amostrais.....	59
FIGURA 9. Cartas de controle para a rotação do cilindro da colhedora durante a colheita mecanizada de soja para diferentes formatos de talhões. LSC: Limite superior de controle; LIC: Limite inferior de controle. x: M dia vel exponencialmente ponderada dos valores amostrais.....	60
FIGURA 10. Cartas de controle para a rotação do motor da colhedora durante a colheita mecanizada de soja em diferentes formatos de talhões. LSC: Limite	

superior de controle; LIC: Limite inferior de controle. \bar{x} : Média móvel exponencialmente ponderada dos valores amostrais.....	61
FIGURA 11. Cartas de controle para a abertura do concâvo da colhedora durante a colheita mecanizada de soja em diferentes formatos de talhões. (LSC: Limite superior de controle; LIC: Limite inferior de controle \bar{x} : Média móvel exponencialmente ponderada dos valores amostrais.....	62
FIGURA 12. Análise da capacidade do processo para velocidade de trabalho da colhedora no talhão irregular (A) durante a colheita mecanizada de soja. ...	64
FIGURA 13. Análise da capacidade do processo para a velocidade da colhedora no talhão retangular durante a colheita mecanizada de soja.....	65
FIGURA 14. Análise da capacidade do processo para a velocidade da colhedora no talhão trapezoidal durante a colheita mecanizada de soja.	66
FIGURA 15 Análise da capacidade do processo para a rotação do cilindro da colhedora no talhão trapezoidal durante a colheita mecanizada de soja.....	67
FIGURA 16. Cartas de controle para o teor de água dos grãos de soja durante a colheita mecanizada. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{x} : Média móvel exponencial mente ponderada dos valores amostrais.....	70
FIGURA 17. Cartas de controle para a temperatura dos grãos de soja durante a colheita mecanizada. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{x} : Média móvel exponencial ente ponderada dos valores amostrais.....	72

- FIGURA 18.** Cartas de controle para perdas na plataforma da colhedora durante a colheita mecanizada de soja. x : M dia vel exponencial ente ponderada dos valores amostrais.....73
- FIGURA 19.** Cartas de controle para perdas dos mecanismos internos da colhedora durante a colheita mecanizada de soja. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. x : M dia vel exponencial ente ponderada dos valores amostrais.....74
- FIGURA 20.** Cartas de controle para perdas totais dos grãos de soja durante a colheita mecanizada. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. x : M dia vel exponencial ente ponderada dos valores amostrais.....75
- FIGURA 21.** Cartas de controle para perdas totais em relação à produtividade (%) da colhedora durante a colheita mecanizada de soja. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. x : M dia vel exponencial ente ponderada dos valores amostrais.....76
- FIGURA 22.** Análise da capacidade do processo para o teor de água dos grãos (%) para o talhão irregular durante a colheita mecanizada de soja.78
- FIGURA 23.** Análise da capacidade do processo para as perdas totais (kg^{-1}) para o talhão irregular durante a colheita mecanizada de soja.....79
- FIGURA 24.** Análise da capacidade do processo para as perdas da plataforma (kg ha^{-1}) para o talhão irregular durante a colheita mecanizada de soja.80

TEMPOS, MOVIMENTOS E QUALIDADE DA OPERAÇÃO DE COLHEITA MECANIZADA DE SOJA EM FUNÇÃO DO FORMATO DOS TALHÕES

RESUMO – Informações a cerca da capacidade da operação, eficiência de colheita e desempenho da colhedora são de grande importância no gerenciamento de sistemas mecanizados agrícolas, auxiliando nas decisões a serem tomadas pela administração visando a sua otimização. Neste sentido objetivou-se neste trabalho avaliar os tempos, movimentos e a qualidade da operação da colheita mecanizada de soja em diferentes formatos de talhões, utilizando-se como indicadores de qualidade parâmetros de desempenho operacional da colhedora e variáveis representativas dos aspectos agronômicos da cultura, por meio de ferramentas de controle estatístico de processo. A colheita mecanizada foi realizada na fazenda localizada no município de Uberaba, MG e o delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, sendo realizadas 18, 28 e 24 repetições para os talhões irregular, retangular e trapezoidal, respectivamente. Os tratamentos foram estabelecidos a partir dos formatos dos talhões. Monitoraram-se as atividades da colhedora (colheita, descarga, manutenção e paradas climáticas). As variáveis e/ou indicadores de qualidade avaliados para o desempenho da colhedora foram: velocidade de deslocamento, rotação do motor, rotação do cilindro e abertura do côncavo. Na determinação das perdas foram utilizadas armações circulares confeccionadas com aros de 0,33 m², que juntos totalizam a área de aproximadamente 1,00 m². As perdas determinadas foram perdas na plataforma, perdas dos mecanismos internos, perdas totais e perdas em relação à produtividade. A eficiência gerencial (Eg) e o tempo de manobra (Tm) apresentam os melhores resultados para o talhão trapezoidal e para o talhão retangular, respectivamente. O desempenho da colhedora é considerado capaz de atingir os limites específicos estabelecidos, para os indicadores de qualidade velocidade e rotação do cilindro, ambos para o talhão trapezoidal. Os parâmetros do processo da colheita mecanizada de soja apresentam-se incapazes de atingir os limites específicos e a meta estabelecida, para os três talhões avaliados, a curto e em longo prazo.

PALAVRAS-CHAVE: Colhedora de grãos, Controle estatístico de processo, Desempenho de máquinas, MMEP, *Glycine max* (L.) Merrill.

TIMES, MOVEMENTS AND QUALITY OF SOYBEAN CROP MECHANICAL OPERATION IN FORMAT FUNCTION OF PLOTS

ABSTRACT – The harvesting operation is considered the most expensive method and the major determinants in the production and soybean profitability, and information about the capacity of the operation, harvest efficiency and performance of the harvester are of great importance in the management of agricultural mechanized systems, assisting in the decisions to be taken by the administration in order to optimization. In this sense we aimed in this study to evaluate the times, movements and the quality of mechanical soybean harvesting operation on different sizes of plots, using as indicators of quality operating performance parameters of the harvester and representative variables of agronomic aspects of culture, by means of statistical process control tools. Mechanized harvesting was carried out at the farm located in Uberaba, Minas Gerais and the experimental design was completely randomized, being held 18, 28 and 24 repetitions for irregular plots, rectangular and trapezoidal, respectively. The treatments were established from the stands formats. Were monitored the activities of the harvester (harvest, unloading, handling and climate charts). The variables and / or indicators of assessed quality for combine harvester performance were: forward speed, engine speed, cylinder speed and concave opening. In determining losses circular frames were used made with 0.33 m² hoops, which together total area of approximately 1.00 m². The losses were determined header losses, losses of internal mechanisms, total losses and losses in relation to productivity. The format of the blocks affects the time efficiency and combine movements and the quality of mechanical soybean harvesting operation. The parameters of soybean mechanical harvesting process are presented for the three plots unable evaluated the short- and long-term.

KEY WORDS: Combine beans, Haverster machine performance, Statistical quality control, EWMA, *Glycine max* (L.) Merrill.

I INTRODUÇÃO

Dentro do agronegócio mundial, a produção de soja está entre as atividades econômicas que, nas últimas décadas, apresentaram crescimentos mais expressivos. No cenário agrícola brasileiro, a soja representa um valor significativo para o PIB nacional, gerando ao país benefícios como o aumento de renda, de emprego e de áreas produtivas. Segundo a CONAB (2014), na safra 2013/14 a área cultivada de soja atingiu cerca de 27,7 milhões de hectares, com o incremento de 10,7% em relação à 2012/13, registrando assim um novo recorde na área semeada com a oleaginosa, com a produção total da ordem de 81,9 milhões de toneladas.

A colheita é uma das atividades mais importantes na agricultura devido ao seu alto valor agregado, compreendendo operações custosas do processo produtivo e de alta demanda energética. Sua boa execução contribui para o retorno dos investimentos realizados em todo o ciclo produtivo de uma cultura. Para a soja, representa o momento da avaliação da safra quanto aos aspectos produtivos e qualitativos. Neste contexto a sua mecanização irreversível e desempenha função fundamental para alcançar um produto final de qualidade.

O sucesso na colheita mecanizada depende de vários fatores como: nível do solo, formato e comprimento dos talhões, características varietais, qualidade da operação e treinamento do pessoal. Estes fatores, aliados à minimização das perdas na colheita formam o grupo das principais ações que afetam a produtividade. Desta forma, torna-se necessário o conhecimento de práticas culturais aplicáveis e compatíveis com as produções visando o retorno financeiro.

As operações agrícolas, principalmente a colheita, devem ser executadas no prazo agronômico em tempo recoberto e com o planejamento adequado. Por isso as informações de desempenho e capacidade operacional das colhedoras são de grande importância no gerenciamento de sistemas mecanizados agrícolas, auxiliando nas decisões a serem tomadas pela administração visando a sua otimização e menores perdas de grãos.

Com a tentativa de minimizar as perdas decorrentes da colheita mecanizada, o uso das ferramentas do controle estatístico de qualidade é indispensável para o

monitoramento do processo, detecção de eventuais ações de causas especiais e, por fim, para criar um plano de melhorias para eliminar a influência de ações extrínsecas ao processo, que, conseqüentemente, aumentará a qualidade das operações, por meio da redução da variabilidade decorrente das mesmas.

As técnicas de controle estatístico de qualidade aplicadas às operações agrícolas mecanizadas ainda são recentes e estão em processo de expansão. O aprimoramento e aplicação das ferramentas da qualidade na agricultura deve também produzir resultados promissores, se os resultados das análises forem executados com eficácia, visto que a maioria das operações agrícolas ligadas ao cultivo da soja realizada sem controle total de qualidade.

Considerando tais fatos, partindo do pressuposto que o desempenho da operação de colheita mecanizada da soja possa ser influenciado pelo formato dos talhões e que a cultura foi inicialmente plantada, objetivou-se neste trabalho avaliar os tempos, custos e a qualidade da operação da colheita mecanizada de soja em diferentes formatos de talhões, utilizando-se como indicadores de qualidade parâmetros de desempenho operacional da colhedora e variáveis representativas dos aspectos agrônômicos da cultura, por meio de ferramentas de controle estatístico de processo e de outras análises estatísticas.

II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

1 Colheita mecanizada de soja

Com o aumento das populações e a necessidade de se produzir mais alimentos, com um número cada vez menor de pessoas empregadas na agricultura, as operações agrícolas começaram a ser mecanizadas (Klaver et al , 2012), e a grande variedade de máquinas agrícolas disponíveis hoje, para realizar estas operações permite ao agricultor uma escolha adequada para atender a sua demanda. Porém, as características de cada modelo variam e podem interferir no desenvolvimento da cultura, interferindo negativamente ou positivamente desde o sementeira até a colheita.

A cultura da soja é de grande importância no cenário agrícola brasileiro e tanto a produtividade quanto a área cultivada vêm aumentando a cada safra, exigindo cada vez mais rapidez e qualidade na colheita. Porém perdas consideráveis são contabilizadas na colheita mecanizada, etapa fundamental no processo produtivo das grandes culturas (Compagnon et al , 2012).

No Brasil, a cultura de soja se caracteriza pelo uso intenso da mecanização durante a operação de colheita, pois devido às incertezas climáticas podem ocorrer atrasos que prejudiquem a colheita dos grãos para que as perdas sejam mantidas dentro de padrões aceitáveis (Chioderoli et al , 2012).

Segundo Bottega et al (2014), a colheita mecanizada é considerada a etapa mais complexa do ciclo de produção de uma cultura. A sincronia dos mecanismos internos, regulagens e a velocidade de trabalho são fatores que influenciam diretamente na

Holtz et al (2013) mostra que as perdas que ocorrem durante a colheita mecanizada de cereais implicam grandes prejuízos para agricultores e para o país. Na colheita da soja, boa parte das perdas poderia ser evitada. Apesar da alta tecnologia disponível para colheita de soja no Brasil, podem ocorrer perdas durante este processo, diminuindo a produtividade e o lucro dos produtores com Magalhães et al. (2009), as regulagens das colhedoras podem afetar o nível de perdas ocorridas durante a colheita da soja.

Assim sendo, informações sobre a operação de colheita podem indicar ações capazes de reduzir o seu custo e conseqüentemente aumentar a rentabilidade das lavouras. O correto planejamento, mais especificamente por meio de um adequado

dimensionamento da colhedora evita sua subutilização. Porém, para efetuar esse dimensionamento de forma adequada, é necessário conhecer informações sobre as eficiências dessa operação, segundo as condições em que as colhedoras irão operar (Araldi et al , 2013).

A colheita mecanizada pode se influenciada por inúmeros fatores principalmente por elementos ligados à cultura, ou seja, inerentes à colheita, como escolha de cultivares adequados para a região, deiscência das vagens, época da semeadura e os tratos culturais, entre outros, estes são fatores, que aliados a minimização das perdas na colheita formam o grupo dos principais fatores que afetam à produtividade (HEIFFIG 2002).

O estande é fator determinante para o arranjo das plantas no ambiente de produção, influenciando o crescimento das plantas de soja. Portanto, o ajuste do melhor estande deve proporcionar maior produtividade agrícola. A altura de planta e de inserção da primeira vagem, adequadas à colheita mecanizada, são fatores que podem afetar o fluxo de material colhido (PEREIRA JÚNIOR et al., 2010).

Tendo em vista a enorme gama de variáveis que interferem no nível de perdas na colheita mecanizada de soja, diversos autores propuseram discussões sobre o assunto e sobre essas variáveis envolvidas. Segundo Campos et al. (2005), a idade e a propriedade (alugadas ou próprias) das colhedoras têm influência direta nas perdas, pois em áreas onde a colheita foi terceirizada o nível de perdas foi superior ao das propriedades que utilizam maquinário próprio.

A altura de corte da plataforma da colhedora, a velocidade do molinete, a rotação do cilindro trilhador, a abertura entre cilindro e côncavo, e a velocidade de deslocamento estão entre os principais fatores que interferem nas perdas da colheita mecanizada de soja. Em relação aos fatores ligados às perdas de grãos não oriundos do processo de colheita mecanizada, podem-se citar a deiscência das vagens, a semeadura inadequada, a escolha errada do cultivar, a ocorrência de plantas daninhas e o mau desenvolvimento da cultura (FERREIRA et al., 2007). As más regulagens da colhedora ocorrem, na maioria das vezes, pela falta de operadores capacitados para tal função, como constatado por Silva et al (1998).

Ainda com relação aos fatores relacionados às máquinas, Cunha et al. (2009) afirmam que as colhedoras com sistema de trilha axial, em que o material entra no

sentido do eixo do rotor, apresentam a possibilidade de redução dos índices de danos mecânicos em relação às colhedoras com sistema de trilha tangencial.

Por outro lado, quando ocorre a necessidade de se extrair da máquina sua capacidade operacional máxima, o operador de imediato imprime maior velocidade de deslocamento, esquecendo-se que isso pode acarretar em problemas que pode aumentar o nível de perdas, como a abertura do côncavo (FERREIRA et al., 2007).

2 Desempenho operacional

Define-se desempenho operacional das máquinas agrícolas como um complexo conjunto de informações que determinam seus atributos ao executarem operações sob determinadas condições de trabalho. Essas informações podem ter características: operacionais, relativas à qualidade e a quantidade de trabalho; dinâmicas; relativas à potência requerida e à velocidade de trabalho; e de manejo, relativas às regulagens, aos reparos às manutenções das máquinas. As avaliações das características operacionais, no caso de colhedoras, tratores e implementos agrícolas, são feitas pela capacidade de campo, a qual é estimada pela área trabalhada em uma unidade de tempo. A capacidade de campo pode ser teórica, efetiva ou operacional. (MIALHE, 1974)

Considera-se importante que o desempenho das colhedoras seja otimizado por se tratar de máquinas com elevado custo operacionais. Dessa forma, um método preciso de calcular o desempenho das colhedoras auxilia os usuários a selecionar corretamente a sua capacidade, bem como o equipamento requerido para o transporte da cultura (MOLIN, 2006).

As máquinas agrícolas são projetadas para realizar atividades na íntegra ou parcialmente, estas possuem estruturas básicas, órgãos ativos que permitem realizar operações agrícolas. Rodrigues et al. (2011) estudando a capacidade operacional de um conjunto mecanizado identificaram que o preparo do solo e a velocidade da operação de semeadura influenciam o desempenho operacional da cultura do sorgo forrageiro.

Pacheco (2000) afirma que com o aumento da mecanização agrícola, é cada vez mais necessário o desenvolvimento de novas tecnologias, exigindo cada vez mais

equipamentos com maior potência para atender as diversas atividades agrícolas. Com isso, é necessário um maior gerenciamento sobre a rentabilidade do negócio.

De acordo com Silveira et al. (2006), a capacidade de trabalho ou de campo das máquinas agrícolas é função dos seguintes fatores: largura de trabalho da máquina, velocidade de deslocamento, porcentagem de tempo parado ou não operado devido ao tempo gasto no deslocamento para a área a ser trabalhada, em manobras e com outras atividades que podem surgir durante o processo

Segundo Strickland et al. (2001), no passado, os estudos de desempenho de máquinas a campo eram realizados utilizando-se de cronômetros, pranchetas e mecanismos de gravação, que consumiam muito tempo e necessitavam de uma pessoa ou uma equipe de campo para apontamentos. O advento dos monitores de colheita para fins de obtenção de mapas de produtividade tornou a coleta de dados para essa operação mais simples, utilizando um receptor de GPS ("Global Positioning System") conectado a um computador instalado na cabine da colhedora e sensores que medem o fluxo e a umidade dos grãos colhidos, definindo a produtividade na área de forma georreferenciada.

O desempenho operacional das máquinas também pode ser muito influenciado pelo operador através das horas de alimentação (lanches e água), descanso e higiene pessoal, o tempo de experiência e o estado de ansiedade do trabalhador, obstáculos presentes no percurso das máquinas, velocidade de deslocamento da máquina e paradas técnicas para manutenção e reparos.(Linhares et al , 2012).

3 Eficiência operacional

Atualmente, há uma necessidade de aumentar a eficiência em todos os setores da economia para a manutenção da competitividade, especialmente no setor agrícola. A otimização do projeto, adequação de maquinário, práticas de irrigação, desenvolvimento de sistemas de informação geográfica e de posicionamento global e muitas outras técnicas estão proporcionando à agricultura ganhos crescentes, permitindo aumento da produção com redução de áreas cultivadas (Klaver et al , 2012).

Estudos feitos por Linhares et al (2012) mostram que o planejamento operacional das atividades tem por objetivo estabelecer alternativas que propiciem o cumprimento das metas de produção que são determinadas pelo planejamento global, por meio do

conhecimento da eficiência e do desempenho operacional das máquinas e equipamentos utilizados na colheita. A eficiência de um sistema de colheita depende, basicamente, do ambiente onde o mesmo é trabalhado, e os principais fatores a serem considerados são o clima, o terreno, a espécie vegetal, a infraestrutura, o nível de desenvolvimento, a tradição do sistema utilizado.

Eficiência de campo é um importante critério para verificar a capacidade de campo e para tomar importantes decisões sobre o gerenciamento das máquinas (Grisso et al., 2004). Segundo a norma ASAE D497.6 (2009), eficiência de campo é a relação entre a capacidade de campo efetiva de uma máquina pela sua capacidade de campo teórica. Esta eficiência está relacionada com o não aproveitamento da largura total de trabalho da máquina, com os hábitos do operador, tempo de manobras e características da área. De acordo com Hunt et al (2001), a eficiência de tempo é o resultado da relação entre o tempo que a máquina efetivamente trabalhou na operação de campo e o tempo que ela utilizou para realizar a operação.

Nos estudos feitos por Molin et al (2006) constataram que a eficiência de campo indica o quão eficiente é o sistema no que diz respeito à influência dos tempos de manobra e descarregamento. A eficiência gerencial indica a influência dos tempos parados sobre a operação. A eficiência global indica o quanto do tempo total de campo disponível realmente está sendo utilizado para a colheita.

Segundo Araldi et al (2013), eliminando-se os tempos de descargas e de imprevistos, pode-se aumentar aproximadamente 13,4% a eficiência de campo e as variáveis com maior correlação com a redução das eficiências foram tempo de deslocamento e velocidade de deslocamento, para eficiência de campo, e tempo de descarga, para eficiência de tempo.

Em contrapartida, Santos et al. (2014) destacou que o aumento da eficiência de campo diminui o custo de produção do sistema de colheita mecanizada de cana de açúcar e eleva a renda líquida e para se alcançar altas eficiências se fazem necessários grandes investimentos gerenciais para os meios de execução e tempos operacionais.

4 Controle estatístico de qualidade (CEQ)

O controle estatístico de qualidade (CEQ) ou também podendo ser denominado de controle estatístico de processo (CEP), é amplamente utilizado na área industrial para monitorar, avaliar e, se necessário, melhorar o desempenho da produção levando em consideração a confecção de itens conformes e não conformes em determinadas linhas ou processo produtivos.

Segundo Western Electric (1956) o controle estatístico de qualidade seria uma forma de estudo das características quanti-qualitativas de um processo, com o auxílio de números, tendo base matemática, de maneira a fazê-lo comportar-se da forma desejada atendendo aos limites de especificações estipulado, bem como manter a produção de itens conforme o mais longo período de tempo possível.

De acordo com Montgomery (1997; 2009) a utilização deste tipo de análise torna-se fundamental para verificar o monitoramento e redução da variabilidade dos processos produtivos, aumentando assim, a qualidade dos itens de produção final. Montgomery (2004) afirma que a redução da variabilidade é uma quantificação inversamente proporcional ao aumento da qualidade das operações ou processos a serem desempenhados.

Atrelado ainda a questão da variabilidade decorrente dos processos, quando utilizamos o controle estatístico para minimizar as mesmas, tem-se: a variabilidade de causas comum ou aleatórias sendo inerentes ao processo e as causas especiais ou não-comuns que podem e devem ser diagnosticadas a fim de que a qualidade da operação se mantenha nos padrões desejados. Por fim, quando o processo é considerado sob controle estatístico, significa que há somente variação de causas comuns às quais são dificilmente eliminadas (Ramos, 2003; Veit, 2003), porém, a correta análise e interpretação do conjunto de dados são essenciais para futuras tomadas de decisões.

Conforme descreve Cortivo (2005) o uso dos gráficos de Shewart pode ser utilizado em situações que não se atende à aplicação das cartas de controle convencionais. Porém, a forma de interpretar as informações deve ser modificada e tratada de maneira coerente ao determinado processo avaliado, a fim de que as mesmas ao invés de serem somente descritivas possam ter finalidade ativa para a tomada de decisão.

Hessler (2008) utilizando as técnicas do controle estatístico para verificar o comportamento de seus itens de produção de uma empresa, relata que, o uso do CEP é um fator determinante para apresentar resultados com a finalidade de reduzir o número de defeitos nos seus produtos finais. O autor ainda aborda que para sucesso da implantação do CEP no comportamento organizacional e comportamental de qualquer empresa, os gerenciadores e o treinamento dos funcionários são fundamentais para a melhoria da qualidade e produtividade.

A manutenção e a melhoria da qualidade são determinantes para o sucesso de qualquer sistema produtivo, principalmente, no que se refere às operações mecanizadas que sofrem elevados índices de variabilidade devido a condições de fatores não controláveis. Um processo pode ser definido como qualquer combinação mão-de-obra, matéria-prima, métodos, medição, máquinas e ambiente, que colaboram e interagem de certa forma para atingir a qualidade de determinado produto ou serviço (SAMOHYL e ALVES, 2005). Desta forma, de acordo com Souza (2003), pode-se afirmar que a variação ou a dispersão, denominada variabilidade, encontram-se presentes em todos os processos produtivos de bens ou serviços, podendo ser quantificadas por atributos ou variáveis.

Souza (2003) descreve que variabilidades poderão ser pequenas, mas elas sempre existirão independentemente do tamanho e forma do produto ou serviço. Com a evolução tecnológica, estas variações, muitas vezes, são muito pequenas, exigindo métodos e equipamentos apropriados para medições, avaliações e controle.

Associando o parágrafo anterior às operações agrícolas mecanizadas, nem sempre ocorre tal diminuta variação. Portanto, quando se pensa em operações que são afetadas por praticamente todos os fatores (máquina, meio ambiente, matéria prima, medição, método e mão-de-obra) a interpretação dos resultados tem que ser plausível com cada variável ou indicador de qualidade coletado, pois, caso contrário o diagnóstico precipitado sobre o desempenho ou produtividade final da operação pode refletir nos custos de produção.

Segundo Alves (2003), várias técnicas estatísticas podem ser utilizadas para descrever e interpretar a variabilidade de um processo, e o emprego destas, pode contribuir para a redução da variabilidade. Entretanto, BONILLA (1995) afirma que a análise descritiva pode ser fundamentada em medidas de tendência central (média

aritmética, mediana e moda), medidas de dispersão (amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação) medidas de assimetria e de curtose e técnicas ou gráficos como histogramas e diagramas de caixa (*box-plots*), dentre outros, bem como a interpretação dos fatores e suas correlações em uma análise de variância, que também se relacionam a variabilidade do processo. Neste contexto, quando estas análises são associadas ao controle estatístico de processo a visão e a magnitude bem como o comportamento do processo ao longo do tempo pode ficar claramente evidenciada, criando-se então, potenciais facilidades para identificar momentos críticos que afetam a qualidade do processo.

Por fim, as operações agrícolas quando executadas fora dos padrões de qualidade estabelecidos podem influenciar na continuidade do processo. O controle da qualidade deve ser feito por meio de um conjunto de procedimentos, que promovam serviços e resultados, atendendo às exigências das máquinas e dos processos (PECHE FILHO, 1994).

4.1 Usos de gráficos sequenciais (Run chart)

A utilização dos gráficos sequenciais é uma ferramenta importante para acompanhar a continuidade do processo ao longo do tempo, por meio das detecções de padrões de não-aleatoriedade bem como alterações no comportamento dos mesmos. Por outro lado, também é uma maneira de verificar a variabilidade dos resultados (MINITAB, 2007), podendo o processo permanecer ou não previsível e, caso seja necessário, mudanças ou alterações no decorrer do processo devem ser realizadas para sua melhoria.

Esta ferramenta que, segundo Werkema (2006) é um gráfico de dados ao longo do tempo, utilizado para verificação do processo, permite identificar a presença de causas especiais de variação e também inferir na redução da variabilidade. De acordo com National Health Service - NHS Scotland (2013), este tipo de gráfico é uma sequência ordenada de dados, com um eixo horizontal centralizado. Um gráfico sequencial permite o monitoramento do processo e a identificação do tipo de variação a que o mesmo está submetido ao longo do mesmo. O eixo central pode representar à

média ou a mediana, sendo a média mais usada na maioria dos casos, exceto para dados discretos.

Segundo Wisconsin Hospital Association - WHA Quality Center (2013) estes gráficos sequenciais também são usados para identificar possíveis *outliers* entre os dados observados, podendo esta análise ser útil para a resolução de problemas e para a comparação com um padrão de processo ou exigência.

A utilização dos gráficos sequenciais pode ser realizada em diversas fases do processo, bem como para qualquer tipo de operação que seu uso não seja limitado. Neste contexto, esta análise pode ser verificada em linhas de produção de peças industriais, controle de qualidade laboratorial, detecção de níveis anabolizantes em atletas, redes neurais em computadores, operações agrícolas, dentre outras. Ressalta-se se ainda, que a utilizações de padrões sequenciais empregados para determinados processos são importantes para não incorrer em interpretações incertas, ou seja, é necessário quantificar a sequência de pontos a ser condizente para cada padrão associando-os a cada variável em estudo. Exemplos da utilização de *run charts* podem ser encontrados nos trabalhos de Perla, Provost e Murray (2011), Cheng e Cheng (2009), Hill e Schvaneveldt (2011), Yang e Yang (2005), Ranaee e Ebrahimzadeh (2011), Ebrahimzadeh, Addeh e Rahmani (2012), Guh (2008), Cassia (2012).

Às vezes, as avaliações realizadas na coleta contínua de dados de um determinado processo, construção de gráficos de controle, análise de gráficos sequenciais e tabelas, dentre outros, acabam não sendo efetivamente utilizados para a melhoria e controle do processo pela falta de capacidade de interpretação destes resultados. Nesta fase, é importante a capacitação dos operadores e gerenciadores da operação, já que o ideal é que eles mesmos façam, corretamente, essa interpretação e tornem realidade seus planos de melhorias (SOUZA, 2003). Como afirma Batista (1996), é preciso ter sempre em mente, que sem conhecimento e sem aplicação do conhecimento, não há evolução e melhoria em qualquer atividade que se deseje trabalhar com níveis de qualidade exigidos.

4.2 Usos das cartas de controle de Shewhart

Segundo Montgomery (2000), Shewhart (precursor dos gráficos de controle) publicou os fundamentos do Controle Estatístico de Processos (CEP), por meio da elaboração de cartas de controle que apresentavam limites dentro dos quais poderiam ocorrer variações aleatórias. Desta forma, pontos que se apresentassem fora destes limites, inferior e superior, indicariam a possibilidade de existência de causas especiais, interferindo no processo de produção tornando-o não previsível ou fora de controle, casos os pontos permanecessem dentro dos limites o processo é considerado estável.

De acordo com Hessler, Camargo e Dorion (2009) um processo produtivo bem planejado e monitorado cuidadosamente, sempre existirá a variação natural, decorrente de causas comuns (aleatórias), constatando-se a estabilidade do mesmo.

Montgomery (2004) relata que é possível interpretar as cartas de controle estatístico de um processo, da seguinte maneira: considerando-o “sob controle estatístico” ou “fora de controle estatístico”, cujas definições pode ser dadas da seguinte maneira:

- Processo sob controle estatístico ou estável: ocorre a existência somente de variabilidade natural do processo, ou seja, que se encontra sob a ação apenas das chamadas causas aleatórias, tanto para as cartas de valores individuais como para a de amplitude móvel.

- Processo fora de controle estatístico ou instável: ocorre a existência de causas especiais de variação, levando o processo à instabilidade, uma vez que seu comportamento se torna imprevisível ao padrão esperado.

A constatação que um processo está ou não sob controle, varia potencialmente em função da probabilidade utilizada em associação com o desvio padrão da referente amostra. Em virtude da diferença de rigorosidade do teste que estes desvios padrão proporcionam, podem ocorrer alarmes falsos, ou seja, indicando a instabilidade do processo quando somente há a existência de causas comuns (ZANINE, 2006), neste caso sendo caracterizado o erro tipo I, e quando é determinada a estabilidade do processo, quando, de fato, o mesmo encontra-se instável incorremos ao erro tipo II (MONTGOMERY, 2004).

Portanto, para se escolher a definição de qual rigorosidade dos testes utilizar, deve-se ter em mente a grandeza da mudança a ser diagnosticada pelos gráficos de controle, a rapidez que se deseja realizar tal mudança e a forma de como

monitoramento do processo, sempre levando em consideração os custos pertinentes a tais investimentos na melhoria do mesmo.

Diante do exposto, Hessler, Camargo e Dorion (2009) afirmam que um dos principais objetivos do controle estatístico de processo é o monitoramento contínuo, a detecção e a eliminação de toda ou quase todas as fontes de variação e, por fim, a melhoria do processo com um todo, mantendo-o estável.

4.3 Cartas de controle da média móvel exponencialmente ponderada

Os modelos de cartas de controle em que se utiliza a média móvel exponencialmente ponderada (MMEP), também denominada de gráficos de controle avançados, são aprimoramentos dos gráficos de Shewhart desenvolvidos para situações específicas, na qual se deseja minimizar simultaneamente a ocorrência de pontos fora dos limites de controle (alarmes falsos) e alarmes não visíveis (SAMOHYL, 2009), em virtude de sua maior rigorosidade de análise.

Este gráfico foi introduzido por Roberts (1959) sendo uma boa alternativa ao gráfico de controle de Shewhart, para detectar pequenas variações na distribuição dos indicadores de qualidade ao longo do tempo e, fornecer uma estimativa do novo nível do processo. O uso da MMEP para monitorar as perdas na colheita de cana-de-açúcar, na qual possuem elevada variabilidade, pode vir a ser viável, sendo que seu valor calculado acumula informações sucessivas ponderando as amostras e atribuindo maior peso para as observações mais recentes e peso menor para as mais remotas, isto é, o peso dado às amostras decresce geometricamente da primeira até a última amostra. Neste contexto, esse gráfico é considerado uma ferramenta estatística de fácil implementação (MASTRANGELO; MONTGOMERY, 1995).

A escolha dos parâmetros λ (fator de rigidez de análise) e L (último do desvio padrão) para o procedimento de planejamento ótimo de um gráfico MMEP consiste na seleção adequada desta combinação (λ, L) capaz de fornecer seu melhor desempenho. Quando $L = 3$ (os limites 3σ usuais, das cartas de Shewart) funciona razoavelmente bem, particularmente com valores maiores de λ . No entanto, quando

λ pequeno, por exemplo, $\lambda = 0,1$ existe uma vantagem de reduzir a amplitude do limite de controle pela utilização de um L entre 2,6 e 2,8. O analista de processos deve ter em mente qual o menor valor de λ a se escolher para detectar pequenas variações ao longo do processo (MONTGOMERY, 2009).

Assim, se um valor λ pequeno for utilizado, como $\lambda = 0,01$, então deve ser reduzido, por exemplo, para $L = 2$. Outro aspecto importante, é o comportamento dos limites de controle, pois como $|1-\lambda| < 1$ a sequência $[(1-\lambda)]^{2i}$ tende para zero e i tende para o infinito, o termo $[1-(1-\lambda)]^{2i}$ aproxima-se da unidade tornando-se de elevado valor. Isto significa que, após o gráfico de controle MMEP ter percorrido diversos períodos de tempo, os limites de controle têm a forma assintótica e aproximam-se dos valores de posição fixa, tendendo a sua estabilização (MONTGOMERY, 2009).

Albiero et al. (2012) ao aplicarem as cartas de controle da média móvel exponencialmente ponderada na operação agrícola mecanizada de distribuição de sementes por uma seadora de anel interno rotativo, utilizaram $\lambda = 0,4$ e intervalo $e = 3\sigma$, e relataram que a MMEP mostrou-se adequada para a avaliação da qualidade da distribuição longitudinal de sementes. As cartas de controle da média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) foi calculada utilizando-se a largura da faixa entre a média e os limites de controle, como o valor 3 (três) e o fator de rigidez da análise foi escolhido $\lambda=0,4$. Tal valor foi escolhido em virtude da recomendação de Montgomery (2009) e Hunter (1989), na qual os autores recomendam utilizar ($\lambda=0,4$) quando se utilizada a largura de faixa com valor 3 (três). Ressalta-se ainda que, tal ferramenta não necessita da distribuição normal de probabilidade dos dados para ser utilizada no monitoramento de processos.

Porém, tais recomendações são baseadas na análise de itens de produção industrial, na qual as variações são mínimas possíveis entre os itens e/ou peças produzidos. A escolha do valor ($\lambda=0,4$) é em função de que estudos específicos sobre a utilização deste valor aplicados para indicadores de qualidade de desempenho do motor de trator, que possuem também menor variação quando comparados a outros, que não sejam provenientes de sensores (a exemplo podemos citar as perdas decorrentes da colheita mecanizada de soja, amendoim e

cana-de-açúcar) ainda são escassos e/ou inexistentes, para qualquer operação agrícola mecanizada.

Portanto, ainda não se sabe ao certo qual valor utilizar para tal parâmetro, podendo este ser dependente do tipo de indicador de qualidade avaliado e de como é quantificado.

4.4 Análise da capacidade ou capacidade do processo

É o nível de uniformidade que determinado produto é capaz de reproduzir, isto é, não diz respeito a quanto o processo é satisfatório, mas o que o processo é capaz de realizar, indicando também qual é o nível real de qualidade que o processo é capaz de produzir a curto e em longo prazo (SOUZA, 2003).

Um processo considerado como capaz produz produtos ou serviços que estejam de acordo com as especificações. Partindo do princípio que o desempenho de um processo seja previsível, é possível avaliar a capacidade do processo para a produção de itens dentro das especificações (limites) e prever o número de itens fora destes limites. Em outras palavras, a faixa de variação do processo é comparada com a faixa do intervalo das especificações (MINITAB, 2007). Os índices de capacidade (C_p , C_{pk} , P_p , P_{pk} e C_{pm}) são valores sem unidade para que possamos usá-los para comparar a capacidade de diferentes processos. Muitos profissionais consideram 1,33 ser o valor mínimo aceitável para os índices de capacidade potencial do processo (C_p) e, na maioria dos casos, índice menor que 1 não é aceitável.

O valor do índice C_p (capabilidade potencial do processo) pode ser interpretado da seguinte maneira: a diferença entre os limites superior de especificação (LSE) e o limite inferior de especificação (LEI) for igual a seis vezes o valor do desvio padrão (σ), isto é, ($C_p = 1$), presume-se que aproximadamente 0,27% dos itens produzidos estarão fora dos limites de controle e por isso é considerado aceitável, e 99,73% dos resultados está dentro dos limites de controle. Valores de C_p menores que 1,0 fazem com que o processo seja considerado como incapaz de atender à especificação; valores maiores e iguais a 1,33 são considerados adequados, isto é, o processo é capaz de atender à especificação e, processos e que o p está no intervalo $1,0 \leq p < 1,33$, considera-se o

processo aceitável. Quando se calcula o índice Cp, assume-se implicitamente que o processo está centrado no valor nominal da especificação, se o mesmo não estiver na sua capacidade real será menor do que a indicada por Cp (SOUZA, 2003).

O índice Cpk (índice de capacidade potencial mínimo) pode ser utilizado como medida da capacidade real do decorrer do processo, pois é necessário determinar não apenas o potencial de produzir itens dentro dos limites de especificações, mas o desempenho atual de determinada linha de produção (MINITAB, 2007). Para haver maior confiabilidade desta análise, é necessário considerar o efeito da média do processo relativo ao centro da faixa de tolerância (MINITAB, 2007). Caso o processo não esteja centrado na meta, existe motivo para se preocupar. Portanto, o melhor desempenho do processo (menos itens fora dos limites de especificação) será atingido por meio da centralização do mesmo em relação à meta, ou seja, quando a média for igual à meta especificada. Em virtude deste monitoramento da centralização do processo, o índice Cpk foi desenvolvido para englobar o efeito da variabilidade e do desvio da média em relação ao valor nominal (SOUZA, 2003).

Para a análise da capacidade geral do processo utiliza-se o índice Pp (capabilidade geral) e Ppk (índice de capacidade geral mínimo) no qual os mesmo constituem-se: Pp: representa a real forma do processo, em virtude do seu comportamento dentro dos limites de especificação levando em consideração a dispersão dos valores, uma vez que o mesmo não leva em consideração a localização da média do processo; enquanto que o Ppk: leva em consideração a dispersão do processo em relação a localização da média. Portanto, quanto mais próximos estes índices estiverem maior é a centralização do processo (MINITAB, 2007).

Ainda de acordo com Minitab (2007) quando o valor da meta especificada é utilizado para a confecção da análise da capacidade, mais um índice é gerado o Cpm (índice de capacidade em relação à meta) que se refere a variação da meta a dos valores médios entre os limites de especificação, sendo importante utiliza-lo na comparação com os índices Cp e Cpk para inferir na centralização e na capacidade do processo.

4.5 Aplicações do CEQ na agricultura

A carta de controle, ferramenta precursora do controle estatístico de qualidade, apresentada por Walter Shewhart em 1924, é indiscutivelmente a ferramenta estatística mais importante dos sistemas de controle e melhoria da qualidade em qualquer sistema produtivo que possui por finalidade atender as necessidades dos clientes. O conceito das cartas de Shewhart é simples, pois, se o processo é monitorado frequentemente, seu comportamento será potencialmente conhecido, tornando-se fácil identificar quando o mesmo está instável e para identificar a estabilidade ou a instabilidade, propôs as cartas de controle com base nos desvios padrão da média.

No entanto, com o passar dos anos, estudos sobre as técnicas do controle estatístico de processo foram detalhadas pela Western Electric Company (1956) na qual, critérios foram determinados para a sua linha de produção e validação dos seus itens. Neste estudo, o foco principal do CEQ era associar às informações gráficas, detecção dos problemas e sua fonte de variação, com as possíveis melhorias cabíveis a linha de produção para aumentar a qualidade dos itens produzidos como forma de maximizar os lucros da corporação.

Com base nessa premissa o uso do controle estatístico de qualidade é comumente utilizado na área industrial na verificação e validação das peças produzidas, e se estas atendem aos padrões de qualidade a custos aceitáveis, e a quantidade de itens não conformes produzidos que irá para o sucateamento, o que certamente possuirá consequências nos custos de produção (BROH, 1974 apud SAMOHYL, 2009), sendo, portanto, utilizada até os dias atuais. Nos últimos anos houve uma expansão da utilização do controle estatístico de processo nas áreas de saúde, laboratoriais, indústrias alimentícias e, por fim, em operações agrícolas.

Nos ciclos que envolvem as operações agrícolas, podendo envolver toda e qualquer etapa da cadeia produtiva, pode-se citar que os primeiros autores a tratarem desse assunto associando o CEQ em suas atividades rotineiras foram Kramer e Twigg (1966). Estes autores desenvolveram fundamentos sobre o uso do controle estatístico de processo para o monitoramento da qualidade dos produtos agrícolas que chegavam até a indústria de processamento, nos EUA, e quando detectados produtos que não atendiam a necessidade dos clientes os mesmo eram descartados.

Com base nesses fundamentos, Kramer e Twigg (1970) definiram padrões de qualidade para determinados lotes de matéria prima que chegavam à indústria, concluindo que o monitoramento traz incrementos na qualidade dos produtos a serem levados ao cliente o que, conseqüentemente, possui maior valor agregado. Aprimorando cada vez mais a utilização das ferramentas do controle estatístico de qualidade na indústria alimentar Bender, Kramer e Kahan (1976) desenvolvem métodos de análises para alimentos, utilizando às cartas de controle para possíveis diagnósticos de produtos não conformes aos padrões de qualidade da indústria de processamento e as necessidades dos consumidores.

Neste contexto, Bender, Douglas e Kramer (1982) descrevem a importância da análise de alimentos e dos métodos estatísticos utilizados para suas análises, sendo que, quando se deseja obter níveis elevados de qualidade o uso do CEQ é fundamental. Bender, Douglas e Kramer (1989) reafirmam o conceito de que os níveis de qualidade em determinados alimentos é essencial para a aquisição destes produtos pelos consumidores, podendo se fazer o monitoramento da qualidade destes produtos por meio da utilização das ferramentas do CEQ.

Com base neste início possível de inserção do CEQ na agricultura, para o monitoramento, verificação da qualidade dos produtos colhidos a campo, e sendo por fim, avaliados quando levados a indústria de processamento nos EUA, Rodrigues e Amorim (1995) investigaram os usos das técnicas de qualidade nas organizações brasileiras e tal estudo pode ser levado às empresas privadas e públicas dos setores industriais, laboratoriais, alimentício, saúde e principalmente para a área das operações agrícolas, sendo este último fator fundamental para a produção de alimentos. Os autores concluíram que poucos pesquisadores conheciam as ferramentas de monitoramento da qualidade proporcionadas pelo CEQ e as empresas que faziam uso destas ainda não tinham padrões de qualidade a serem seguidos e não tornavam as análises em decisões para a melhoria da qualidade.

Neste contexto de incipiência de usos de técnicas de controle de qualidade nas operações agrícolas no Brasil, Soffner, Milan e Rípoli (1993) estudaram o gerenciamento das operações agrícolas por meio de programação linear e relataram que o gerenciamento eficaz da maquinaria agrícola tende a maximizar os lucros das atividades agrícolas, bem como a melhor qualidade das operações desempenhadas e

pleno desenvolvimento da cultura. Os autores ainda relataram que a utilização do controle de qualidade para as operações agrícolas é fundamental para se obter melhor gerenciamento dos ciclos de operações. Trindade (1993) desenvolveu um sistema de controle qualidade para as operações agrícolas florestais, na qual obtiveram resultados satisfatórios por meio da utilização das cartas de controles e demais ferramentas do CEQ para aumentar a eficiência do gerenciamento das operações.

Bonilla (1994; 1995) descreve que a utilização do controle estatístico de qualidade, nas operações agrícolas mecanizadas é essencial para redução da variabilidade elevada, podendo tornar o processo estável quando o mesmo não apresenta este comportamento. Peche Filho (1994) adotaram as ferramentas do CEQ para o monitoramento do grau de picagem de material orgânico, para posterior desenvolvimento de uma metodologia para tal operação, e constataram que a redução da variabilidade decorrente desta operação incrementa os níveis de qualidade.

Neste contexto, Lopes, Milan e Coelho (1995) visando contribuir com a inserção do CEQ nos ciclos das operações agrícolas mecanizadas na cultura da cana-de-açúcar, relataram que por meio do monitoramento da qualidade em que as operações estavam sendo desempenhadas houve elevada variabilidade dos resultados. Tal variabilidade para o espaçamento entre sulcos pode ter levado ao processo ser instável, sugerindo, portanto, melhorias na regulagem do implemento e da operação efetuada. Por outro lado, Pasqua et al. (1996) utilizaram as ferramentas do CEQ para o monitoramento dos ciclos das operações mecanizadas na cultura do milho, estabelecendo indicadores de qualidade para a semeadura, adubação de cobertura e pulverização, sendo avaliados pelas cartas de controle.

Milan (1998) descreve que a adoção de sistemas de gerenciamento e suas técnicas propiciam o aumento da competitividade na área agrícola, permitindo melhorar a qualidade e potencialmente a redução de custos. Portanto, controle de qualidade, que visa o monitoramento contínuo do desempenho dos processos, é uma técnica aplicada há longo tempo na indústria e na prestação de serviços e que deverá ser adotada cada vez mais para a agricultura, de forma a aumentar a qualidade das operações agrícolas mecanizadas. O autor ainda relata que o emprego de técnicas de qualidade proporcionam melhorias das operações, mas que talvez, essas melhorias podem ser sentidas de maneira mais substancial ao longo dos anos de utilização do

CEQ (programa de melhoria da qualidade), pois, assim se cria o hábito de monitorar frequentemente as operações, podendo esta descrição ser comparada ao estilo japonês de implantação do CEQ.

Tomando com premissa de implementação de um programa de melhorias da qualidade das operações agrícolas mecanizadas descritas por Milan (1998), vários autores a partir de então começaram a utilizar as ferramentas do CEQ para o monitoramento, detecção de causas especiais, interferindo no processo e posteriormente elaborando planos de melhorias para aumentar a qualidade das mesmas, por meio da redução da variabilidade decorrente do processo.

Fernandes, Milan e Peche Filho (2000) propõem um gerenciamento da qualidade para as operações agrícolas mecanizadas no sistema de produção e cana-de-açúcar, e descrevem que a qualidade destas operações pode ser observada por dois lados: sendo o primeiro o lado econômico, na qual, a qualidade é a produção de itens aos custos compatíveis com a referida atividade e segundo volta-se para o lado agrônomo, em que a qualidade se refere à realização de produtos ou serviços dentro dos limites de especificações ou de qualidade imposto pela unidade produtoras.

De acordo com Milan e Fernandes (2002) a avaliação da qualidade das operações de preparo de solo, escarificação e gradagem, por meio do controle estatístico de processo, se mostrou eficiente para aumentar a qualidade das operações desempenhadas nestes sistemas de preparo de solo por meio do plano de melhoria efetuados e posteriormente executado e isto só foi possível em virtude da redução da variabilidade decorrente da operação.

Milan, Barros e Gava (2003) avaliou o planejamento do preparo do solo por meio do desdobramento da função qualidade (QFD)) para a implantação de mudas de eucalipto, e concluíram que os indicadores de qualidade largura e profundidade do sulco e tamanho dos torrões são os mais importantes para atender o melhor desenvolvimento das mudas. O autor ainda descreve, que o uso do QFD no setor florestal bem como na área agrícola é uma técnica eficaz para identificar e traduzir os fatores limitantes das operações agrícolas.

Souza (2005) descreve uma metodologia para avaliar a qualidade da operação da semeadura direta em sistema de produção de milho, na qual, continha seis etapas, dentre elas: caracterização, pesquisa bibliográfica, seleção dos indicadores de

qualidade, coleta dos dados a campo, análise dos dados e criação do índice de cada indicador de qualidade.

Segundo Nagumo e Milan (2006) as cartas de controle bem como o uso de histogramas, podem ser utilizados para análise dos indicadores críticos de qualidade das características exigidas pelos clientes na produção de mudas de café enxertadas e comercializadas em tubetes plásticos, bem como demais padrões de qualidade relacionados ao ciclo de produção das mudas.

Silveira, Peche Filho e Storino (2007) em estudo realizado avaliando a qualidade das operações desempenhadas pela velocidade de trabalho do trator em operações de pulverização, adubação e roçadora no cultivo de café, relataram que o monitoramento da velocidade de trabalho ao longo da operação não sofreu intensa variação. Portanto, estas operações podem ser realizadas com certo nível de qualidade, sendo o uso das cartas de controle, dentre as ferramenta da qualidade, eficiente no gerenciamento das operações agrícolas na lavoura cafeeira.

Avaliando o desempenho de um dispositivo de corte de base de colhedoras de cana-de-açúcar Salvi, Matos e Milan (2007) utilizaram as cartas de controle para o monitoramento da altura de corte, e constataram que, com e sem o uso do dispositivo automático de controle da altura de corte, o processo é instável, não mantendo o padrão médio da altura de corte especificada pela unidade produtora, havendo influências também da idade e porte do canavial.

Sugisawa et al. (2007) utilizaram as cartas de controle estatístico de processo para avaliar a qualidade da aplicação de herbicidas em lavoura de trigo e constataram que o seu uso torna-se importante para o monitoramento e aumento da qualidade da operação uma vez que a mesma foi irregular ao longo do tempo. Porém, em função do herbicida ser sistêmico considerou-se a qualidade de aplicação como média.

Em avaliação das caracterizações das perdas e distribuições de cobertura vegetal durante a colheita mecanizada de soja, Toledo et al. (2008) afirmaram a eficiência da utilização das cartas de controle para a identificação da instabilidade decorrente do processo de colheita uma vez que as perdas e cobertura vegetal foram consideradas instáveis e estáveis, respectivamente, sob a óptica do CEQ.

Peloia, Milan e Romanelli (2010) utilizaram como ferramentas do CEQ as cartas de controle e a análise da capacidade do processo para o corte de rebolos de cana-de-

açúcar colhidos mecanicamente, e chegaram à conclusão de que, em função da estabilidade do processo diagnosticado pelas cartas de controle, foram realizadas os gráficos de capacidade na qual o processo foi determinado como incapaz de atingir resultados satisfatórios em curto e longo prazo tanto para cana queimada quanto para cana crua.

Avaliando o processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar em função dos turnos de operação diurno e noturno, Noronha et al. (2011) utilizaram as cartas de controle para monitoramento do processo no qual constataram a instabilidade do processo para as perdas pedaço fixo, solto, cana inteira durante o período diurno e estilhaço em ambos os turno de operação, e a estabilidade do mesmo para as perdas tipo toco e rebolo repicado e estilhaçado, em ambos os turno de operação.

Reis et al. (2010) estudaram a qualidade da aplicação aérea líquida por uma aeronave experimental na cultura da soja, e relataram que os seus indicadores de qualidade (diâmetro da mediana volumétrica e amplitude relativa do espectro de gotas, e a qualidade da aplicação no terço médio inferior das plantas) foram detectados com pontos ou observações fora dos limites de controle, o que caracteriza a instabilidade apresentada para esta operação.

A utilização do método FMEA (*Failure mode and effect analysis* ou Análise de modo e efeitos de falha) foi usado para a identificação dos fatores críticos e a análise do processo para a sua melhoria contínua no plantio mecanizado de cana-de-açúcar (BARROS e MILAN, 2010). Os autores descreveram 16 fatores críticos nos quais, apenas dois (paralelismo entre sulcos e profundidade de sulcos) foram considerados como não previsível, indicando causas especiais no decorrer da operação e concluem que a elaboração do plano de melhoria é fundamental para aumentar a quantidade de pontos dentro dos limites de controle.

De acordo com Chioderoli et al. (2012) avaliando a perda de grãos e distribuição de palha na colheita mecanizada de soja utilizando como ferramentas do CEQ as cartas de controle de valores individuais e de amplitude móvel, constataram que todos os tipos de perdas avaliadas (perdas nos sistemas de trilha e de limpeza e as totais) estavam fora dos limites de controle. Porém, dentro dos níveis aceitáveis de perdas para a cultura bem como para a distribuição de palha pela máquina.

Compagnon et al. (2012) avaliaram diferentes métodos de amostragens de perdas na colheita mecanizada de soja, sendo um deles à campo (utilizando-se armação de 2 m²) e outro por meio do monitor de perdas alocado dentro da cabine da colhedora nos períodos diurno e noturno da operação, constataram a instabilidade do processo para as perdas nos sistemas de corte, separação, perdas de grãos limpos e totais durante o período diurno da operação de colheita de soja.

Por outro lado, Silva et al. (2013) estudaram a qualidade da colheita mecanizada de feijão em dois sistemas de preparo do solo, e concluíram que, tanto no sistema de preparo convencional como no sistema de plantio direto, os indicadores de qualidade que se apresentaram como instáveis foram o consumo horário de combustível e a produção de matéria seca sob a óptica do CEQ.

Em avaliação da qualidade da colheita mecanizada de café em sistema de plantio circular Cassia et al. (2013) por meio da utilização das cartas de controle, constataram a elevada variabilidade decorrente do processo de perdas e dos danos causados às plantas. Porém, os pontos amostrais permaneceram dentro dos limites de controle, considerando o processo como estável.

III MATERIAL E METÓDOS

1 Área experimental

O experimento foi realizado no período de março de 2014, no município de Conceição das Alagoas – MG, em área da fazenda São Sebastião, localizada nas proximidades das coordenadas geodésicas: Latitude: 19°44'54"S, Longitude: 47°55'55" W, com altitude média de 801 m.

Foram avaliados na mesma área, três talhões com diferentes formatos, sendo o talhão 1 considerado irregular, o talhão 2 retangular e talhão 3 assemelhando-se a um trapézio (Figura 1).



FIGURA 1. Mapa da área experimental.

1.1 Histórico da área, preparo do solo e semeadura

A área experimental havia sido cultivada com cana-de-açúcar, por 10 anos, sob sistema convencional de preparo do solo. Após esse período, houve a eliminação das soqueiras da cana-de-açúcar, sendo utilizado novamente o sistema de preparo convencional do solo (utilizando-se gradagem média e leve). Após esta etapa, foi realizada a semeadura para a implantação da cultura da soja em novembro de 2013, no espaçamento de 0,50 m entre linhas e 21 a 22 sementes m^{-1} , totalizando densidade de semeadura de aproximadamente 430.000 sementes ha^{-1} . A semeadora utilizada foi da Tatu Marchesan com 9 linhas, tendo largura útil de 4500 mm e regulada para a profundidade da deposição de sementes no solo foi de 60 mm.

1.2 Clima e solo

O clima da região é considerado como tropical com chuvas de verão (Aw) pela classificação de Köppen-Geiger, com temperatura média do mês mais frio superior a 18 °C, estação invernal ausente e verão chuvoso.

O solo da área experimental foi classificado como ARGISSOLO Vermelho-amarelo eutrófico, com textura média. Foram realizadas dez amostragens ao acaso (0,00 – 0,25; 0,25 – 0,50 m) para determinação da classe textural, sendo o solo classificado como textura média (EMBRAPA, 1997) (Tabela 1).

TABELA 1. Análise granulométrica para a caracterização da classe textural do solo.

Profundidade (m)	%			Classe textural
	Areia	Silte	Argila	
0,00 – 0,25	29	30	41	Média
0,25 – 0,50	24	25	51	

Pela análise química do solo, em função da coleta de dez pontos amostrais (Tabela 2), observou-se que a saturação por bases (V) foi de 62% (0,00-0,25 m) indicando a não necessidade de calagem antes da realização da semeadura. Ao se analisar (0,25-0,50 m) constatou-se que o V% praticamente atingiu a quantidade requerida para a soja que é de 60% , chegando a 59% (BOLETIM 100, 1996).

TABELA 2. Análise química do solo para a semeadura mecanizada da soja.

Prof. (m)	pH em CaCl ₂	M. O.	P resina	K	Ca	Mg	H+Al	SB	T	V
		g dm ⁻³	mg dm ⁻³				mmolc dm ⁻³			%
0,00-0,25	5,6	25	4	1,8	28	12	26	42	68	62
0,25-0,50	5,6	25	3	0,8	30	10	28	41	69	59

1.3 Variedade

A semeadura da soja realizada no mês de novembro de 2013, utilizando-se a variedade BMX Turbo RR desenvolvida pela BRASMAX (BMX) (Tabela 3).

TABELA 3. Características da variedade de soja utilizada na área experimental.

Características	Classificação
Ciclo	Superprecoce
Porte	Médio
Hábito de crescimento	Indeterminado
Engalhamento	Ótimo
Grupo de maturação	5.8
Solos	Média/alta fertilidade (A)
Produtividade	Elevada
Acamamento	Resistente

2 Equipamentos utilizados

O mapeamento da área foi feito com auxílio de um receptor GPS, da marca Garmim modelo etrex (de precisão posicional métricas). As coordenadas foram registradas no sistema plano-cartesiano UTM (Universal Transverso de Mercator).

Para a colheita mecanizada da soja foi utilizada uma colhedora da marca Massey Ferguson, modelo MF 5650 Advanced, ano 2010 com aproximadamente 700 h de trabalho. A colhedora possui motor AGCO Sisu Power de seis cilindros, cuja potência nominal é de 130 kW (175 cv) ; equipada com plataforma de corte de 5,00 m de largura; sistema de trilha do tipo tangencial; separação por saca-palhas e tanque graneleiro com capacidade de 5500 L (Figura 2).



FIGURA 2. Colhedora de soja Massey Fergusson 5650 Advanced.

Foi utilizado no experimento o medidor modelo G600 da marca GEHAKA AGRI (Figura 3), para mensurar a temperatura e o teor de água dos grãos. O G600 realiza as medidas em poucos segundos, sem destruir a amostra, utilizando baterias ou conectado na rede elétrica, possui sistema de auto-calibração que reajusta o equipamento a cada medida.



FIGURA 3 Medidor de temperatura e teor de água dos grãos de soja.

3 Análise do desempenho da colhedora

3.1 Análise dos tempos, movimentos e eficiência da operação

Os dados do monitoramento das atividades da colhedora (Tabela 4) foram coletados com caderneta de campo, prancheta e cronômetro. Uma pessoa ficou designada a acompanhar a colhedora automotriz do início ao fim da operação, anotando a atividade, que estava sendo executada em intervalos regulares de 10 minutos até que terminasse a colheita em cada talhão avaliado.

TABELA 4. Divisão das atividades na colheita de soja

Atividade	Descrição
1. Tempo total de colheita	Tempo no qual a máquina se destinava a realizar a operação de colheita mecanizada propriamente dita, incluindo os tempos de manobras.
2. Descarga de grãos	Tempo demandado para que a máquina se deslocasse até os pontos de descarregamento, e realizasse a descarga de grãos, até o seu retorno à atividade de colheita.
3. Problemas na colhedora	Tempo necessário para resolução de imprevistos, tais como reparos e/ ou embuchamentos.
4. Paradas climáticas	Tempo dedicado a paradas devidas às adversidades climáticas, até o retorno da operação de colheita no talhão.

De posse dos dados adquiridos nas propriedades, calcularam-se as variáveis relacionadas com a operação (tempo de manobra, tempos gastos durante a operação e relação comprimento/largura do talhão) e as eficiências da operação (eficiência de campo), conforme normas ASABE EP 496.3 (2011) e a eficiência de tempo e capacidades conforme Mialhe (1974).

A capacidade de campo efetiva foi calculada em função da metodologia descrita por Mialhe (1974) (eq. 1):

$$CcE = \frac{V \times L}{10} \quad (1)$$

Em que:

CcE: Capacidade de Campo Efetiva (ha h⁻¹);

V: velocidade (km h⁻¹);

L: largura da plataforma (m);

A capacidade de campo operacional foi calculada em função da metodologia descrita por Mialhe (1996) (eq. 2):

$$CcO = \frac{V \times L \times Ef}{10} \quad (2)$$

Em que:

CcO: Capacidade de Campo Operacional (ha h⁻¹);

V: Velocidade (km h⁻¹);

L: Largura da plataforma (m);

Ef: Eficiência da colhedora.

Para calcular a eficiência de colheita (Ecol), a eficiência de campo (Ec) e eficiência gerencial (Eg) utilizou-se a metodologia descrita pelas normas da ASABE EP 496.3 (2011) conforme a eq. 3, eq. 4, eq. 5:

$$Ecol (\%) = \left\{ \frac{Tc}{Tc + Td + Tp} \right\} \times 100 \quad (3)$$

Em que:

Ecol (%): Eficiência de colheita (%);

Tc: Tempo de operação de colheita (h);

Td: Tempo de operação de descarga (h);

Tp: Tempo da colhedora em manutenção.

$$E_c (\%) = \left\{ \frac{CcO}{CcE} \right\} \times 100 \quad (4)$$

Em que:

Ec (%): Eficiência de campo (%);

CcE: Capacidade de campo efetiva (ha h⁻¹);

CcO: Capacidade de campo operacional (ha h⁻¹).

$$E_g (\%) = \left\{ \frac{T_c + T_d}{T_c + T_d + T_p} \right\} \times 100 \quad (5)$$

Em que:

Eg (%): Eficiência gerencial (%);

Tc: Tempo de operação de colheita (h);

Td: Tempo de operação de descarga (h);

Tp: Tempo da colhedora em manutenção (h).

O tempo de operação de colheita (T_c), tempo de descarga (T_d) e o tempo de manutenção (T_p) foram calculados em função da metodologia descrita por Mialhe (1996) segundo a eq. 6, eq. 7, eq. 8 , respectivamente.

$$T_c (\%) = \left\{ \frac{T_c}{T_c + T_d + T_p} \right\} \times 100 \quad (6)$$

Em que:

T_c (%): Tempo de operação de colheita (%);

T_c : Tempo de operação de colheita (h);

T_d : Tempo de operação de descarga (h);

T_p : Tempo da colhedora em manutenção (h).

$$T_d (\%) = \left\{ \frac{T_d}{T_c + T_d + T_p} \right\} \times 100 \quad (7)$$

Em que:

T_d (%): Tempo de operação de descarga (%);

T_c : Tempo de operação de colheita (h);

T_d : Tempo de operação de descarga (h);

T_p : Tempo da colhedora em manutenção (h).

$$T_p (\%) = \left\{ \frac{T_p}{T_c + T_d + T_p} \right\} \times 100 \quad (8)$$

Em que:

T_p (%): Tempo da colhedora em manutenção (%);

T_c : Tempo de operação de colheita (h);

Td: Tempo de operação de descarga (h);

Tp: Tempo da colhedora em manutenção (h).

Para o cálculo do tempo de manobra, utilizamos a fórmula da eficiência de colheita (%) segundo a metodologia da ASABE EP 496.3 (2011), substituindo as variáveis e isolando o tempo de manobra, a eq. 9:

$$E_{col} (\%) = \left\{ \frac{[TT - (T_c + T_d + T_p + T_m)]}{TT} \right\} \times 100 \quad (9)$$

Em que:

Et (%): Eficiência de tempo (%);

TT: Tempo total de colheita do talhão inteiro;

Tc: Tempo de operação de colheita (h);

Td: Tempo de operação de descarga (h);

Tp: Tempo da colhedora em manutenção (h);

Tm: Tempo de manobra (h).

Também por meio da metodologia descrita por Mialhe (1974), determinou-se a relação comprimento/largura (C/L) de cada talhão (eq. 10).

$$C/L = \frac{C}{L} \quad (10)$$

Em que:

C/L: Relação comprimento/largura dos talhões;

C: Média dos comprimentos de cada talhão (m);

L: Média das larguras de cada talhão (m)

3.2 Desempenho operacional da colhedora

As avaliações de desempenho da colhedora de soja foram realizadas a partir dos seguintes parâmetros: velocidade de deslocamento, rotação do motor, rotação do cilindro e abertura do côncavo, sendo todas as variáveis coletadas por meio do monitor de coluna frontal encontrado dentro da cabine da colhedora (os sensores de todas as variáveis, instalados em locais específicos, enviavam pulsos eletromagnéticos para o computador de bordo em tempo real).

3.3 Determinação das perdas na colheita

Na determinação das perdas foram utilizadas armações circulares confeccionadas com aros de 0,33 m², vedados com tela de sombrite assemelhando-se a peneiras, sendo utilizados três aros de mesmo tamanho, que juntos totalizam a área de aproximadamente 1,00 m².

Os aros foram lançados logo após a passagem da plataforma da colhedora em pontos pré-determinados, de modo que dois aros ficaram dispostos fora do traçado dos rodados da colhedora (esquerda e direita) e um terceiro foi lançado entre os rodados traseiros (meio) (Figura 4). Foram coletados todos os grãos e vagens presentes dentro dos aros após a passagem da colhedora.

As perdas na colheita mecanizada de soja foram definidas da seguinte maneira: os grãos e vagens encontrados abaixo da peneira foram considerados como perdas da plataforma (somadas as perdas naturais); as perdas dos mecanismos internos foram representadas pelos grãos e vagens encontrados na parte de cima da peneira; e, por fim, as perdas totais foram calculadas pela somatória das perdas na plataforma e dos mecanismos internos.



FIGURA 4 Esquema de amostragem de perdas na colheita mecanizada de soja

As perdas totais em relação produtividade foram calculadas, com base na produtividade média de cada talhão, após esta ser mensurada pela quantidade de caminhões de soja entregues e pesados em balança de precisão da unidade beneficiadora de grãos para cada talhão. A produtividade média para cada talhão foi estimada em: 2.480 kg ha^{-1} para o talhão irregular, 2.600 kg ha^{-1} para o talhão retangular e 2.480 kg ha^{-1} para o talhão trapezoidal.

4 Análises estatísticas

4.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, para as avaliações de desempenho da colhedora e parâmetros da colheita (sendo 18, 28 e 24 repetições para os talhões 1, 2 e 3, respectivamente). Os tratamentos foram estabelecidos a partir dos formatos dos talhões, sem necessidade de troca de operador da colhedora durante a colheita, proporcionando-se assim melhores condições de controle do experimento.

4.2 Análise descritiva

Como análise inicial, os dados foram submetidos à estatística descritiva, para permitir a visualização geral do comportamento dos dados. Esta análise assume os dados como sendo independentes entre si, portanto, sem considerar a influência do local de amostragem e as posições relativas.

A demonstração geral do comportamento dos dados foi realizada calculando-se as medidas de tendências centrais (média) e medidas de dispersão (amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação).

A verificação da normalidade dos dados foi realizada pelo teste de Anderson-Darling, sendo este uma medida de proximidade dos pontos e da reta estimada na probabilidade conferindo maior rigidez à análise (ESPINOSA, CALIL JÚNIOR e LAHR, 2004) e quando constatada a assimetria realizou-se a transformação do conjunto de dados utilizando-se o melhor ajuste para cada variável (*BOX COX transformation*), sendo a melhor equação de ajuste designada pelo programa computacional Minitab 16[®].

Uma das possibilidades para se medir a dispersão dos dados se dá por meio do desvio padrão que, de acordo com Pimentel-Gomes e Garcia (2002) este é melhor que a amplitude, pois tem propriedades matemáticas mais convenientes. O desvio padrão pode ser definido como a medida de dispersão que leva em consideração todos os dados, considerando os desvios dos valores em relação à média. Sua obtenção é resultado da média quadrática dos desvios em relação à média aritmética do conjunto de dados considerados.

Com relação ao coeficiente de variação da distribuição de uma amostra, Pimentel-Gomes e Garcia (2002) os classificam como muito alto (>30%); alto (entre 21 e 30%); médio (11 a 20%) e baixo (<10%).

4.3 Análise de variância

Realizou-se a análise de variância (ANOVA) fator único aplicando-se o teste F, com nível de significância a 5% para verificar a existência ou não de diferenças

significativas entre as médias das variáveis estudadas na análise dos tempos, movimentos e eficiência da colheita mecanizada de soja. Quando procedente, aplicou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação das médias.

4.4 Controle estatístico de qualidade (CEQ)

Para a utilização das ferramentas de controle estatístico de processo cada repetição foi tratada como um valor individual, ponto a ponto, a fim de verificar a variabilidade pontual e a existente ao longo da operação. Para a construção dos gráficos sequenciais e das cartas de controle para valores individuais e de amplitudes móveis foram utilizados todos indicadores do desempenho da colhedora e dos parâmetros de colheita independentemente da sua suposição de normalidade (MONTGOMERY, 2004). Para a análise da capacidade do processo os valores foram constituídas por meio de valores individuais, por meio da média dos sulcos esquerdo e direito, tornando-se um único valor médio representativo amostral, para os indicadores de qualidade que foram pertinentes à esta análise.

4.4.1 Padrões de aleatoriedade (Run Charts)

Para verificar a aleatoriedade ou não aleatoriedade do processo utilizou-se o gráfico sequencial (*run chart*), que segundo Werkema (2006) é um gráfico de dados ao longo do tempo, utilizado para verificação do processo, permitindo identificar as possíveis presenças de causas especiais de variação, principalmente quando as cartas de controle são diagnosticadas como estáveis, com todos os pontos dentro dos limites de controle.

A verificação da possível aleatoriedade dos dados foi realizada por meio do teste de probabilidade a 5% e, uma vez que o p -valor para os padrões foi inferior a 0,05, rejeita-se a hipótese nula de não aleatoriedade, em favor da alternativa para o padrão testado (MINITAB, 2007).

A ocorrência destes padrões pode indicar que o processo se encontra próximo a extrapolar os limites de controle, ou seja, torna-se instável, ou até mesmo que o processo já esteja “instável” não atendendo os padrões de qualidade, quando as cartas de controle são estáveis. Mas, esse tipo de análise deve ser complementada por meio da verificação das cartas de controle, obtendo-se, assim maior precisão do comportamento dos indicadores de qualidade.

4.4.2 Cartas de controle para valores individuais e de amplitude móvel

O modelo de carta de controle selecionado foi o da média móvel exponencialmente ponderada (MMEP), por representar as observações individuais, e a análise possuir maior rigor, pressupõe-se que demonstre melhor a variação do processo nestes casos (MONTGOMERY, 2004).

Os modelos de cartas de controle em que se utiliza a média móvel exponencialmente ponderada (MMEP), também denominada de gráficos de controle avançados, são aprimoramentos dos gráficos de Shewhart desenvolvidos para situações específicas, na qual se deseja minimizar simultaneamente a ocorrência de pontos fora dos limites de controle (alarmes falsos) e alarmes não visíveis (SAMOHYL, 2009), em virtude de sua maior rigorosidade de análise.

A média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) é definida segundo Montgomery (2009) conforme a equação 13, na qual:

$$z_i = \lambda \cdot \sum_{j=0}^{i-1} (1 - \lambda)^j \cdot x_{i-j} + (1 - \lambda)^i \cdot z_0 \quad 13$$

z_i : Valor da média móvel ponderada;

x_i : Valor da característica medida;

z_0 : Média alvo do processo;

λ : Fator de rigidez da análise.

i : 1, 2, 3, (amostras)

Os limites superior e inferior de controle das cartas que constituem a média móvel exponencialmente ponderada (MMEP) pode ser calculada em função das equações 14 e 15, respectivamente:

$$LSC = \mu + L \cdot \sigma \cdot \sqrt{\frac{1}{(2 - \lambda)} \cdot [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \quad 14$$

$$LIC = \mu - L \cdot \sigma \cdot \sqrt{\frac{1}{(2 - \lambda)} \cdot [1 - (1 - \lambda)^{2i}]} \quad 15$$

LSC: Limite superior de controle;

LIC: Limite inferior de controle;

μ : Média geral;

L: Largura da faixa entre a média e o limite;

σ : Desvio padrão;

λ : Fator de rigidez da análise;

i : 1, 2, 3, (amostras)....

As cartas de controle da média móvel exponencialmente ponderada foram calculada utilizando-se a largura da faixa entre a média e os limites de controle, como o valor 3 (três) e o fator de rigidez da análise foi escolhido $\lambda=0,4$. Tal valor foi escolhido em virtude da recomendação de Montgomery (2009) e Hunter (1989), na qual os autores recomendam utilizar ($\lambda=0,4$) quando se utilizada a largura de faixa com valor 3 (três). Ressalta-se ainda que, tal ferramenta não necessita da distribuição normal de probabilidade dos dados para ser utilizada no monitoramento de processos.

Porém, tais recomendações são baseadas na análise de itens de produção industrial, na qual as variações são mínimas entre os itens e/ou peças produzidos. A escolha do valor ($\lambda=0,4$) se deu em função de que estudos específicos sobre a utilização deste valor aplicados para os indicadores de qualidade relacionada à área agrícola, ou seja, para as perdas na colheita de soja, que possuem também elevada variação, quando comparados a outros, ainda são escassos e/ou inexistentes, para a maioria das operações agrícolas mecanizadas. Portanto, ainda não se sabe ao

certo qual valor utilizar para tal parâmetro, podendo este ser dependente do tipo de indicador de qualidade avaliado e de como é quantificado.

4.4.3 Análise da capacidade do processo

Para a realização da análise da capacidade do processo, para a verificação se o mesmo é capaz de produzir itens conformes ao longo do tempo, tanto em curto prazo quanto em longo prazo, é necessário que o mesmo atenda às seguintes regras (Minitab, 2007):

Regra 1: O conjunto de dados deve apresentar distribuição de probabilidade normal;

Regra 2: As cartas de controle devem apresentar somente variações comuns ou naturais, com todos os pontos devem estar dentro dos limites de controle.

O índice de capacidade do processo (C_p) é muito útil na tomada de decisões sobre a adequação do processo às especificações. Uma regra prática para esta análise pode ser descrita da seguinte maneira na Tabela 5.

TABELA 5. Índices de tolerância para a capacidade do processo.

Limites de tolerância	Produção de itens não conforme	Tomada de decisão
$C_p < 1,0$	Drástico	Melhoria do processo como um todo
$1 \leq C_p \leq 1,33$	Problemático	Redução da variabilidade do processo e ênfase no monitoramento
$C_p > 1,33$	Normal	Otimização do processo e monitoramento continuado

Fonte: Adaptado de Lopes (2007)

4.4.3.1 Limites específicos de controle

Os limites específicos, também chamados de limites de engenharia, são parâmetros baseados em recomendações técnicas, critérios agrícolas, que podem proporcionar melhores padrões de qualidade para eventual processo, e econômicos, contidos em bibliografia ou em valores usuais, para os indicadores de qualidade avaliados. Assim, foram definidos os limites específicos de controle (Tabela 6), conjuntamente com os gerenciadores (supervisor e gerente agrícola) da operação bem como com os demais funcionários (operador da colhedora e transbordo) por meio de *brainstorming*¹ de maneira que a qualidade da operação possuísse 90% de qualidade, pela visão desta unidade produtora, para avaliar a capacidade da operação da colheita mecanizada de soja da seguinte forma:

TABELA 6. Limites específicos de controle utilizados na operação de colheita mecanizada de soja.

Indicadores de qualidade*	Limite específico inferior (LEI)	Meta	Limite específico superior (LES)
Velocidade (km h ⁻¹)	3,5	5,0	6,0
Rotação do cilindro (rpm)	1000	1050	1100
Teor de água dos grãos (%)	12	13	15
Perdas plataforma (kg ha ⁻¹)	36	45	50
Perdas totais (kg ha ⁻¹)	40	50	60

*Os limites específicos foram utilizados para os três formatos de talhões avaliados.

¹ *Brainstorming*: é uma técnica de apoio à criatividade, transversal a todos os setores de atividade, se adequando bem para ser utilizada na área agrícola em situações de crise, ou para a rápida resolução de problemas. As sessões deste método podem ser estruturadas de uma forma rígida em torno de determinado objetivo ou de uma forma totalmente livre, dependendo dos supervisores.

4.4.3.2 Índices de capacidade do processo

Os índices de capacidade potencial mínimo e máximo Cp e Cpk (mínimo e máximo) foram obtidos utilizando-se o desvio padrão do processo dentro dos subgrupos (σ subgrupo), calculados conforme as equações 16, 17 e 18:

$$C_p = \frac{(LES - LEI)}{6\sigma_{\text{potencial}}} \quad (16)$$

$C_{pk} = \text{mínimo (CPL, CPU)}$

$$CPL = \frac{(\bar{X} - LEI)}{3\sigma_{\text{potencial}}} \quad (17)$$

$$CPU = \frac{(\bar{X} - LES)}{3\sigma_{\text{potencial}}} \quad (18)$$

Em que:

Cp = índice de capacidade potencial;

Cpk = índice de capacidade potencial mínimo;

CPL = índice de capacidade potencial em relação ao limite inferior especificado;

CPU = índice de capacidade potencial em relação ao limite superior especificado;

LES = limite superior especificado;

LEI = limite inferior especificado;

Dp ou $\sigma_{\text{potencial}}$ = estimativa do desvio padrão potencial utilizando-se a média da amplitude móvel (subgrupo = 1), neste caso, entre os limites específicos;

= dia da variável

Os índices de capacidade geral mínimo e máximo (P_p e P_{pk} , respectivamente) foram obtidos utilizando-se o desvio padrão de todas as medições (σ_{geral}), indicando a variação geral do processo, por meio das equações 19, 20 e 21.

$$P_p = \frac{(LES - LEI)}{6\sigma_{\text{geral}}} \quad (19)$$

P_{pk} = mínimo (PPL, PPU)

$$PPL = \frac{(\bar{X} - LEI)}{3\sigma_{\text{geral}}} \quad (20)$$

$$PPU = \frac{(\bar{X} - LES)}{3\sigma_{\text{geral}}} \quad (21)$$

Em que:

P_p = índice de capacidade geral;

P_{pk} = índice de capacidade mínimo geral;

PPL = índice de capacidade geral em relação ao limite inferior especificado;

PPU = índice de capacidade geral em relação ao limite superior especificado;

LES = limite superior especificado;

LEI = limite inferior especificado;

D_p ou σ_{geral} = estimativa do desvio padrão geral utilizando-se toda a distribuição do conjunto de dados;

= média da variável.

O índice C_{pm} é a razão entre a amplitude dos limites especificados e a raiz quadrada do quadrado da média dos desvios em relação à meta, considerando o afastamento da média do processo em relação à média de especificação, medindo a centralização do processo. É obtido somente quando uma meta é atribuída à análise de capacidade, baseando-se também nos valores de LSE, LIE e da meta, conforme as equações 22 e 2 (MINITAB, 2011):

$$C_{pm} = \min (LES; LEI)$$

$$C_{pm} = \frac{LES - LEI}{6 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \text{meta})^2}{n - 1}}} \quad \text{Se a meta} = \frac{LES + LEI}{2} \quad (22)$$

$$C_{pm} = \frac{\text{mínimo}[(LES - \text{meta}), (\text{meta} - LEI)]}{\frac{6}{2} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \text{meta})^2}{n - 1}}} \quad \text{Se a meta} \neq \frac{LES + LEI}{2} \quad (23)$$

Em que:

C_{pm} = Índice de capacidade em relação à meta;

LSE = limite superior especificado;

LIE = limite inferior especificado;

X_i = valor da variável na observação i ;

n = número de observações.

A possível vantagem deste índice em relação ao índice C_p , é que o mesmo fornece uma visão mais ampla, podendo refletir na melhor interpretação do processo por ser mais eficiente, tanto para processos que se apresentam próximos ao valor nominal específico quanto para os que estão mais afastados deste (MONTGOMERY, 2004).

Foi adotado para as avaliações do índice de capacidade igual a 1,33 como referência, sendo o valor mínimo aceitável para predizer o processo como sendo capaz de produzir resultados satisfatórios. Se o índice obtido for maior, conseqüentemente, o processo produz resultados aceitáveis e é capaz de produzi-los dentro dos limites especificados (MINITAB, 2007).

IV RESULTADOS E DISCUSSÃO

1 Desempenho operacional da colheita mecanizada de soja

1.1 Análise de tempos, movimentos e eficiência da colheita mecanizada

A capacidade de campo efetiva e operacional apresentaram maiores valores para o talhão trapezoidal quando comparado aos demais talhões (Tabela 7), devido à maior velocidade média de trabalho da colhedora e das eficiências de campo e de colheita, em razão do formato do talhão e da própria cultura favorecem tal condição.

TABELA 7. Análise dos tempos, movimentos e eficiência da colheita mecanizada de soja em diferentes talhões.

Variáveis	Talhões		
	Irregular (1)*	Retangular (2)	Trapezoidal (3)
Cce (ha h ⁻¹)	2,00 c	2,25 b	2,50 a
Cco (ha h ⁻¹)	1,43 c	1,57 b	1,81 a
Ecol (%)	71,42	70,10	72,70
Ec (%)	54,00	82,00	57,65
Eg (%)	90,00	71,50	92,72
Tc (%)	49,15	58,78	36,38
Td (%)	18,57	11,90	17,20
Tp (%)	10,00	17,90	9,90
Tm (%)	22,28	11,42	36,52
C / L	5,26	7,04	6,47

Cce – capacidade de campo efetiva; Cco – capacidade de campo operacional; Ecol – eficiência de colheita; Ec – eficiência de campo; Eg – eficiência gerencial; Tc – tempo de colheita; Td – tempo de descarga; Tp – tempo de parada/manutenção; Tm – tempo de manobra; C / L – relação comprimento / largura.

* Em cada coluna, para cada fator, as letras indicam a diferença entre si, pelo teste de Tukey a p<0,05 de probabilidade.

Por outro lado, a eficiência de colheita para os talhões 1,2 e 3 foram de 71,42, 70,10 e 72,70%, respectivamente. Neste sentido, nota-se que o talhão 1 por

apresentar formato irregular, influenciou na quantidade de tempo de descarga de grãos (18,57%) no decorrer da operação da colheita de soja, sendo este valor superior quando comparado aos demais talhões.

Para eficiência de campo (E_c) o talhão 2 apresentou maiores valores (82%), seguido dos talhões 3 (57,65%) e 1 (54%). Tal situação pode ser explicada, pelo fato de que a E_c indica o quão eficiente é o sistema no que diz respeito à influência dos tempos de manobra e descarregamento. Diante disso, verifica-se que o talhão 1 (formato irregular) apresentou uma menor eficiência de campo, comprovado também por meio das variáveis T_d (Tempo de descarga) e T_m (Tempo de manobra) que apresentaram valores elevados neste talhão, diminuindo assim o tempo destinado para colheita (T_c).

Segundo Araldi et al. (2013) os valores médios encontrados para as eficiências de campo e de tempo em colheita mecanizada de arroz irrigado foram de 65,2% e 75,7%, respectivamente. Por outro lado, o presente estudo apresentou valores menores de eficiência de campo para os talhões irregular e trapezoidal, situação essa limitante ao desempenho operacional da colhedora e da colheita de soja.

A eficiência gerencial (E_g) indica a influência dos tempos parados sobre a operação de colheita, na qual se pode verificar o melhor resultado para o talhão 3 (92,72%) seguido pelo talhão 1 (90%) e talhão 2 (71,5%). Estes resultados se devem principalmente ao tempo de problemas/manutenção (T_p), dado que o talhão 2 (retangular) mesmo apresentando os melhores resultados nas outras variáveis (T_c , T_d e T_m), teve um tempo de parada/manutenção (T_p) muito elevado (17,9%), fazendo com que a E_g fosse a pior encontrada, entre os talhões avaliados.

Ao se comparar os três talhões em relação ao tempo de manobra (T_m), verifica-se que o talhão 3 apresentou o maior valor 36,52%. A possível explicação para tal fato é de um canal de vinhaça, no comprimento superior do talhão, em que dificultou o deslocamento da colhedora, bem como sua manobra ao final do comprimento do talhão. Além disso a geometria do terreno neste talhão desfavorecia o deslocamento mais contínuo da colhedora, aumentando a necessidade de manobras e, conseqüentemente, o tempo de manobra.

Nesta condição, pode ser observado que o formato retangular do talhão, facilitou as manobras em relação aos demais talhões. Tais resultados podem ser explicados pela sua alta relação comprimento/largura ($C/L=7,04$) o que diminui o número de manobras por área colhida..

A eficiência do tempo total de colheita (Figura 5) apresentou 100% de aproveitamento nos intervalos de tempo de 10:50-11:10 h, 11:30-11:40 h, 12:00 h, 12:20-12:40 h, 13:10h,13:40-13:50h e 14:10h, nos quais a máquina realizou o trabalho para qual foi projetada, ou seja, colhendo os grãos de soja.

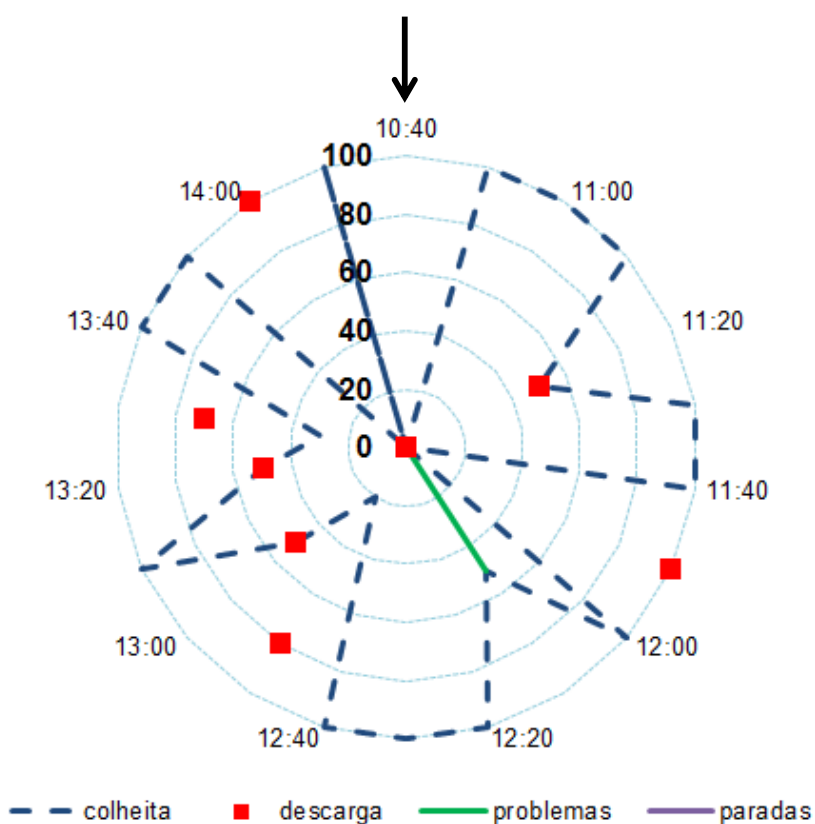


FIGURA 5. Eficiência de tempo do talhão irregular nas operações agrícolas e manutenção durante colheita mecanizada de soja.

De maneira geral, observa-se ainda que, a eficiência do tempo de colheita variou entre 20 a 50% no restante do tempo da colheita mecanizada de soja, situações estas que podem ser explicadas em virtude dos tempos de descarga de grãos e problema/manutenção. Ressalta-se que, todos os tempo de mensurados (colheita, descarga e paradas/manutenção) para cada avaliação, foram iniciado a

partir do tempo inicial (10:40h), para que assim fossem calculadas as respectivas eficiências.

Por outro lado, a eficiência do tempo de descarga foi 100% nos intervalos de tempo de 11:50 e 14:00h, na qual a colhedora necessitou parar de realizar a operação de colheita, para que o conjunto trator-transbordo descarregasse os grãos colhidos no caminhão graneleiro na lateral do talhão. Pode-se observar ainda que, a eficiência do tempo de descarga apresentou variação de 50 a 80% em relação ao tempo restante de colheita, e tais números podem ser explicados em virtude da localização da colhedora em relação ao transbordo, pois por se tratar de talhão com formato irregular, muitas vezes a descarga de grãos era dificultada pela posição em que a máquina se encontrava.

A eficiência do tempo de problema/manutenção apresentou somente um momento (12:10h), representando 50%, sendo que no restante da colheita mecanizada de soja não houve tais problemas. Tal queda de eficiência, pode ser explicada em virtude de a plataforma começar, a partir deste momento, a apresentar problemas na sua, provocando alterações na altura de corte oque ocasionou embuchamento da mesma. Este problema deve-se a uma falha no sistema de controle automático da plataforma de corte, que foi agravando-se até que, com a chegada da assistência técnica o problema fosse resolvido. Em função da necessidade de se aproveitar o tempo sem chuvas, não foi possível parar a máquina para esperar a assistência técnica.

Já no talhão 2 representado pela figura 6 foram necessários dois dias para finalizar a colheita e observa-se que a eficiência do tempo de colheita apresentou 100% de aproveitamento nos intervalos de tempo de para o primeiro dia: 14:50-15:10 h; 15:30-15:40 h ; 15:50-16:00 h; 16:20-16:00 h ; 17:00-17:10 h ; 17:30- 17:50 h ; 18:10-18:40 h ; 19:00-19:10 h. E para o segundo dia: 13:10-13:40; 14:20-15:00 h ; 17:30-17:40 h ; 17:50-18:10 h , assim entende-se que nesses intervalos a máquina realizou efetivamente a colheita dos grãos de soja.

A eficiência do tempo de colheita para o talhão 2 variou entre 20 a 80% no restante do tempo total da colheita mecanizada de soja, situações esta que podem ser explicadas em virtude dos tempos de descarga de grãos e problemas/manutenção.

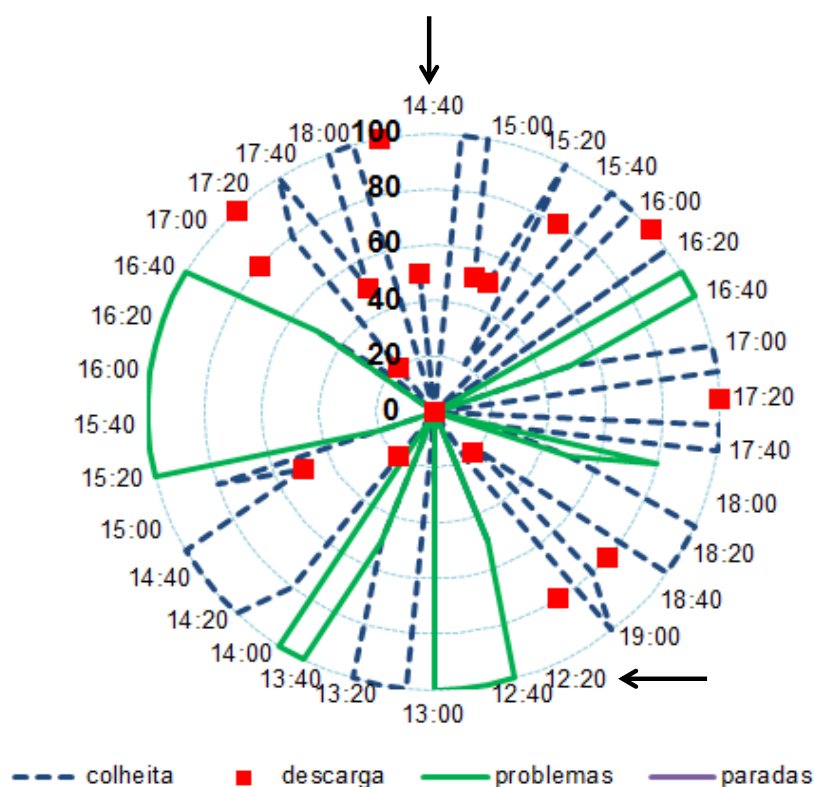


FIGURA 6. Eficiência de tempo do talhão retangular nas operações agrícolas e manutenção durante colheita mecanizada de soja.

Ainda para o primeiro dia, a eficiência do tempo de descarga foi 100% nos intervalos: 16:10-16:20 h; 17:20-17:30 h; e para o segundo dia: 17:10-17:20 h; 18:10-18:20 h.

Pode-se observar a variação de 20 a 80% da eficiência em relação ao tempo restante de colheita, e tais números podem ser justificados pelo formato do talhão. Observa-se ainda que, por apresentar um formato retangular, mas com um comprimento (tiro) muito longo, tal fato pode ter atrapalhado a logística de descarregamento dos grãos, uma vez que encontrava-se na área apenas um conjunto trator/transbordo e este, muitas vezes, estava do outro lado do talhão descarregando no caminhão graneleiro.

A eficiência do tempo de problema/manutenção apresentou os seguintes intervalos para o primeiro dia: 16:30-16:50h; 17:10-17:20h; 18:10-18:20h e para o segundo dia: 12:30-13:20h; 13:50-14:10h; 15:20-16:50h. Verifica-se que este talhão, quando comparado com os outros talhões avaliados, evidenciou maiores intervalos

para esta variável em razão do problema na plataforma que foi se agravando ao longo do tempo.

Nota-se que a partir das 17:30h do primeiro dia os intervalos de tempo para a colheita tornaram-se maiores, ou seja, depois de resolvido o defeito da plataforma, a colhedora passou mais tempo colhendo sem a intervenção de paradas para problema/manutenção.

Araldi et al. (2013) ao estudarem a eficiência da colheita mecanizada de arroz, descreveram que as manobras e descargas consumiram em média 11,1 e 10,8% do tempo total nas operações analisadas, respectivamente. Tal situação assemelha-se ao ocorrido neste trabalho para o talhão retangular que apresentou valores médios destas eficiências na ordem de aproximadamente 11%.

Na Figura 7 observa-se os intervalos de tempo para o talhão 3, assim como no talhão 2 foram necessários dois dias para colheita total do talhão. A eficiência do tempo de colheita apresentou 100% de aproveitamento nos intervalos de tempo de 13:10-13:30h; 13:40-14:00h; 14:10-14:20h; 14:30-14:50h; 15:00-15:30h; 15:30-15:50 h; 16:50-17:00h; 17:20-17:40h, na qual a máquina realizou somente a operação de colheita, sem interrupções por descarga de grãos e paradas/manutenção.

Já a eficiência do tempo de descarga foi 100% nos intervalos de tempo de 13:30h; 14:20h; e 18:20h (segundo dia) e entre os outros intervalos houve uma variação de 40 a 80% em relação ao tempo restante de colheita.

A eficiência do tempo de problema/manutenção apresentou somente dois momentos: 13:30h e 16:10-16:50h ,primeiro dia, representando 100%, sendo que no restante da colheita mecanizada de soja foi evidenciado apenas mais um ponto de 70% (14:00h). Os valores nos intervalos 13:30h e 14:00h podem ser explicados, dado que na noite anterior choveu na área e alguns locais ainda não estavam em condições apropriadas para colheita, ocasionando o embuchamento da plataforma. Em contrapartida, no intervalo 16:10-16:50 h foi necessária a parada para manutenção do ar condicionado da colhedora que apresentou problema durante a operação.

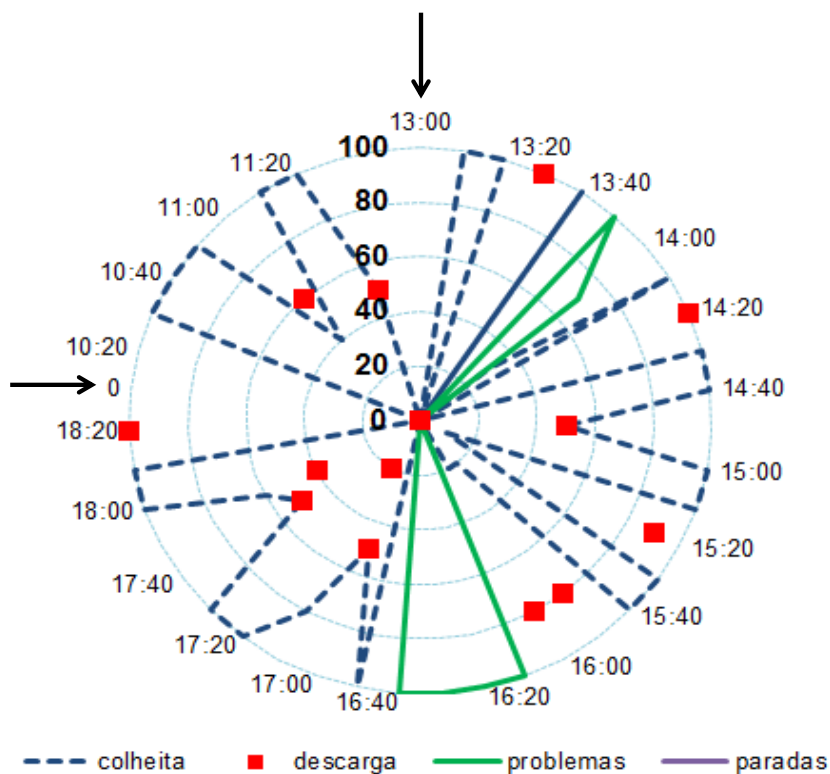


FIGURA 7. Eficiência de tempo do talhão trapezoidal nas operações agrícolas e manutenção durante colheita mecanizada de soja.

Molin et al. (2006) estudaram a utilização de dados georreferenciados na determinação de parâmetros de desempenho na colheita mecanizada de soja, e descreveram que tanto utilizando monitores para armazenamento de dados em tempo real quanto pela coleta dos tempos e movimentos manualmente, representam com proximidade a análise da eficiência desta operação agrícola. Tal resultado possui semelhança com o presente estudo, pois, a coleta de dados para análise dos tempos e movimentos realizada a partir da coleta manual.

2 Análise da estatística descritiva e de variância

2.1 Desempenho da colhedora de soja

Analisando-se os parâmetros da estatística descritiva, observa-se que a velocidade de deslocamento da colhedora no talhão irregular, retangular e trapezoidal e a rotação do cilindro no talhão trapezoidal, apresentaram distribuição normal de probabilidade de acordo com o teste de Anderson-Darling. Esta situação pode ser evidenciada pelo valor do teste de Anderson-Darling ser próximo de zero, o que retrata melhor distribuição do conjunto de dados durante a operação de colheita (Tabela 8).

TABELA 8. Estatística descritiva para as variáveis do desempenho da colhedora durante a colheita mecanizada de soja em três formatos de talhões: irregular, retangular e trapezoidal.

Talhão	Variáveis	Média*	σ	A	CV	AD	p-valor
Irregular	Velocidade (km h ⁻¹)	3,99 c	0,18	0,60	4,42	0,60	0,106 ^N
	Rotação do cilindro (rpm)	1054 b	39,20	94,00	3,72	2,42	0,002 ^A
	Rotação do motor (rpm)	2569 a	4,89	23,00	0,19	2,16	0,002 ^A
	Abertura do concâvo (mm)	32,89 a	5,02	10,00	15,25	3,29	0,001 ^A
Retangular	Velocidade (km h ⁻¹)	4,50 b	0,48	2,20	10,72	0,63	0,091 ^N
	Rotação do cilindro (rpm)	1100 a	9,69	40,00	0,88	2,09	0,004 ^A
	Rotação do motor (rpm)	2565 a	8,88	39,00	0,35	2,42	0,002 ^A
	Abertura do concâvo (mm)	34,17 a	5,08	10,00	14,88	5,01	0,001 ^A
Trapezoidal	Velocidade (km h ⁻¹)	5,04 a	0,28	1,30	5,70	0,45	0,251 ^N
	Rotação do cilindro (rpm)	1089 a	10,90	53,00	1,00	0,86	0,023 ^N
	Rotação do motor (rpm)	2566 a	7,15	33,00	0,28	2,29	0,002 ^A
	Abertura do concâvo (mm)	33,80 a	5,10	10,00	15,09	4,34	0,003 ^A

σ : desvio padrão; CV (%): coeficiente de variação; AD: teste de normalidade de Anderson-Darling; (N): distribuição normal – $p > 0,05$; A: distribuição não normal – $p < 0,05$. PP: perdas da plataforma; PMI: perdas dos mecanismos internos; PT: perdas totais; P%: perdas totais (%).

Em cada coluna, para cada fator, as letras indicam a diferença entre si, pelo teste de Tukey a $p < 0,05$ de probabilidade.

A rotação do motor apresentou os menores valores dos coeficientes de variação, retratando a menor variação desta variável durante a operação de colheita de soja, enquanto que a rotação do cilindro apresentou os maiores valores de desvio-padrão e amplitude, resultados decorrentes do dinamismo desta regulação ao longo da colheita, em virtude do teor de água dos grãos, para possivelmente minimizar as perdas durante a colheita.

A consideração possível minimização das perdas para o presente trabalho, foi apresentada por Tabile et al. (2008), ao relatarem que a maior rotação do cilindro trilhador, associado ao menor teor de água dos grãos, não apresentou os maiores valores das perdas dos mecanismos internos e totais.

A velocidade de deslocamento da colhedora de soja foi maior no talhão trapezoidal, seguido pelo retangular e irregular. Observa-se ainda que a rotação do cilindro apresentou os maiores valores para o talhão retangular e trapezoidal, em relação ao irregular. A possível explicação para a menor velocidade de trabalho da colhedora talhão irregular, em relação aos demais, pode ser em razão de que, em virtude deste formato, o operador da colhedora tentou por começar a colheita em um ângulo de 45° em relação as linhas semeadas. Tal fato foi realizado a fim de aproveitar o deslocamento da máquina, o que tornava a colheita em uma condição não favorável, e a escolha de menor velocidade foi na tentativa de se tentar causar menores perdas durante a colheita, levando-se em consideração também o menor teor de água dos grãos nesta situação.

Mesquita et al. (2001) analisaram a influência da velocidade de deslocamento nos níveis de perdas quantitativas, porém, com coeficiente de variação de 71,7%, concluíram que as perdas quantitativas tendem a aumentar de forma acentuada com velocidades superiores a 7 km h⁻¹ situação esta que não ocorreu para o presente trabalho em que a maior velocidade foi de 5 km h⁻¹, verificada no talhão trapezoidal.

Ressalta-se ainda que a rotação do cilindro trilhador, também foi menor no talhão irregular, em comparação aos demais analisados. Tal condição pode ser explicada em virtude do menor teor de água dos grãos, tentando desta maneira minimizar as perdas por quebras e/ou trincas nos grãos.

2.2 Parâmetros da colheita mecanizada de soja

O teor de água e temperatura dos grãos, perdas na plataforma, mecanismos interna, totais e em relação a produtividade para o talhão irregular e o teor de água dos grãos para o talhão retangular, apresentaram distribuição normal de probabilidade de acordo com o teste de Anderson-Darling (Tabela 9).

O teor de água e temperatura dos grãos, apresentaram os menores valores dos coeficientes de variação, desvio-padrão e amplitude, retrando que para estas variáveis, apesar de haver variabilidade inerente ao processo, os valores obtidos não foram muito dispersos em relação a média geral do conjunto de dados.

Por outro lado, as perdas dos mecanismos internos apresentou os maiores valores do coeficiente de variação, sendo considerados muito altos de acordo com a classificação de Pimentel-Gomes e Garcia (2002), situação que retrata elevada variabilidade deste tipo de perdas ao longo da colheita mecanizada de soja, seguidas pelas perdas na plataforma, totais e em relação à produtividade. Ressalta-se ainda que os maiores valores de desvios-padrão e amplitude são encontrados para as perdas na plataforma, em relação as demais, resultando em dispersão das mesmas em relação a média geral, indicando a maior variabilidade decorrente da operação de colheita.

O teor de água e a temperatura dos grão apresentaram os maiores valores médios para o talhão trapezoidal e irregular, respectivamente (Tabela 9). Estes resultados podem ser explicados em virtude da condição climática no momento da colheita, pois havia ocorrido chuva anteriormente à colheita, fato este que aumentou o teor de água para os grãos colhidos neste talhão, enquanto que no talhão irregular, os grãos estavam secos o que proporcionou sua maior temperatura em virtude da colheita ser realizada em uma condição climática em um período seco.

As perdas totais (PT), nos mecanismos internos (PMI) e em relação à produtividade (P%) não apresentam diferenças nos valores médios entre os talhões avaliados. Por outro lado, as perdas na plataforma (PP) foram maiores para o talhão retangular quando comparado com o talhão trapezoidal. Tal fato, pode ser explicado em junção das perdas na plataforma, apresentarem maior quantidade no talhão retangular em virtude do problema ocorrido com a regulagem da colhedora, levando

um período de tempo considerável tempo até que a mesma estivesse de maneira adequada para que a operação de colheita fosse realizada em perfeitas condições.

TABELA 9. Estatística descritiva para as variáveis avaliadas durante a colheita mecanizada de soja em três formatos de talhões: irregular, retangular e trapezoidal.

Talhão	Variáveis	Média	σ	A	CV	AD	p-valor
Irregular	Teor de água (%)	11,75 b	0,60	2,50	5,11	0,40	0,326 ^N
	Temperatura (°C)	37,72 a	2,25	9,70	5,96	0,80	0,032 ^N
	PT (kg ha ⁻¹)	141,38 a	28,00	91,70	19,80	0,38	0,373 ^N
	PMI (kg ha ⁻¹)	16,30 a	13,18	43,30	80,85	0,75	0,042 ^N
	PP (kg ha ⁻¹)	125,08 ab	16,71	53,60	13,36	0,58	0,115 ^N
	P (%)	5,70 a	1,13	3,69	19,80	0,38	0,373 ^N
Retangular	Teor de água (%)	11,5 b	1,47	5,20	12,78	0,75	0,045 ^N
	Temperatura (°C)	33,4 b	4,58	12,60	13,73	1,51	0,003 ^A
	PT (kg ha ⁻¹)	169,2 a	62,60	294,2	37,02	2,86	0,002 ^A
	PMI (kg ha ⁻¹)	32,3 a	32,69	148,8	101,08	2,53	0,003 ^A
	PP (kg ha ⁻¹)	136,9 a	31,27	147,3	22,85	1,94	0,001 ^A
	P (%)	6,5 a	2,41	11,32	37,02	2,86	0,002 ^A
Trapezoidal	Teor de água (%)	15,11 a	0,92	3,80	6,09	1,24	0,002 ^A
	Temperatura (°C)	33,77 b	2,69	8,80	7,99	1,93	0,004 ^A
	PT (kg ha ⁻¹)	141,53 a	38,88	179,8	27,47	2,57	0,001 ^A
	PMI (kg ha ⁻¹)	22,13 a	22,33	95,40	100,91	1,66	0,002 ^A
	PP (kg ha ⁻¹)	119,50 b	21,33	97,30	17,86	1,62	0,002 ^A
	P (%)	5,71 a	1,57	7,25	27,47	2,57	0,001 ^A

σ : desvio padrão; A: amplitude; CV (%): coeficiente de variação; AD: teste de normalidade de Anderson-Darling; (distribuição normal – $p > 0,05$; distribuição não normal – $p < 0,05$). PP: perdas da plataforma; PMI: perdas dos mecanismos internos; PT: perdas totais; P%: perdas totais (%).

*Em cada coluna, para cada fator, as letras indicam a diferença entre si, pelo teste de Tukey a $p < 0,05$ de probabilidade.

Segundo Tabile et al. (2008) que estudaram a rotação do cilindro trilhador associando-as ao teor de água dos grãos, as perdas dos mecanismos internos, foram maiores do que as perdas na plataforma, situação esta que diferente do que aconteceu no presente estudo, pois, as perdas na plataforma foram maiores

3 Controle estatístico de qualidade

3.1 Desempenho da colhedora de soja

3.1.1 Valores padrões de aleatoriedade (Run Charts)

A análise da detecção de padrões (agrupamento, mistura, tendência e oscilação) de ordem não-aleatória ou que ainda ocorrem de maneira sistemática no decorrer do processo, possui certa dificuldade no reconhecimento e interpretação pelos avaliadores quando estes realizam tal tarefa analisando somente os gráficos de controle de valores individuais. Esta verificação requer experiência do avaliador bem como o conhecimento pleno do processo como um todo, além de todo conhecimento sobre os parâmetros estatísticos que regem tais padrões (VOLTARELLI, 2013).

Na Tabela 10 verificam-se os valores padrões de não aleatoriedade detectados pelas análises dos gráficos sequenciais para o indicador de qualidade rotação do cilindro nos talhões irregular e retangular, com os padrões de tendência e mistura, respectivamente. Observa-se também que, a abertura do côncavo apresentou padrões de agrupamento e tendência para o talhão irregular e trapezoidal, enquanto que no talhão retangular houve padrões de mistura e oscilação.

O padrão não aleatório de tendência para o indicador de qualidade rotação do cilindro, pode ser explicado em virtude do aumento ou decréscimo de suas velocidades angulares, resultando em uma sequência de pontos que determinam tal comportamento. No entanto, o padrão de mistura para a rotação do cilindro, retrata que existe uma variação extrema na sua velocidade angular, podendo ser explicado em função da necessidade de trilhar os grãos, sendo associado ao seu teor de água, abrindo e fechando o côncavo em relação ao cilindro trilhador.

TABELA 10. Valores padrões de probabilidade dos gráficos sequenciais para os indicadores de qualidade do desempenho da colhedora de soja.

Indicadores de qualidade	Talhão	Padrões			
		A **	M	T	O
Velocidade (km h ⁻¹)	Irregular	0,50 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,94 ^{ns}
	Retangular	0,40 ^{ns}	0,60 ^{ns}	0,18 ^{ns}	0,82 ^{ns}
	Trapezoidal	0,61 ^{ns}	0,41 ^{ns}	0,05 ^{ns}	0,95 ^{ns}
Rotação do cilindro (rpm)	Irregular	0,85 ^{ns}	0,15 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,65 ^{ns}
	Retangular	0,98 ^{ns}	0,02 [*]	0,18 ^{ns}	0,68 ^{ns}
	Trapezoidal	0,76 ^{ns}	0,24 ^{ns}	0,12 ^{ns}	0,88 ^{ns}
Rotação do motor (rpm)	Irregular	0,29 ^{ns}	0,71 ^{ns}	0,01 [*]	0,99 ^{ns}
	Retangular	0,64 ^{ns}	0,36 ^{ns}	0,32 ^{ns}	0,68 ^{ns}
	Trapezoidal	0,47 ^{ns}	0,53 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,94 ^{ns}
Abertura do concâvo (mm)	Irregular	0,00 [*]	1,00 ^{ns}	0,00 [*]	1,00 ^{ns}
	Retangular	1,00 ^{ns}	0,00 [*]	1,00 ^{ns}	0,00 [*]
	Trapezoidal	0,00 [*]	1,00 ^{ns}	0,00 [*]	1,00 ^{ns}

**A – Agrupamento; M – Mistura; T – Tendência; O – Oscilação; *valores padrões de não aleatoriedade detectados pelo teste de probabilidade a $p < 0,05$; ^{ns} valores padrões de aleatoriedade detectados pelo teste de probabilidade a $p > 0,05$.

Por outro lado, indicador de qualidade abertura do concâvo, apresentou padrões de agrupamento e tendência para os talhões irregular e trapezoidal, respectivamente, e, mistura e oscilação para o talhão retangular. Tal resultado, pode ser aceitável para este parâmetro, pois por um determinado tempo a máquina trabalhou na mesma abertura, o que caracterizou esse agrupamento de pontos, e em certos momentos houve pequenas variações e/ou aumentos ou decréscimos na sua abertura em virtude da regulagem dinâmica durante a colheita, sendo detectados padrão não-aleatório de oscilação e tendência, respectivamente.

A aleatoriedade ou causas naturais dos valores padrões retratam que, para esses indicadores de qualidade, os mesmo não causam ou geram a instabilidade do processo, o que tem como consequência maior segurança na interpretação dos resultados e, posteriormente, no desempenho da qualidade da operação.

Observa-se ainda que não houve diagnóstico de padrões de não-aleatoriedade para a velocidade de trabalho da colhedora, para todos os talhões avaliados, podendo

indicar que sob a óptica deste resultado, este indicador de qualidade não sofre influências de potenciais causas especiais externas ao processo de colheita.

Voltarelli et al. (2013) relataram que a análise dos gráficos sequenciais pode ser complementada quando utilizada conjuntamente com as cartas de controle, pois a distribuição dos pontos ou repetições ao longo do processo podem ser as mesmas para os dois testes. A diferença entre eles é que o primeiro detecta padrões de não aleatoriedade por meio do teste de probabilidade ($p < 0,05$), em função dos desvios padrão da média e utilizando como base de cálculo (para o valor p) parâmetros estatísticos da distribuição normal, e o segundo, verifica a estabilidade do processo somente em função do desvio-padrão da média.

Portanto, os indicadores de qualidade que apresentaram padrão (ões) de não aleatoriedade, ou seja, sendo considerados sob influência de causas externas atuando no processo, serão discutidos a seguir juntamente com as análises das cartas de controle.

3.1.2 Cartas de controle da média móvel exponencialmente ponderada

A velocidade de deslocamento da colhedora de soja apresentou comportamento estável durante a operação, para os três formatos de talhões avaliados, com todos os pontos dentro dos limites inferior e superior de controle (Figura 8). Ressalta-se que, o talhão trapezoidal propiciou maior velocidade, pois, sua colheita foi realizada após a manutenção/regulagem da plataforma da colhedora ser solucionado, em virtude da oscilação da altura de corte.

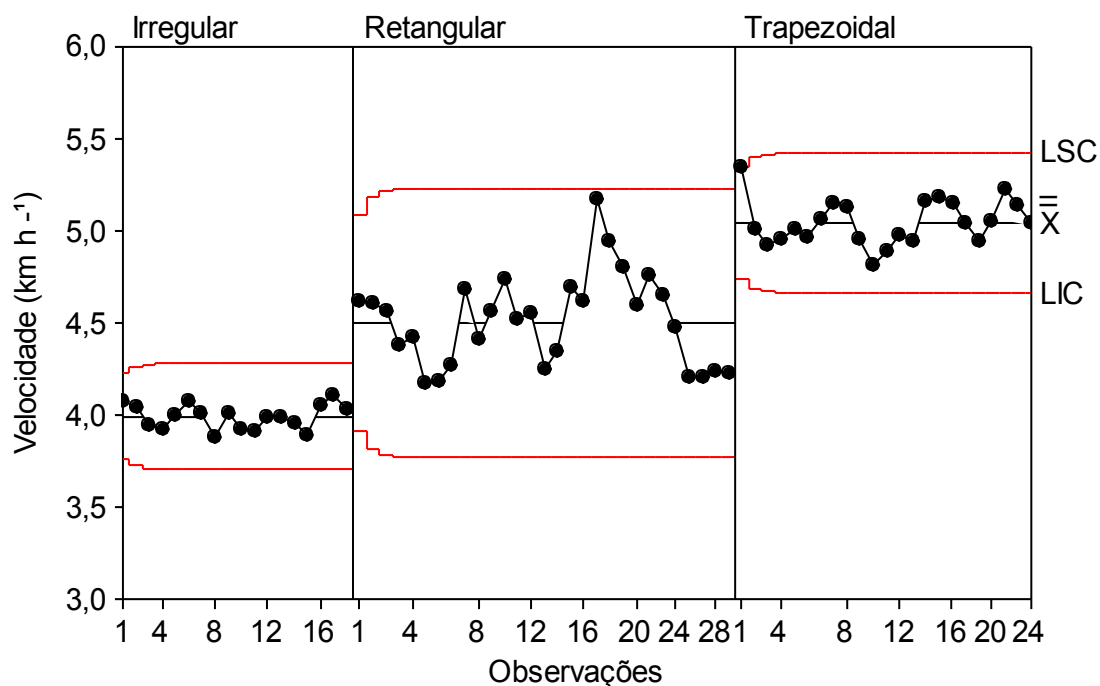


FIGURA 8. Cartas de controle para a velocidade da colhedora durante a colheita mecanizada da soja em diferentes formatos de talhão. LSC: Limite superior de controle; LIC: Limite inferior de controle. \bar{x} : Média móvel exponencialmente ponderada dos valores amostrais.

Ressalta-se ainda que, ao associar os valores padrões de não-aleatoriedade (Tabela 10) juntamente a este tipo de carta de controle, pode-se verificar somente ocorrência de causas naturais nas duas análises, fato este que pode contribuir para uma melhor análise do processo, bem como auxiliar na melhor tomada de decisão no decorrer do processo.

Por outro lado, observa-se que a menor variação deste indicador de qualidade ocorreu no talhão com formato irregular, com a maioria dos pontos amostrais concentrando-se ao redor de um único valor, o que refletiu em limites de controle próximos à média, situação inversa ao que ocorreu no talhão retangular.

Na Figura 9 observamos que o indicador de qualidade rotação do cilindro da colhedora de soja apresentou comportamento semelhante ao da velocidade de deslocamento, sendo verificada a estabilidade do processo durante a operação para

os três formatos de talhões, com todos os pontos dentro dos limites inferior e superior de controle.

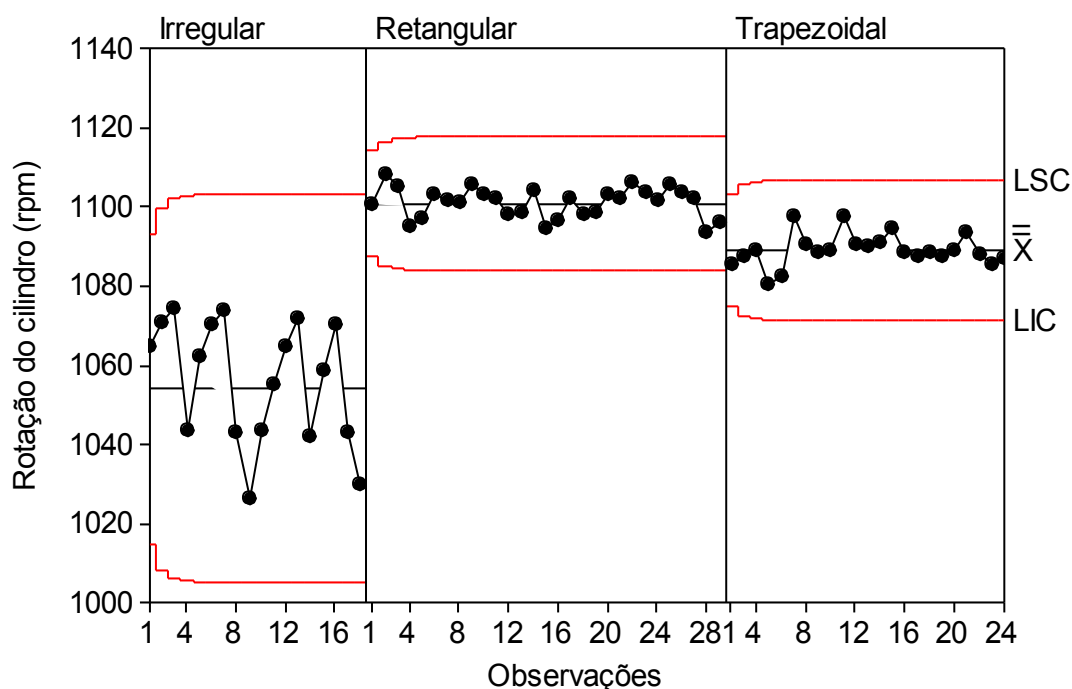


FIGURA 9. Cartas de controle para a rotação do cilindro da colhedora durante a colheita mecanizada de soja para diferentes formatos de talhões. LSC: Limite superior de controle; LIC: Limite inferior de controle. \bar{x} : Média móvel exponencialmente ponderada dos valores amostrais.

Nota-se que a maior variação ocorreu no talhão com formato irregular, já para o talhão retangular e trapezoidal a maioria dos pontos amostrais concentraram-se ao redor de um único valor, o que refletiu em limites de controle próximos à média. Isto deve-se principalmente ao teor de água dos grãos, pois durante a colheita do talhão irregular os grãos estavam mais secos e assim a rotação do cilindro foi menor, enquanto que nos outros talhões os grãos estavam mais úmidos devido às chuvas que ocorreram no período anterior à colheita.

Todavia, apesar de haver padrões de aleatoriedade, para o talhão retangular e irregular de mistura e tendência (Tabela 10), respectivamente, no decorrer do processo, este foi considerado estável na análise das cartas de controle. Tal situação indica que o uso destas duas ferramentas da qualidade são complementares para a correta análise e interpretação do processo, para posterior

tomada de decisão a fim de resultar em incremento de qualidade, por meio de um plano de melhoria.

A rotação do motor da colhedora de soja, ilustrada na Figura 10 mostrou comportamento instável durante a operação de colheita, apresentando um ponto fora do limite inferior de controle para os talhões irregular (observação nº 5) e trapezoidal (observação nº 8). Porém, pode-se atribuir estes pontos ao fato do intervalo entre os limites estabelecidos serem menores, e então, estas ocorrências não chegam a afetar o desempenho da máquina durante a colheita.

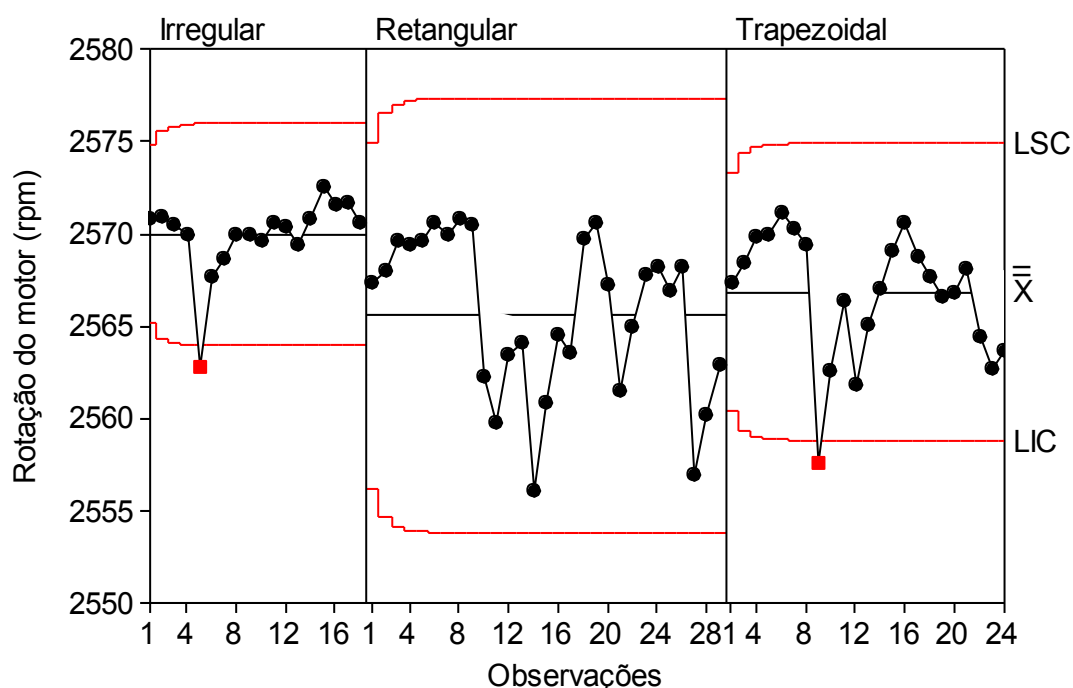


FIGURA 10. Cartas de controle para a rotação do motor da colhedora durante a colheita mecanizada de soja em diferentes formatos de talhões. LSC: Limite superior de controle; LIC: Limite inferior de controle. \bar{x} : Média móvel exponencialmente ponderada dos valores amostrais.

Por outro lado, o talhão retangular mostrou-se estável durante todo o processo de colheita, com todos os pontos dentro dos limites inferior de superior de controle, mas uma maior variação dos valores de rotação quando comparada com o talhão irregular. Nota-se que, apesar de não haver padrões de não aleatoriedade intrinsecos ao processo, este foi instável para os talhões irregular e trapezoidal, o que

retrata que somente a análise isolada dos padrões (*run charts*), pode levar à inadequada interpretação e entendimento do processo.

Conforme relatado por Chioderoli et al. (2012) as perdas de grãos na colheita mecanizada de soja, apresentaram instabilidade do processo para o indicador de qualidade rotação do motor, situação semelhante ao evidenciado nos talhões irregular e trapezoidal para o presente trabalho. Ressalta-se ainda que, apesar dos processos se apresentarem fora de controle, isto não atrapalhou o desempenho da colhedora durante a operação.

A abertura do concâvo apresentou comportamento instável durante a operação, para os três formatos de talhões avaliados, com a maioria dos pontos fora dos limites inferior e superior de controle (Figura 11). Esta situação pode ser explicada pelo razão de os limites calculados terem valores muito próximos um do outro, indicando a menor variabilidade durante a colheita.

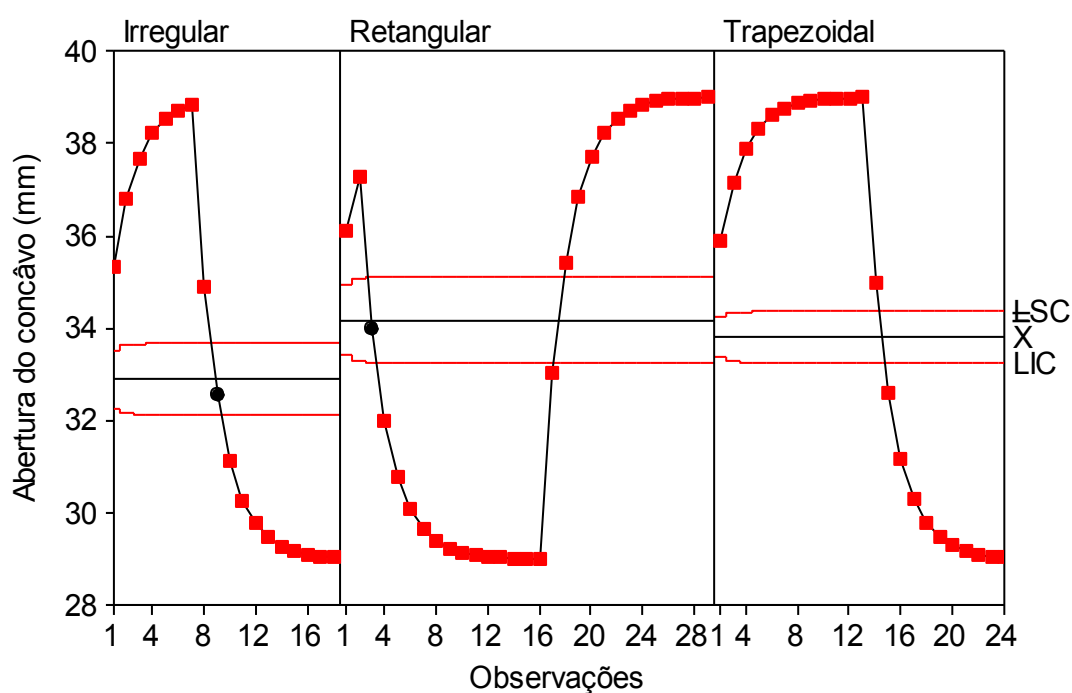


FIGURA 11. Cartas de controle para a abertura do concâvo da colhedora durante a colheita mecanizada de soja e diferentes formatos de talhões (LSC: limite superior de controle; LIC: limite inferior de controle; X: Média móvel exponencialmente ponderada dos valores amostrais).

A regulagem da abertura do concâvo esta ligada diretamente ao teor de água dos grãos, sendo estabelecido um intervalo de 29 a 39 mm, de modo que, quando os grãos estivessem com menor teor de água, maior seria a abertura do concâvo e vice-e-versa. Assim, apesar de a variável se encontrar fora de controle, potencialmente o processo não pode ser considerado ineficiente ou prejudicial à qualidade da colheita, já que a variação não foi expressiva.

Observa-se ainda que, nos talhões irregular e trapezoidal, como os grãos se encontravam mais secos no início da colheita, verificou-se os maiores valores para a abertura do concavo, e à medida em que o teor de água aumentava, esta abertura diminuía a fim melhor trilhar os grãos.

De acordo com Ferreira et al. (2007), ao estudarem a colheita mecanizada de soja, relacionando duas regulagens da abertura do concavo, 29 e 39 mm, com três velocidades de deslocamento na colheita, 3, 3,7 e 6 km h⁻¹, a menor folga entre o cilindro e o cônevo associado com a menor velocidade, proporcionou maiores perdas totais. Ao comparar tais resultados com o presente trabalho, este apresenta resultados diferentes, em que a abertura do concavo não influenciou diretamente as perdas totais, para as mesmas velocidades de trabalho.

3.1.3 Análise da capacidade do desempenho da colhedora de soja

Os indicadores de qualidade rotação do cilindro nos talhões irregular e retangular e rotação do motor em todos os talhões avaliados (irregular, retangular e trapezoidal) não apresentaram as duas premissas básicas para a análise da capacidade do processo, que são a normalidade e a estabilidade do processo, tornando-a, assim, inviável esta análise por não representarem com confiabilidade determinados índices de capacidade. Ressalta-se ainda nos gráficos de capacidade apresentados a seguir, as siglas “Dp potencial” e “Dp geral” representa o desvio padrão potencial e o desvio padrão geral, respectivamente

Para o indicador de qualidade velocidade de trabalho no talhão irregular, houve a considerável aproximação das curvas de distribuição potencial e geral, sendo evidenciado pela proximidade dos índice Cp (índice de capacidade potencial) e Pp (índice de capacidade geral), porém, o Pp é maior do que Cp,

resultando na potencial produção de itens satisfatórios produzidos por um período maior de tempo (Figura 12).

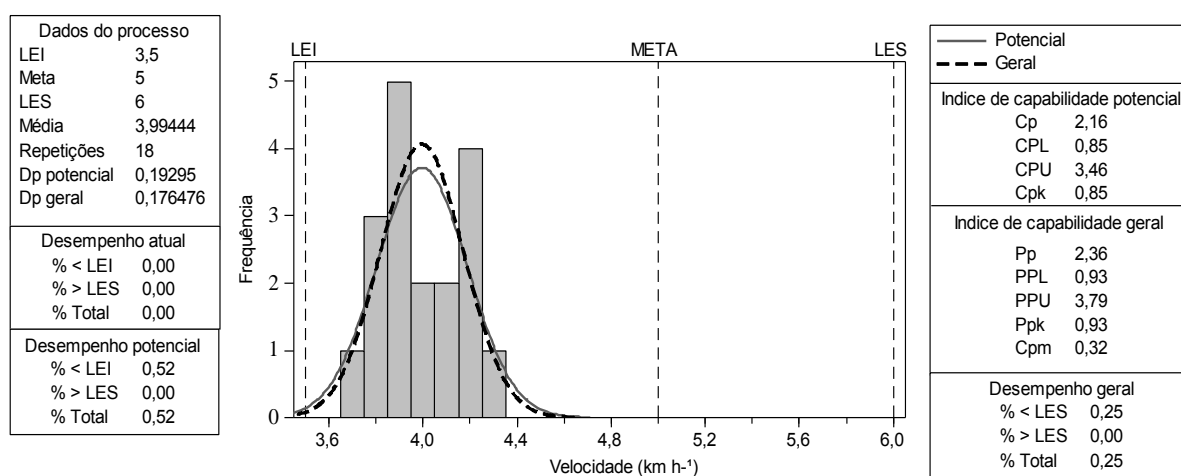


FIGURA 12. Análise da capacidade do processo para velocidade de trabalho da colhedora no talhão irregular (A) durante a colheita mecanizada de soja.

Pode-se observar ainda, pelo desempenho atual do processo que houve a não produção de itens ou observações fora dos limites especificados (LES e LEI), retratando que os valores atendem aos limites das especificações. Entretanto, os índices de capacidade ($C_p = 2,16$ e $P_p = 2,36$) foram superiores ao estipulado como mínimo aceitável (1,33), para que o processo seja considerado capaz de produzir resultados dentro dos limites específicos a curto e em longo prazo, respectivamente.

Os índices C_p e C_{pm} (2,16 e 0,32, respectivamente), podem ser considerados afastados entre si, porém, o valor de C_{pk} (0,85) é superior ao C_{pm} , sendo confirmada a descentralização de todo o processo, em relação à meta estabelecida, mas o mesmo se mostra capaz em curto e em longo prazo. Este valor C_{pk} positivo é um indicativo de que a média geral (3,99) está dentro das especificações, ou seja, entre os LEI e LES.

Quanto a capacidade do processo da velocidade no talhão retangular, apesar da proximidade apresentada pelas curvas de distribuição potencial e geral, o processo possui uma leve descentralização em relação à meta especificada, podendo também ser observado por meio da verificação da proximidade dos índices

Cp (0,85), Pp (0,86) e Cpm (0,48) (Figura 13). Fato este, que retrata o processo como sendo incapaz de produzir itens a curto e em longo prazo, em função dos índices Cp e Pp serem menores que 1,33 tanto para o índice de capacidade potencial e geral, respectivamente.

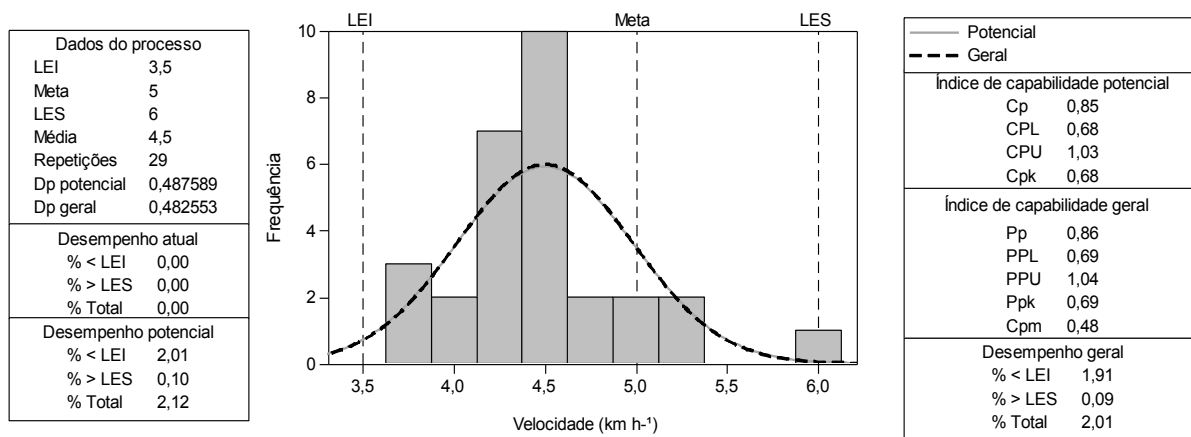


FIGURA 13. Análise da capacidade do processo para a velocidade da colhedora no talhão retangular durante a colheita mecanizada de soja.

Os baixos valores de Cpk e Ppk podem ser indicativos de que o processo está centrado, mas existe uma variabilidade ocorrendo além da faixa dos limites de especificação, podendo ser demonstrado pelos valores do desempenho geral do processo, na qual, existem 2,02% das observações com influências de causas especiais e aleatórias. Esta situação representa que mesmo se estes valores possuírem distribuição normal e o processo for estável, existirá variação entre os valores amostrais, ou seja, é impossível atingir a plena capacidade do processo, a não ser que medidas de triagem, monitoramento contínuo e melhoria da operação como um todo fossem efetuadas.

Por outro lado no talhão trapezoidal, a capacidade do processo em função da velocidade de deslocamento da colhedora, apresentou-se potencialmente capaz a atender aos limites de especificações a curto (Cp = 1,63) e em longo prazo (Pp = 1,45). Porém, a considerável aproximação das curvas de distribuição potencial e geral, pode indicar que o processo está centrado na meta, sendo evidenciado pelos índices, Cpk (1,25), Ppk (1,11) e Cpm (1,15) situarem-se com valores próximos um

do outro o que também caracteriza a centralização do processo em relação à meta estabelecida (Figura 14).

Pelo desempenho atual do processo, observa-se que não houve a produção de itens ou observações fora dos limites especificados (LES e LEI) refletindo que 100 % dos valores atendem aos limites estabelecidos. A análise do desempenho potencial do processo evidencia que se houver a eliminação das causas especiais e se considerarmos somente os fatores internos, restarão somente 0,01% de causas aleatórias atuando no processo, situação esta em que se pode recomendar o monitoramento não contínuo do processo para livrá-lo destas variações.

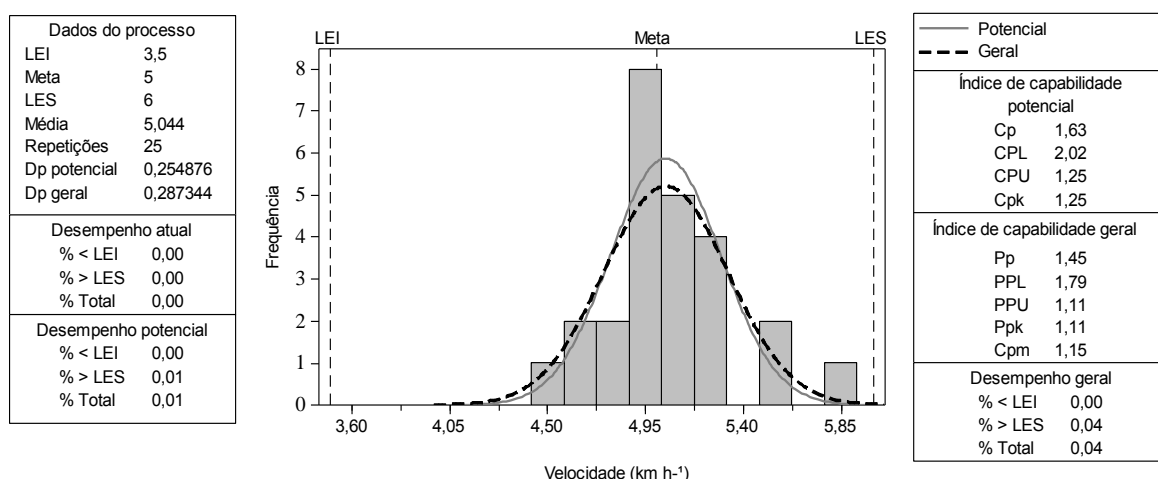


FIGURA 14. Análise da capacidade do processo para a velocidade da colhedora no talhão trapezoidal durante a colheita mecanizada de soja.

Pela análise das curvas de distribuição potencial e geral verifica-se que o processo não está centrado na meta ($C_p > C_{pk}$ e $P_p > P_{pk}$), respectivamente. Porém, os índices C_p (1,47) e P_p (1,53) são elevados podendo retratar menor variação entre os limites de especificação (distribuição com centralização mais próxima do LES e não na meta), sendo que a associação destes dois fatores determinam que o processo é capaz de atender aos resultados esperados, entre os limites de especificação em longo prazo ($P_p > 1,33$) e, possivelmente a curto prazo ($C_p > 1,33$) para a rotação do motor no talhão trapezoidal durante a colheita mecanizada de soja (Figura 15).

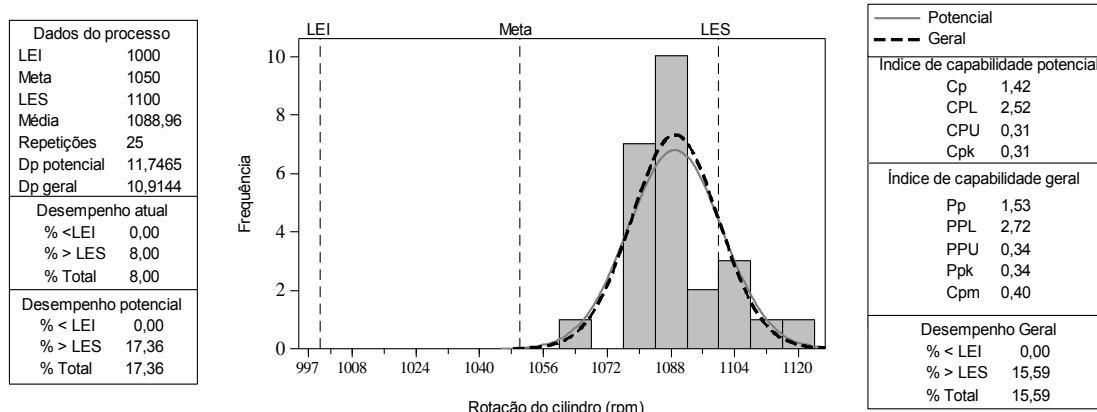


FIGURA 15 Análise da capacidade do processo para a rotação do cilindro da colhedora no talhão trapezoidal durante a colheita mecanizada de soja.

O desempenho geral do processo produziu 15,59% das observações fora das especificações, quando se toma para base de cálculo as variações intrínsecas (aleatórias) e extrínsecas (não aleatória) ao mesmo. A eliminação da fonte de variação externa (não aleatória) ao processo, ou seja, havendo a presença somente de causas aleatórias, o mesmo produz 17,36% de observações fora das especificações (acima LES), portanto, para tal situação nem sempre é recomendável à eliminação das causas especiais, pela análise completa de todo o processo de colheita, pois quando se retira as variações externas ao mesmo, ficando somente à variabilidade inerente à operação, a quantidade de itens produzidos foras das especificações aumentam suavemente.

3.2 Parâmetros da colheita mecanizada de soja

3.2.1 Valores padrões de aleatoriedade (*Run Charts*)

Para os indicadores de qualidade teor de água (%) e perdas totais (kg ha^{-1}) não foram encontrados padrões de causas não naturais ou de origem não aleatória para os três formatos de talhão avaliados (irregular, retangular e trapezoidal) (Tabela 11), bem como perdas na plataforma (kg ha^{-1}) e perdas totais (%) para os talhões retangular e trapezoidal, e, para as perdas dos mecanismos internos (kg ha^{-1}) somente para o talhão trapezoidal.

Esta ausência de padrões pode indicar que os dados possuem certa distribuição homogênea de seus valores ao redor da média, independente da situação encontrada para as cartas de controle, não causando potenciais prejuízos ao processo, uma vez que essa variação aleatória é comum ao mesmo.

Há de se notar ainda que foi detectado valor padrão de oscilação somente para as perdas dos mecanismos internos no talhão retangular, o que potencialmente levaria o processo a ser instável, o que foi confirmado na análise da carta de controle. Isto pode ser explicado pelas perdas encontradas nos pontos coletados logo após os consecutivos “e bucha entos” neste talhão

As perdas da plataforma (kg ha^{-1}) e perdas totais (%) apresentaram padrão de agrupamento dos valores ao redor da média, situando-se também afastados da mesma (próximo aos limites de controle) ambas para o talhão irregular, assim como a temperatura dos grãos para todos os talhões avaliados (irregular, retangular e trapezoidal), podendo indicar grupos de pontos próximos à média e/ou moderadamente afastados dos limites de controle.

Por outro lado a temperatura dos grãos apresentou valor padrão de tendência para o talhão trapezoidal, o que pode ser atribuído ao horário em que foi realizada a colheita nesses pontos (colheita realizada no período da tarde), referindo-se a uma tendência em ordem decrescente. Observa-se também que existe tal padrão para as perdas dos mecanismos internos somente para o talhão irregular, que pode ser explicado em virtude de a colheita ter se iniciado neste talhão e, depois de ajustada a regulagem adequada é observada uma queda das perdas.

Segundo Cassia et al. (2013) utilizando gráficos sequenciais para a detecção de padrões de não aleatoriedade decorrentes do processo de colheita mecanizada de café em plantio circular, também constatou a ocorrência de tendência de seus indicadores de qualidade, como no presente trabalho.

TABELA 11. Valores padrões de probabilidade dos gráficos sequenciais para os indicadores de qualidade durante a colheita mecanizada de soja.

Indicadores de qualidade	Talhão	Padrões			
		A **	M	T	O
Teor de água dos grãos (%)	Irregular	0,17 ^{ns}	0,83 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,22 ^{ns}
	Retangular	0,35 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,78 ^{ns}	0,22 ^{ns}
	Trapezoidal	0,11 ^{ns}	0,89 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,80 ^{ns}
Temperatura dos grãos (°C)	Irregular	0,03 *	0,97 ^{ns}	0,35 ^{ns}	0,65 ^{ns}
	Retangular	0,00 *	0,99 ^{ns}	0,14 ^{ns}	0,86 ^{ns}
	Trapezoidal	0,02 *	0,98 ^{ns}	0,03 *	0,97 ^{ns}
PP (kg ha ⁻¹)	Irregular	0,01 *	0,99 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,94 ^{ns}
	Retangular	0,78 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,56 ^{ns}
	Trapezoidal	0,20 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,80 ^{ns}
PMI (kg ha ⁻¹)	Irregular	0,07 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,02 *	0,98 ^{ns}
	Retangular	0,50 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,96 ^{ns}	0,04 *
	Trapezoidal	0,50 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,58 ^{ns}	0,42 ^{ns}
PT (kg ha ⁻¹)	Irregular	0,07 ^{ns}	0,93 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,94 ^{ns}
	Retangular	0,35 ^{ns}	0,65 ^{ns}	0,62 ^{ns}	0,38 ^{ns}
	Trapezoidal	0,50 ^{ns}	0,50 ^{ns}	0,88 ^{ns}	0,12 ^{ns}
P (%)	Irregular	0,01 *	0,99 ^{ns}	0,06 ^{ns}	0,94 ^{ns}
	Retangular	0,78 ^{ns}	0,22 ^{ns}	0,44 ^{ns}	0,56 ^{ns}
	Trapezoidal	0,20 ^{ns}	0,80 ^{ns}	0,20 ^{ns}	0,80 ^{ns}

**A – Agrupamento; M – Mistura; T – Tendência; O – Oscilação; *valores padrões de não aleatoriedade detectados pelo teste de probabilidade a $p < 0,05$; ^{ns} valores padrões de aleatoriedade detectados pelo teste de probabilidade a $p > 0,05$. PP: perdas da plataforma; PMI: perdas dos mecanismos internos; PT: perdas totais; P (%): perdas totais em relação a produtividade.

3.2.2 Cartas de controle da média móvel exponencialmente ponderada

O teor de água dos grãos de soja apresentou comportamento estável durante a operação, para o talhão irregular, com todos os pontos dentro dos limites inferior e superior de controle (Figura 16), enquanto que os talhões retangular e trapezoidal se mostraram instáveis, apresentando pontos que extrapolam os limites de controle estabelecidos.

Observa-se que a menor variação deste indicador de qualidade ocorreu para o talhão irregular, com a maioria dos pontos amostrais concentrando-se ao redor de um único valor, o que refletiu em limites de controle próximos a média, situação inversa ao que ocorreu nos talhões retangular e trapezoidal.

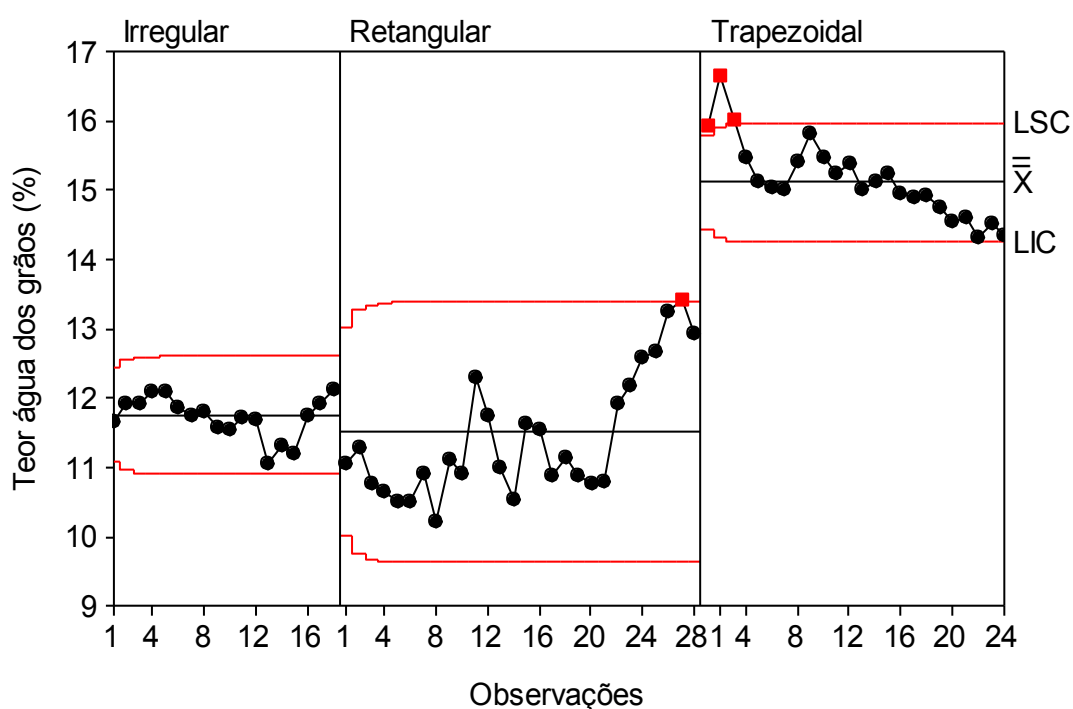


FIGURA 16. Cartas de controle para o teor de água dos grãos de soja durante a colheita mecanizada. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{x} : Média móvel exponencialmente ponderada dos valores amostrais.

O talhão irregular apresentou menores valores dos teores de água dos grãos. Em contra partida o trapezoidal os maiores, em razão de que na noite antecedente

à colheita do talhão trapezoidal, houve a ocorrência de chuva, o que acarretou em um aumento do teor de água dos grãos colhidos.

Nota-se ainda que, no talhão retangular houve aumento do teor de água nos grãos (até 13,5%) a partir da observação 20 até a 27, situação essa que pode ser explicada em razão de a colheita ser realizada após às 18:00 horas. Tal fato, se difere do observado por Marcondes et al. (2010), que relataram que as sementes da cultivar BRS 184, colhidas no horário das 10 horas apresentaram teor de água de água superior a 15% enquanto as colhidas no horário das 18 horas, teor de água abaixo de 12%.

Ressalta-se ainda que, ao associar os valores padrões de aleatoriedade (Tabela 11) juntamente a este tipo de carta de controle, pode-se verificar somente ocorrência de causas naturais nas duas análises, fato este que pode contribuir para uma melhor análise do processo, bem como auxiliar na melhor tomada de decisão no decorrer do processo.

Na Figura 17 é apresentado o comportamento da temperatura dos grãos de soja durante a colheita dos três talhões avaliados, observa-se que esta variável se mostrou instável durante a operação para todos os talhões, apresentando pontos externos ao limites inferior e superior de controle. Tal instabilidade, pode ser associada aos padrões de não aleatoriedade verificados durante a colheita: agrupamento para todos os talhões avaliados e tendência para o trapezoidal (Tabela 11).

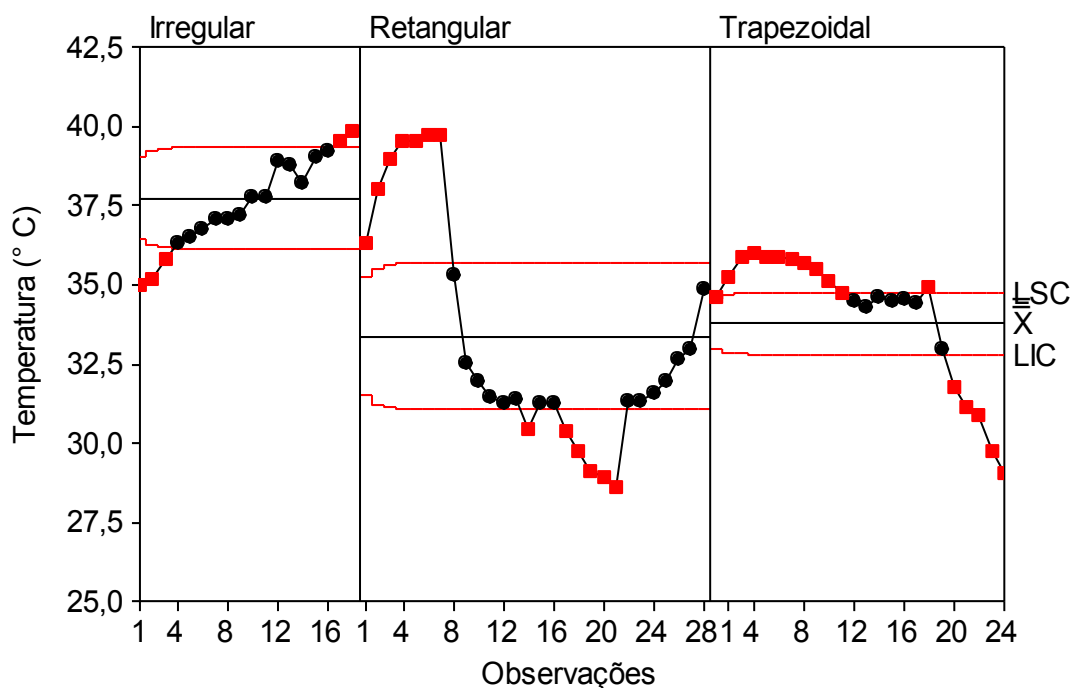


FIGURA 17. Cartas de controle para a temperatura dos grãos de soja durante a colheita mecanizada. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{x} : Média móvel exponencialmente ponderada dos valores amostrais.

Nota-se que a menor variação e os maiores valores deste indicador de qualidade ocorreram para o talhão irregular, uma vez que os grãos estavam com baixo teor de água resultando em temperaturas mais altas. Situação esta, inversa ao que se observou no talhão trapezoidal no qual as temperaturas foram menores devido às chuvas anteriores à colheita.

Na Figura 18 observa-se que a variável perdas na plataforma exibiu comportamento estável durante a operação de colheita, para o talhão irregular, apresentando padrão não aleatório de agrupamento, e retangular com todos os pontos dentro dos limites inferior e superior de controle. No talhão trapezoidal foi verificada a instabilidade, apresentando somente um ponto fora dos limites de controle estabelecidos, porém, muito próximo destes limites.

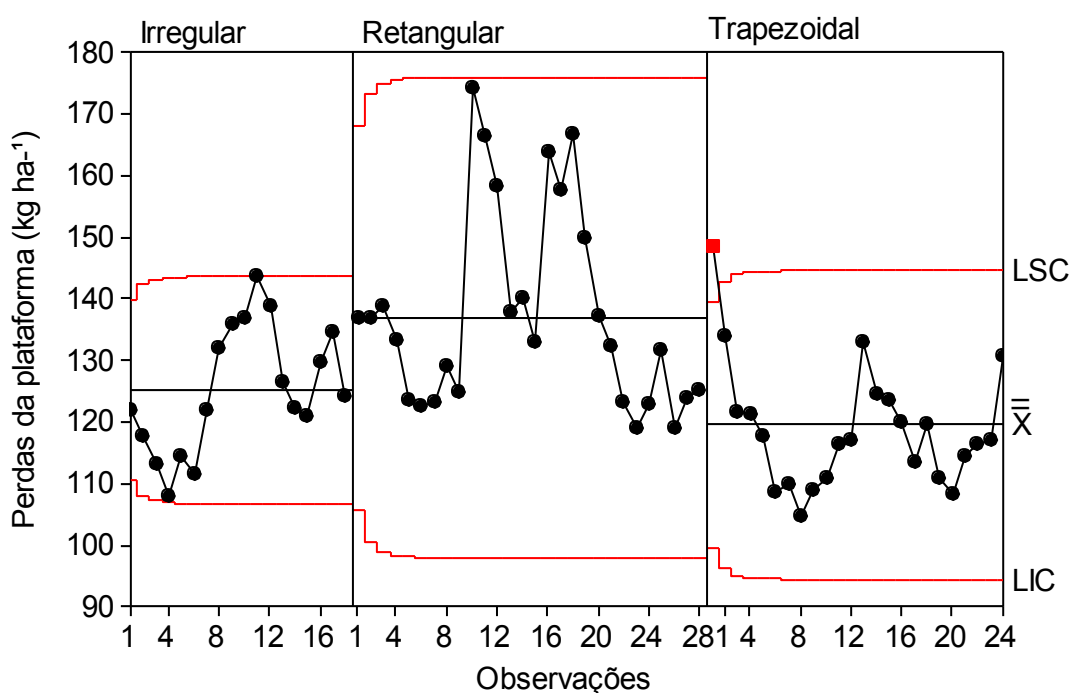


FIGURA 18. Cartas de controle para perdas na plataforma da colhedora durante a colheita mecanizada de soja. \bar{x} : Média móvel exponencialmente ponderada dos valores amostrais.

Percebe-se que os valores para esta variável (Figura 18) estão acima do recomendado, dado que no decorrer de todo o experimento, como já mencionado anteriormente, ocorreram problemas na regulagem da plataforma, principalmente para o talhão retangular, no qual foram necessárias paradas para a manutenção da colhedora. Este fato pode ser notado com os valores mais expressivos e maior variação deste tipo de perdas para este talhão.

As perdas nos mecanismos internos apresentaram comportamento instável, durante a colheita mecanizada da soja, para os três formatos de talhão avaliados (irregular, retangular e trapezoidal). Neste sentido, nota-se uma conduta semelhante entre os talhões, que exibiram somente um ponto fora dos limite superior e inferior estabelecidos (Figura 19). Tal situação, também foi observada por Chioderoli et al. (2012), que relataram que as médias de perdas de grãos no sistema de trilha propiciaram comportamento instável, sendo o processo considerado fora de controle, porém, dentro dos padrões aceitáveis de perdas para cultura da soja.

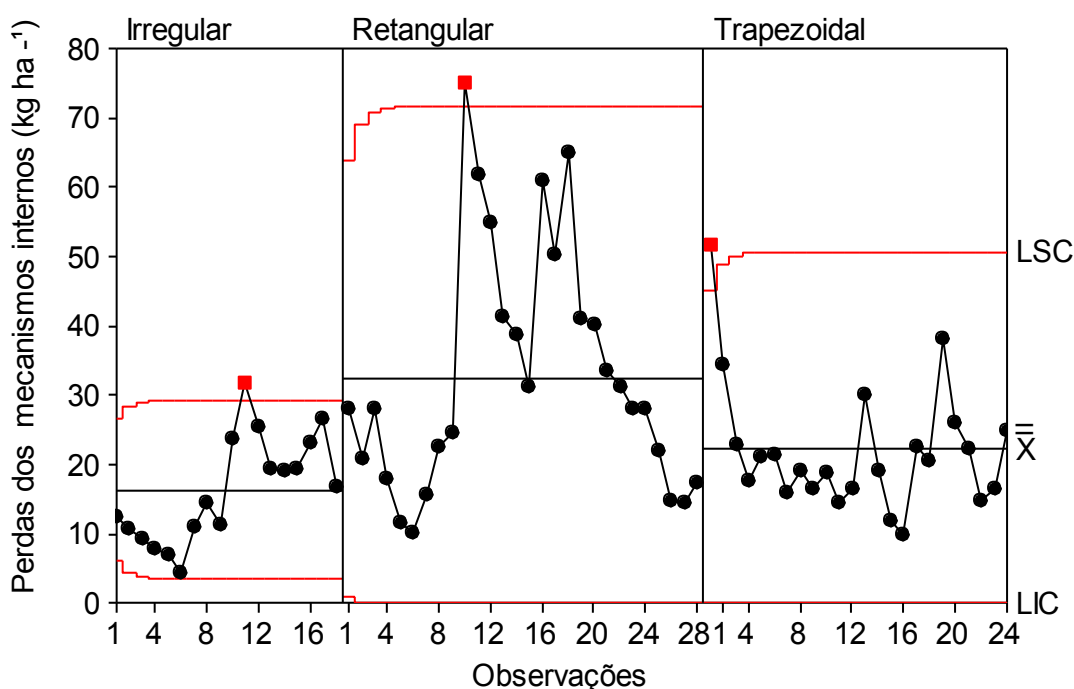


FIGURA 19. Cartas de controle para perdas dos mecanismos internos da colhedora durante a colheita mecanizada de soja. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{x} : Média móvel exponencialmente ponderada dos valores amostrais.

No talhão irregular (apresentando padrão aleatório de tendência), nota-se uma menor variação dos valores quando comparado com os demais talhões avaliados, sendo isso verificado pela menor amplitude entre os limites de controle.

Tal fato, pode ser explicado pelo teor de água dos grãos no momento da operação de colheita, uma vez que os grãos encontravam-se mais secos e a regulagem utilizada pelo operador foi a correta para o momento, diferentemente do ocorrido no talhão retangular, com padrão de oscilação, e trapezoidal, em que os grãos estavam com maior teor de água e dificultaram a colheita.

Assim, as causas especiais em operações agrícolas podem estar ligadas a diversos fatores; neste caso, pode-se citar: regulagem incorreta da colhedora, experiência do operador, diferenças nas condições do solo, variações na velocidade de deslocamento, ataque de pragas, entre outros.

As perdas totais apresentaram comportamento estável durante a operação, para o talhão irregular, com todos os pontos dentro dos limites inferior e superior de

controle (Figura 20). Enquanto isso, os talhões retangular e trapezoidal apresentaram-se instáveis, com pontos que extrapolam os limites de controle calculados. Resalta-se ainda que, para todos os talhões, para esse indicador de qualidade, houve somente a presença de padrões de ordem aleatória (Tabela 11).

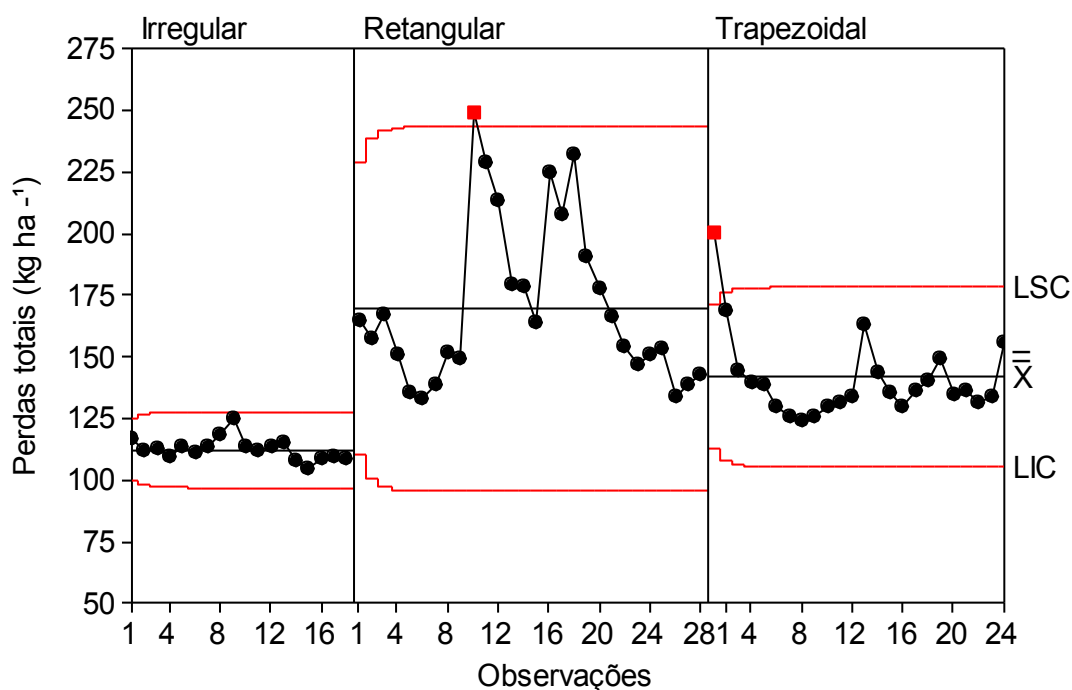


FIGURA 20. Cartas de controle para perdas totais dos grãos de soja durante a colheita mecanizada. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{x} : Média móvel exponencialmente ponderada dos valores amostrais.

Percebe-se que a menor variação deste indicador de qualidade ocorreu para o talhão irregular, com a maioria dos pontos amostrais concentrando-se ao redor de um único valor, o que refletiu em limites de controle próximos à média, situação inversa ao que ocorreu no talhão retangular e trapezoidal.

Para todos os talhões, as perdas totais apresentaram valores mais altos que os aconselháveis. Este desempenho pode ser atribuído aos problemas que ocorreram no decorrer de toda a colheita, principalmente pelos fatores máquina e mão-de-obra, em situações em que a colhedora operou com regulagens

inadequadas e apresentou problemas na plataforma de corte, principalmente para o talhão retangular.

Magalhães et al. (2009) observaram que as perdas no sistema de limpeza ($56,16 \text{ kg ha}^{-1}$) apresentaram maior contribuição para as perdas totais ($88,62 \text{ kg ha}^{-1}$) quando comparados com as perdas na plataforma ($32,46 \text{ kg ha}^{-1}$), diferentemente do que foi observado no presente trabalho, no qual as perdas na plataforma contribuíram em maior parte para as perdas totais. Desta forma, percebe-se que a regulagem, o treinamento do operador e o estado de conservação da colhedora são importantes para minimizar as perdas na colheita mecanizada de soja.

A perdas em relação à produtividade ($P\%$) apresentaram a instabilidade do processo para os três talhões avaliados, com pelo menos um ponto fora dos limites de controle (Figura 21). Ressalta-se ainda que a maior variabilidade da operação de colheita ocorreu para o talhão retangular, sendo a provável explicação a citada anteriormente em decorrência das perdas na plataforma de corte.

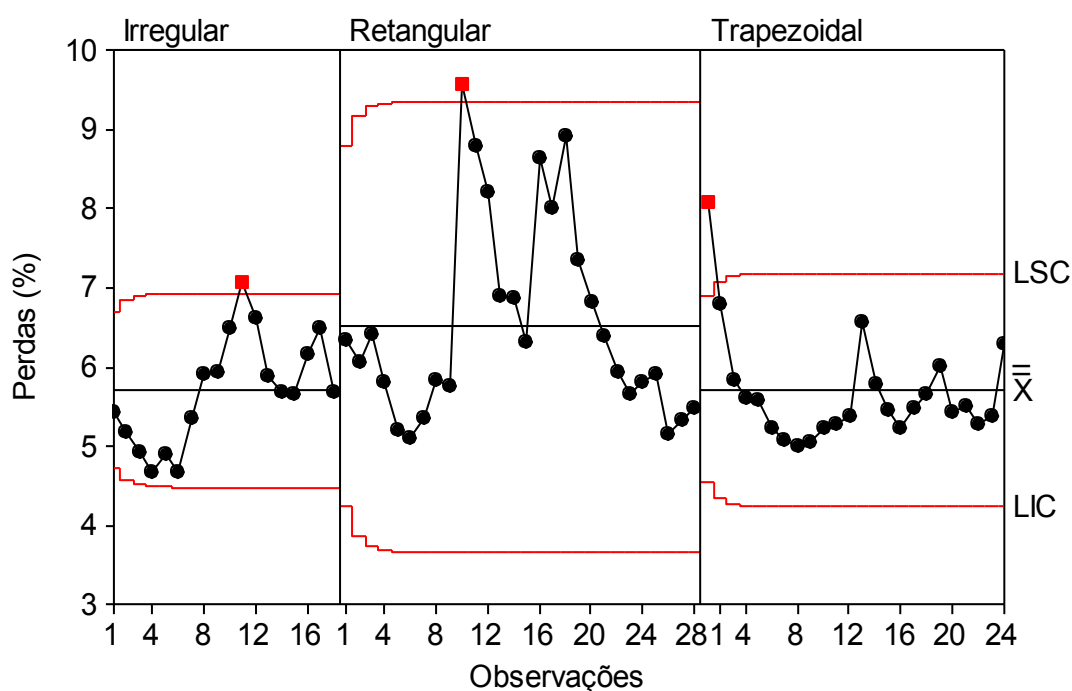


FIGURA 21. Cartas de controle para perdas totais em relação à produtividade (%) da colhedora durante a colheita mecanizada de soja. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{x} : Média móvel exponencialmente ponderada dos valores amostrais.

Observa-se ainda que o talhão irregular apresentou padrão não aleatório de agrupamento, e quando se associa este comportamento aos das perdas da plataforma, constata-se que os mesmos são iguais. Tal situação, pode resultar no fato de que as perdas na plataforma influenciaram diretamente este indicador de qualidade, havendo uma proporcionalidade na quantificação das perdas, em decorrência de a produtividade ter sido próxima para todos os talhões.

3.2.3 Análise da capacidade da qualidade da operação de colheita

O teor de água nos talhões retangular e trapezoidal e a temperatura não apresentaram as duas premissas básicas para a análise da capacidade, que são a normalidade e a estabilidade do processo, tornando-as, assim, inviáveis esta análise por não representarem com confiabilidade determinados índices de capacidade. Ressalta-se ainda nos gráficos de capacidade apresentados a seguir, as siglas “Dp potencial” e “Dp geral” representa o desvio padrão potencial e o desvio padrão geral, respectivamente.

Para o indicador de qualidade teor de água dos grãos na colheita mecanizada de soja no talhão irregular, a aproximação das curvas de distribuição potencial e geral, pode ser evidenciado pela semelhança existente entre os índices Cp (índice de capacidade potencial) e Pp (Índice de capacidade geral), porém, ambos são considerados incapazes de atender às necessidades a curto e em longo prazo. Por outro lado, pode-se observar que o processo não está centrado na meta devido aos índices Cpk (índice de capacidade potencial mínimo) e Cpm (índice de capacidade em relação à meta) estarem afastados entre si (Figura 22).

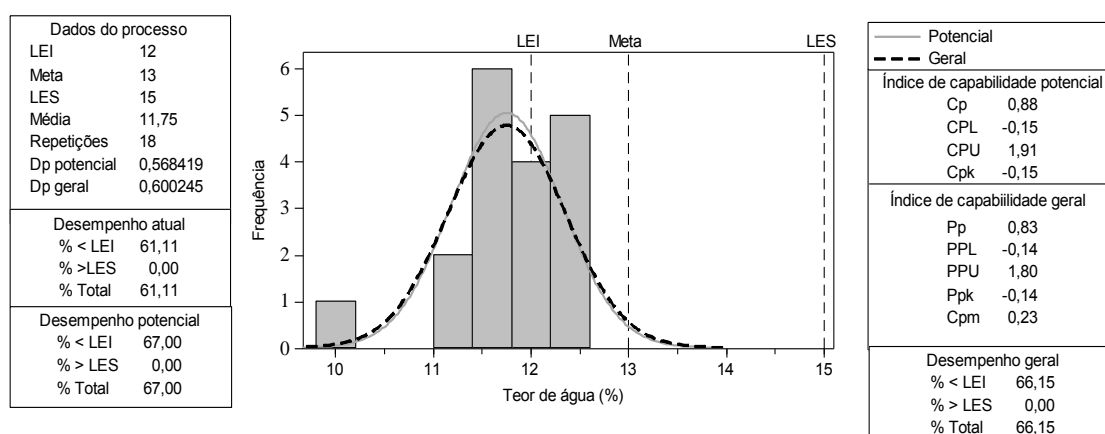


FIGURA 22. Análise da capacidade do processo para o teor de água dos grãos (%) para o talhão irregular durante a colheita mecanizada de soja.

Pode-se observar ainda, pelo desempenho atual do processo, que houve a produção de itens ou observações fora dos limites especificados (LEI) refletindo que apenas 38,89% dos valores atendem aos limites das especificações. Entretanto, os índices de capacidade (C_p) e (C_{pk} e C_{pm}) foram inferiores ao estipulado como mínimo aceitável (1,33) para que o processo seja considerado capaz de produzir resultados dentro dos limites específicos a curto e em longo prazo. Os índices C_p (0,88) e C_{pm} (0,23) e C_{pk} (-0,15) não estão próximos, sendo confirmada a descentralização de todo o processo, bem como sua incapacidade. Este valor C_{pk} negativo é um indicativo de que a média geral (11,75) está fora das especificações, ou seja, no presente caso, encontra-se abaixo do LEI.

Nota-se ainda que, os índices de capacidade em relação ao limite específico superior para o desempenho geral e potencial do processo são representados por PPU (1,80) e CPU (1,91), respectivamente, apresentando ambos os valores positivos, indicando que a média está mais próxima do LEI em relação ao LES, refletindo em índice de capacidade cada vez menor em relação ao lado esquerdo do histograma. Isso ocorre devido aos índices Ppk e Cpk serem calculados em função deste menor índice de capacidade (potencial ou geral).

Por outro lado, o desempenho geral do processo produz 66,15% das observações fora das especificações, quando se toma para base de cálculo as variações intrínsecas (aleatórias) e extrínsecas (não aleatórias) ao mesmo. Com a

eliminação da fonte de variação externa (não aleatória) ao processo, ou seja, havendo a presença somente de causas aleatórias, o mesmo produz 67% de observações fora das especificações (valor também elevado), não sendo, portanto, totalmente viável a investigação sobre estas causas.

Segundo a Embrapa (2005), o teor de água ótimo dos grãos para colheita da soja está na faixa de 12 a 14%, semelhante aos limites estabelecidos no presente trabalho, que situaram-se entre 12 e 15%. Além disso, a regulação dos mecanismos internos da colhedora (rotação do cilindro de trilha e abertura entre cilindro e côncavo) pode ser mantida, dentro de certos limites, reduzindo-se, assim, perdas e os danos mecânicos, pois, não há grande variação deste indicador de qualidade.

Para as perdas totais para o talhão irregular durante a colheita mecanizada de soja, o processo foi considerado como incapaz de produzir itens satisfatórios em curto e em longo prazo, uma vez que apresentou valores dos índices Cp e Pp inferiores a 1,33 (Figura 23).

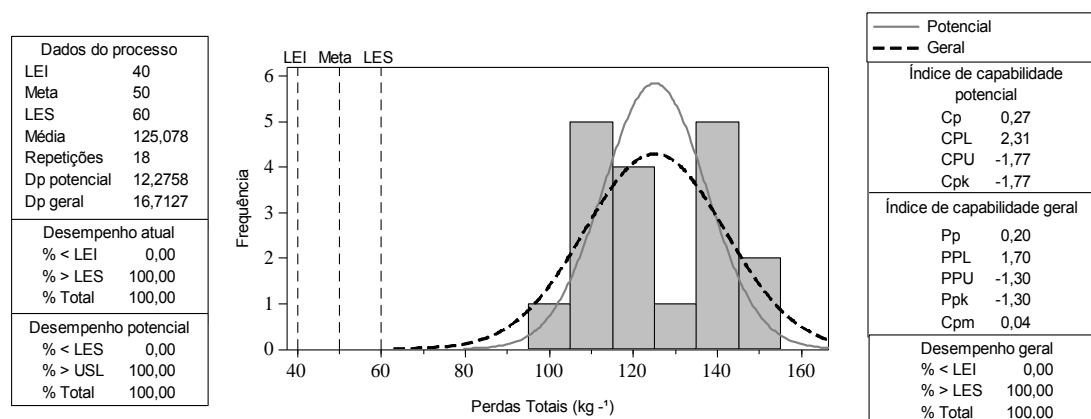


FIGURA 23. Análise da capacidade do processo para as perdas totais (kg^{-1}) para o talhão irregular durante a colheita mecanizada de soja.

Pela verificação do desempenho geral do processo constata-se que 100% dos valores estão fora dos limites específicos, levando-se em consideração as fontes comuns e não comuns de variação. Quando a fonte não comum é eliminada do processo, o mesmo também atinge 100% das observações fora dos limites específicos (acima do LES) de acordo com o desempenho potencial do processo, situação esta que o torna não capaz de atender aos limites de especificação.

Os índices de capacidade potencial e geral do processo em relação ao limite específico inferior (CPL e PPL, respectivamente), são maiores em relação aos mesmos índices, considerando-se o limite superior (CPU e PPU), situação esta que indica que o processo possui o lado esquerdo com maior índice de capacidade em relação ao direito.

Czarski e Matusiewicz (2012) utilizando técnicas do controle estatístico em associação com um sistema de análise de medidas, também constataram o processo como incapaz de produzir itens satisfatórios. Os mesmos autores relataram ainda que, em virtude dos elevados valores Cp e Cpk (1,17 e 1,14, respectivamente) medidas de ajustes devem ser realizadas para que o processo se torne capaz, situação esta bem diferente da encontrada para o presente trabalho.

A capacidade do processo para as perdas da plataforma no talhão irregular (kg ha^{-1}) foi também determinada como incapaz tanto a curto com em longo prazo, devido aos índices de capacidade Cp (0,12), Pp (0,08), Cpk (-1,50), Ppk (0,06) e Cpm (0,02) situarem-se distantes uns dos outros e, também, por serem inferiores ao índice mínimo estabelecido para o presente trabalho (1,33) o que também caracteriza a descentralização do processo em relação à meta estabelecida (Figura 24).

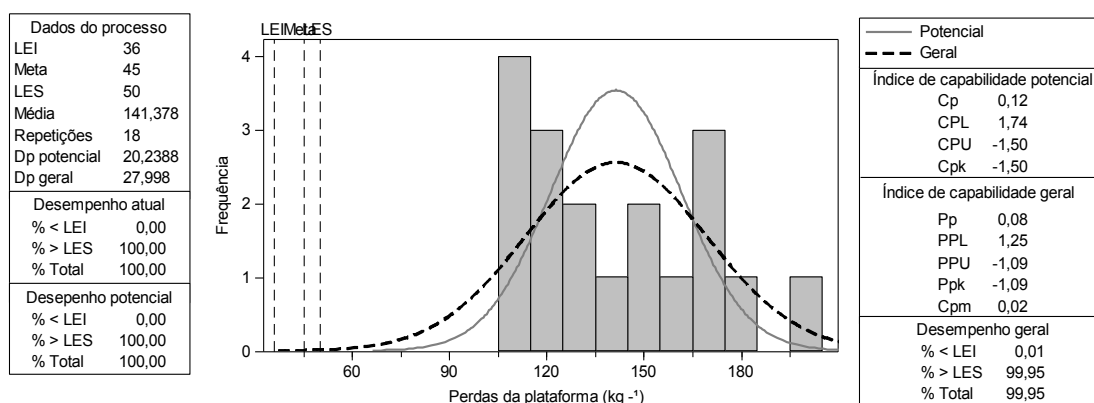


FIGURA 24. Análise da capacidade do processo para as perdas da plataforma (kg ha^{-1}) para o talhão irregular durante a colheita mecanizada de soja.

Tal comparação entre os índices Cp e Cpk e Pp e Ppk é fundamental, pois o Cpk e Ppk sozinhos não conseguem representar com precisão a centralização do processo, e caso estes fossem utilizados quando o desvio padrão das observações

é mínimo, o valor Cpk e Ppk seriam elevados, pois possuem relação inversamente proporcional na sua base de cálculo, sendo que isolados, estes valores não dizem nada sobre a média entre as especificações (MONTGOMERY, 2004).

O desempenho atual do processo mostrou que 100% das observações se apresentaram fora dos seus limites específicos, sendo a sua distribuição situada toda após o LES (CPU e PPU distantes de zero, o que culminou em Cpk e Ppk de menores valores, respectivamente). Nota-se ainda que, o desempenho potencial do processo, quando se considera somente com causas naturais apresenta 99,95% (com 0,01% abaixo do LEI e 99,95% acima do LES) fora dos limites especificados.

Portanto, observando essas análises de capacidade para o desempenho da colhedora e para as perdas decorrentes da colheita mecanizada de soja, pode-se verificar que nem sempre é fácil atingir às metas estabelecidas em operações agrícolas mecanizadas, em virtude de uma série de fatores externos (máquina, mão-de-obra, meio ambiente, medição, método e material), que aumentam a variação decorrente da colheita. Diante disso, faz-se necessário elaborar um plano de melhorias para esta operação, visando a análise, interpretação e detecção de possíveis falhas no processo, mesmo que essa implantação de melhorias demande um tempo maior, sendo que os resultados e o retorno financeiro poderão não ser vistos em curto prazo.

V CONCLUSÕES

O formato dos talhões afeta a eficiência de tempos e movimentos da colhedora e a qualidade da operação da colheita mecanizada de soja.

O talhão irregular apresenta o menor valor de eficiência de campo (E_c) em relação ao trapezoidal e ao retangular.

A eficiência gerencial (E_g) e o tempo de manobra (T_m) apresentam os melhores resultados para o talhão trapezoidal e para o talhão retangular, respectivamente.

O desempenho da colhedora é considerado capaz de atingir os limites específicos estabelecidos, para os indicadores de qualidade velocidade e rotação do cilindro, ambos para o talhão trapezoidal.

Os parâmetros do processo da colheita mecanizada de soja apresentam-se incapazes de atingir os limites específicos e a meta estabelecida, para os três talhões avaliados, a curto e em longo prazo.

VI REFERÊNCIAS

ALBIERO, D.; MACIEL, M.; MONTEIRO, L. A.; MION, R. L. Avaliação da distribuição de sementes por uma semeadora de anel interno rotativo utilizando média móvel exponencial. **Revista Ciência Agronômica**, v. 43, n. 1, p. 86-95, 2012.

ALVES, C. C. **Gráficos de controle CUSUM: um enfoque dinâmico para a análise estatística de processos**. 2003. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) - Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

ASAE (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS). ASAE EP 497.6 JUN09: Agricultural machinery management data. In: _____. **ASAE Standards** 2009: standards engineering practices data. St. Joseph, 2009. p. 350-357.

ASABE (AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL BIOLOGICAL ENGINEERS). ASABE EP 496 JUN11: Agricultural machinery management data. In: _____. **ASABE Standards** 2011: standards engineering practices data. St. Joseph, 2011. 6 p.

ARALDI, P. F.; SCHLOSSER, G. F.; FRANTZ, U. G.; RIBAS, R. L.; SANTOS, P. M. Eficiência operacional na colheita mecanizada em lavouras de arroz irrigado. **Revista Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n. 3, p. 445-451, 2013.

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

BATISTA, N. **Introdução ao estudo de controle estatístico de processo – CEP**. Rio de Janeiro: Qualitymark, 1996. p. 68.

BENDER, F. E.; DOUGLAS, L. W.; KRAMER, A. **Statistical methods for food and agriculture**. Westport, AVI Publishing. 1982. p. 100-150.

BENDER, F, E.; DOUGLAS, L. W.; KRAMER, A. **Statistical methods for food and agriculture**. New York: Food Products Press. 1989. p. 90-170.

BENDER, F. E.; KRAMER, A.; KAHAN, G. **Systems analysis for the food industry**. Westport, Avi Publishing. 1976. p. 300-468.

BONILLA, J. A. **Qualidade total na agricultura: fundamentos e aplicações**. Belo Horizonte: Centro de Estudos de Qualidade total na Agricultura, 1994. 344p

BONILLA, J. A. **Métodos quantitativos para qualidade total na agricultura**. Contagem: Littera Maciel, 1995. 250 p.

BOTTEGA, E. L.; SOUZA, C. M. A.; RAFULL, L. Z. L.; QUEIROZ, D. M. Avaliação de uma colhedora e da qualidade de sementes de forragem colhidas por varredura. **Revista Ciências Exatas e da Terra e Ciências Agrárias**, Campo Mourão, v. 9, n. 1, p. 10-20, 2014.

CAMPOS, M. A. O.; SILVA, R. P.; CARVALHO, A. F.; MESQUITA, H. C. B.; ZABANI, S. Perdas na colheita mecanizada de soja no Estado de Minas Gerais. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 207-213, 2005.

CASSIA, M. T. **Qualidade da colheita mecanizada de café em plantio circular sob pivô central**. 2012. 56 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciência Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2012

CASSIA, M. T., SILVA, R. P., CHIODEROLLI, C. A., NORONHA, R. H. F., SANTOS, E. P. Quality of mechanized coffee harvesting in circular planting system. **Ciência Rural**, Santa Maria, v. 43, n.1, p. 28-34, 2013.

CHENG, H. P.; CHENG, C. S. Control chart pattern recognition using wavelet analysis and neural networks. **Journal of Quality, Milwaukee**, v. 16, n. 5, 311-321, 2009. Disponível em: < <http://dx.doi.org/10.1016/j.ijpe.2006.12.056>>.

CHIODEROLI, C. A.; SILVA, R. P.; NORONHA, R. H. F.; CASSIA, M. T.; SANTOS, E. P. Perdas de grãos e distribuição de palha na colheita mecanizada de soja. **Revista Bragantia**, Campinas, v. 71, n. 1, p. 112-121, 2012.

CZARSKI, A.; MATUSIEWICZ, P. Influence of measurement system quality on the evaluation of process capability indices. **Mettallurgy and Foundry Engineering, Kraków**, v. 38, n.1, p. 25 - 32, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.7494/mafe.2012.38.1.2>>.

COMPAGNON, A. M.; SILVA, R. P.; CASSIA, M. T.; GRAAT, D.; VOLTARELLI, M. A. Comparação entre métodos de perdas na colheita mecanizada de soja. **Revista Scientia Agropecuaria**, Trujillo, v. 3, n. 3, p. 215 – 223, 2012.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/13_04_09_10_27_26_boletim_graos_abril_2013.pdf. Acessado em 12 de dezembro de 2014.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO - CONAB. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/14_04_14_11_56_28_boletim_graos_abril_2014.pdf. Acessado em 12 de dezembro de 2014.

CORTIVO, Z. D. **Aplicação do controle estatístico de processo em sequencias curtas de produção e análise estatística de processo através do planejamento econômico.** 2005. 163 f. Dissertação (Mestrado em Métodos Numéricos em Engenharia) - Universidade Federal do Paraná, Curitiba, 2005.

CUNHA, J. P. A. R.; PIVA, G.; OLIVEIRA, C. A. A. Efeito do sistema de trilha e da velocidade das colhedoras na qualidade de sementes de soja. **Revista Bioscience Journal**, Uberlândia, v. 25, n. 4, p. 37-42, 2009.

EBRAHIMZADEH, A.; ADDEH, J.; RAHMANI, Z. Control chart pattern recognition using K-MICA clustering and neural networks. **ISA Transactions, Milwaukee, Philadelphia**, v. 51, n. 1, p. 111-119, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.isatra.2011.08.005>>.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. EMBRAPA. Análises físicas. In: _____ (Ed.) **Manual de métodos e análise de solo**, 2. ed. Rio de Janeiro: Embrapa, 1997. 212 p.

ESPINOSA, M. M.; CALIL JÚNIOR, C.; LAHR, F. A. R. Métodos paramétricos e não paramétricos para determinar o valor característicos em resultados de ensaio de madeira. **Scientia Forestalis**, Piracicaba, n. 66, p. 76-83, 2004

FERREIRA, I. C.; SILVA, R. P.; LOPES, A.; FURLANI, C. E. A. Perdas quantitativas na colheita de soja em função da velocidade de deslocamento e

regulagens no sistema de trilha. **Revista Engenharia na Agricultura** v. 15, p. 141-150, 2007.

GRISSE, R.D, KOCHER, M.F., ADAMCHUK, V.I., JASA, P.J., SCHROEDER. M.A. Field efficiency determination using traffic pattern indices. **Applied Engineering in Agriculture**, v. 20, n. 5, p. 563-572, 2004.

GUH, R. S. Real-time recognition of control chart patterns in autocorrelated processes using a learning vector quantization network-based approach. **International Journal of Production Research**, New York, v. 46, n. 14, p. 3959-3991, 2008. Disponível em: <[http:// dx.doi.org/10.1016/j.cie.2011.06.025](http://dx.doi.org/10.1016/j.cie.2011.06.025)>.

HEIFFIG, L. S. **Plasticidade da cultura da soja (*Glycine max(L.)Merril*) em diferentes arranjos espaciais**. 2002. 81 f. Dissertação (Mestre em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2002.

HILL, S. E.; SCHVANEVELDT, S. J. Using statistical process control charts to identify the steroids era in major league baseball: an educational exercise. **Journal of Statistics Education**, Ogden, v. 19, n. 1, p. 1-19, 2011.

HESSLER, C. V. **Aplicação de controle estatístico de processo na empresa "Metasa" como uma ferramenta de competitividade**. 2008. 120 f. Dissertação de Mestrado (Mestre em Administração) – Universidade Federal de Caxias do Sul, Caxias do Sul, 2008.

HESSLER, C.V.; CAMARGO, M.E.; DORION, E. Application control charts for analysis of quality in industrial painting. In: INTERNACIONAL CONFERENCE ON COMPUTERS & INDUSTRIAL ENGINEERING 39., 2009, Troyes: **Proceedings...**, Troyes: IEEE Xplore, 2009. p. 1330-1334.

HOLTZ, V.; REIS, E. F. Perdas na colheita mecanizada de soja: uma análise quantitativa e qualitativa. **Revista Ceres**, Viçosa, v. 60, n. 3, p. 347-353, 2013.

HUNTER, J.S. The Exponentially Weighted Moving Average, **Journal of Quality Technology**, v. 18, p. 203-210, 1986.

LINHARES, M.; SETTE JÚNIOR, C. R.; CAMPOS, F.; YAMAJI, F. M. Eficiência e desempenho operacional de máquinas. **Revista Pesquisa Agropecuária Tropical**, Goiânia, v. 42, n. 2, p. 212-219, 2012.

LOPES, M. B.; MILAN, M.; COELHO, J. L. D. Qualidade em operações agrícolas mecanizadas na cultura de cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v. 13, n. 3, p. 26-30, 1995

KLAVER, P. P. C; GARCIA, R. C.; JUNIOR, J. F. V.; JUNIOR, C. D. Programa computacional para a determinação da capacidade operacional de máquinas

agrícolas. **Revista Global Science and Technology**, Rio Verde, v. 05, n. 01, p. 52 – 58, 2012.

KRAMER, A.; TWIGG, B. A. **Fundamentals of quality control for the food industry**. Connecticut: The Avi Publishing, 1966. p. 450-541.

KRAMER, A.; TWIGG, B. **Quality control for the food industry**. 3 th edition. Westport, Avi Publishing, 1970. p. 100-190.

MAGALHÃES, S. C.; OLIVEIRA, B. C.; TOLEDO, A.; TABILE, R. A.; SILVA, R. P. Perdas quantitativas na colheita mecanizada de soja em diferentes condições operacionais de duas colhedoras. **Revista Bioscience Journal**, Uberlândia, n. 25, v. 5, p. 43-48, 2009.

MARCONDES, M. C.; MIGLIORANZA, E.; FONSECA, I. C. B. Qualidade de sementes de soja em função do horário de colheita e do sistema de trilha de fluxo radial e axial. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 2, p. 315-321, 2010.

MASTRANGELO, C. M.; MONTGOMERY, D. C. SPC with correlated observations for the chemical and process industries. **Quality and Reliability Engineering International**, v. 11, p. 79-89, 1995.

MIALHE, L. G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Editora Agronomica Ceres, 1974. 301 p.

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificações**. Piracicaba: CNPq-PADCT/TIB; FEALQ, 1996. p. 600 – 650.

MILAN, M. Controle de qualidade em operações agrícolas. In: CÂMARA, G. M. S. **Soja: tecnologia da produção**. 1 ed. Piracicaba: ESALQ, 1998. p. 113-120.

MILAN, M.; FERNANDES, R.A.T. Quality of tillage operations by statistical process control. **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 261-266, 2002.

MILAN, M.; BARROS, J. W.; D., GAVA, J. L. Planning soil tillage using quality function deployment (QFD). **Scientia Agrícola**, Piracicaba, v. 60, n. 2, p. 217-221, 2003.

MINITAB. MINITAB Release 16: Meet MINITAB 16. MINITAB StatGuide; MINITAB Help. [S.I.]: Minitab., 2007.

MOLIN, J.P.; MARCOS MILAN, M.; NESRALLAH, M. G. T.; CASTRO, C. N.; GIMENEZ, L. M. Utilização de dados georreferenciados na determinação de parâmetros de desempenho em colheita mecanizada. **Revista Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, n. 3, p. 759-767, 2006.

MONTGOMERY, D. C. **Design and analysis of experiments**. 6th ed. Hoboken, NJ: Wiley. 2009. p 179-268.

MONTGOMERY, D. C. **Introdução ao controle estatístico da qualidade**. 4. ed. Rio de Janeiro: LTC, 2000. p. 100 – 200.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control**. 3. ed. New York: John Wiley e Sons, 1997. p. 120-250.

MONTGOMERY, D. C. **Introduction to statistical quality control**. 4. ed. New York: John Wiley & Sons, 2004. p. 300-377.

MONTGOMERY, D. C. (2009b) **Process and measurement system capability analysis**. In: Montgomery DC (ed) Introduction to statistical quality control, 6rd edn. Wiley, Arizona, pp 344-390.

NATIONAL HEALTHCARE SERVICES SCOTLAND. NHS. **Scottish stroke care audit**. Edimburgo: ISD Scotland Publications, 2012. p. 25 – 68.

NATIONAL HEALTHCARE SERVICES SCOTLAND. NHS. Quality improvement hub. 2012. Disponível em: <<http://www.qihub.scot.nhs.uk/knowledge-centre/quality-improvement-tools/run-chart.aspx>>. Acesso em: 20 de dezembro 2014.

NATIONAL HEALTHCARE SERVICES SCOTLAND. NHS. Statistical process control: tutorial guide monitoring quality in healthcare. Disponível em: http://www.indicators.scot.nhs.uk/SPC/Statistical_Process_Control_Tutorial_Guide_V5.pdf Acesso em: 20 de dezembro 2014.

NAGUMO, G. K.; MILAN, M. Desdobramento da função qualidade (QFD) aplicado a produção de mudas de café (*Coffea arabica* L.). **Engenharia Rural**, Piracicaba, v. 17. n. 2, p. 45-51, 2006.

NORONHA, R. H. F.; SILVA, R. P.; CHIODEROLI, C. A.; SANTOS, E. P.; CASSIA, M. T. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 931-938, 2011

PACHECO, E. P. **Seleção e custo operacional de máquinas agrícolas**. Rio Branco: Embrapa Acre, 2000.

PASQUA, S. L.; MILAN, M.; PECHE FILHO, A. Controle de qualidade de operações agrícolas mecanizadas na cultura do milho (*Zea mays*). In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25.; CONGRESSO

LATINO AMERICANO DE INGENIERIA AGRICOLA, 2., 1996, Bauru. **Anais...**
Bauru: UNESP/SBEA/ALIA, 1996. p. 1-4.

PECHE FILHO, A. Qualidade total na agricultura. In: SIMPÓSIO DE
QUALIDADE TOTAL NA AGRICULTURA, 1., 1994, São Paulo. **Anais...** São
Paulo: AEASP, 1994. p.19-35.

PELOIA, P. R.; MILAN, M.; ROMANELLI, T. L. Capacity of the mechanical
harvesting process of sugarcane billets. **Scientia Agricola**, Piracicaba, v. 67, n.
6, p. 619-623, 2010.

PEREIRA JÚNIOR, P.; REZENDE, P. M.; MALFITANO, S. C.; LIMA, R. K.;
CORRÊA, L. V.; CARVALHO, E. R. Efeito de doses de silício sobre a
produtividade e características agronômicas da soja [Glycine max (L.) Merrill].
Revista Ciência e Agrotecnologia, Lavras, v. 34, n. 4, p. 908-913, 2010.

PERLA, R. J.; PROVOST, L. P.; K MURRAY S. K. The run chart: a simple
analytical tool for learning from variation in healthcare processes. **BMJ Quality
and Safety**, London, v. 20, n. 1, p. 46-51, 2011.

PIMENTEL-GOMES, F.; GARCIA, C. H. **Estatística aplicada a experimentos
agronômicos e florestais: exposição com exemplos e orientações para uso
de aplicativos**. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

RAMOS, E. M. L. S. **Aperfeiçoamento e desenvolvimento de ferramentas do controle estatístico da qualidade – Utilizando quartis para estimar o desvio padrão**. 2003. 130 f. Tese (Doutorado Engenharia da Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

RANAEE, V.; EBRAHIMZADEH, A. Control chart pattern recognition using a novel hybrid intelligent method. **Applied Soft Computing**, Philadelphia, v. 11, n. 2, p. 2676-2686, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1016/j.asoc.2010.10.016>>.

REIS, E. F.; QUEIROZ, D. M.; CUNHA, J. P. A. R.; ALVES, S. F. Qualidade da aplicação aérea líquida com uma aeronave agrícola experimental na cultura da soja (*Glycine Max L.*). **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 5, p. 958-966, 2010.

ROBERTS, S. W. **Control Charts Tests Based on Geometric Moving Averages**. **Technometrics**, v.1, p. 239-250, 1959.

RODRIGUES, M. V. C.; AMORIM, T. A. A. Uma investigação da qualidade nas organizações brasileiras. **Revista Brasileira de Administração Contemporânea**, Rio Janeiro, v. 1, n. 9, p. 261-285, 1995.

RODRIGUES, J. G. L.; FERNANDES, J. C.; NASCIMENTO, F. M.; GAMERO, C. A.; BICUDO, S. J. Caracterização física do solo e desempenho operacional de

máquinas agrícolas na implantação da cultura do sorgo forrageiro. *Semina: Ciências Agrárias*, Londrina, v. 32, suplemento 1, p. 1813-1824, 2011.

SALVI, J. S.; MATOS, M. A.; MILAN, M. Avaliação do desempenho de dispositivo de corte de base de colhedora de cana-de-açúcar. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 27, n. 1, p. 201-209, 2007.

SAMOHYL, R. W.; ALVES, C. C. O monitoramento de processos industriais via gráficos de controle CUSUM. *Revista UNIVILLE*, Joinville, v. 10, n. 2, p. 72-80, 2005.

SAMOHYL, R. W. Estatística aplicada. In: _____. (Ed.). **Controle estatístico de qualidade**. Rio de Janeiro: Elsevier, 2009. cap. 1, p. 7-75.

SANTOS, N. B.; CAVALCANTE, D. S.; FERNANDES, H. C.; GADANHA JÚNIOR, C. D. Simulação da eficiência de campo da colheita mecanizada de cana-de-açúcar (*saccharum spp.*). *Revista Energia na Agricultura*, Botucatu, v. 29, n. 1, p. 09-13, janeiro-março, 2014.

SILVA, R.P.; PASCHOAL, M.A.; SERON, E.; CAIXETA, R.V. Determinação do índice de mecanização agrícola de Uberaba - MG, In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., Poços de Caldas. **Anais...** Lavras: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.220-2.

SILVA, R. P.; CASSIA, M. T.; VOLTARELLI, M. A.; COMPAGNON, A. M.; FURLANI, C. E. A. Qualidade da colheita mecanizada de feijão (*Phaseolus vulgaris*) em dois sistemas de preparo do solo. **Revista Ciência Agronômica**, Fortaleza, v. 44, n. 1, p. 61-69, 2013.

SILVEIRA, G. M.; YANAI, K.; KURACHI, S. A. H. Determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas convencionais de preparo do solo, semeadura e cultivo. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 10, n. 1, p. 220-2245, 2006.

SOFFNER, R. K.; MILAN, M.; RÍPOLI, T. C. C. Gerenciamento global de sistema agrícola em unidades sucroalcooleiras através de programação linear. **STAB**, Piracicaba, v. 11, n. 5, p. 16-20, 1993.

SOUZA, R. A. **Análise da qualidade de processo de envase de azeitonas verdes através de algumas ferramentas do controle estatístico de processo**. 2003. 119 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

SOUZA, A. B. M. **Sistemas de informações aplicado ao processo mecanizado de semeadura direta**. 2005. 75 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “ Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2005.

STRICKLAND, R. M.; ESS, D. R.; PARSONS, S. D.; CRISLER, M. T. Extracting machine performance information from site-specific grain yield data to enhance crop production management practices. **Net**, 3p. 2001.

SUGUISAWA, J. M.; FRANCO, F. N.; SILVA, S. S.; PECHE FILHO, A. Qualidade de aplicação de herbicida em lavoura de trigo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 27, n.esp., p. 41- 47, 2007.

TABILE, A. R; TOLEDO, A.; SILVA, R. P.; FURLANI, C. E. A.; GROTTA, D. C. C.; CORTEZ, J. W. Perdas na colheita de milho em função da rotação do cilindro trilhador e umidade dos grãos. **Scientia Agraria**, Curitiba, v. 9, n. 4, p. 505-510, 2008.

TRINDAD, C. **Desenvolvimento de um sistema de controle de qualidade para a atividade florestal**. 1993. 164 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1993.

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**, Jaboticabal, v. 28, n. 4, p. 710-719, 2008.

VEIT, E. **Aplicação do controle estatístico de processos em indústrias de cabinas: um estudo de caso**. 2003. 104 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2003.

VOLTARELLI, M. A. **Qualidade da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar nos turnos diurno e noturno**. 2013. 168 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Produção Vegetal) – Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2013.

VOLTARELLI, M. A.; SILVA, R. P.; ROSALEN, D. L.; CRISTIANO ZERBATO, C.; CASSIA, M. T. Quality of performance of the operation of sugarcane mechanized planting in day and night shifts. **American Journal Crop Science**. v. 7, n. 9, p. 1396-1406 , 2013.

WERKEMA, C. Lean seis sigma: **Introdução às ferramentas do Lean Manufacturing**. Belo Horizonte: Werkema, p. 20-120, 2006.

WESTERN ELECTRIC COMPANY. **Statistical quality control handbook**. New York: Mack Printing Company, 1956. p. 4-150.

YANG, J. H.; YANG, M. S. A control chart pattern recognition system using a statistical correlation coefficient method. **Computers & Industrial Engineering**,

Philadelphia, v. 48, n. 2, p. 205–221, 2005. Disponível em:
<10.1016/j.cie.2005.01.008>.

ZANINI, R, R. **Utilização dos gráficos de controle: uma aplicação na área de saúde.** 2006. 110 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção e Sistemas) – Universidade Federal de Santa Maria, Santa Maria, 2006.