

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

**Qualidade da operação de plantio mecanizado de cana-de-
açúcar nos turnos diurno e noturno**

Murilo Aparecido Voltarelli

Engenheiro Agrônomo

2013

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

**Qualidade da operação de plantio mecanizado de cana-de-
açúcar nos turnos diurno e noturno**

Murilo Aparecido Voltarelli

Orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva

Coorientador: Prof. Dr. David Luciano Rosalen

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 (Produção Vegetal)

2013

Voltarelli, Murilo Aparecido
V935q Qualidade da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar
nos turnos diurno e noturno / Murilo Aparecido Voltarelli. --
Jaboticabal, 2013
xxi, 168 p. : il. ; 28 cm

Dissertação (mestrado) - Universidade Estadual Paulista,
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, 2013
Orientador: Rouverson Pereira da Silva
Banca examinadora: Jorge Wilson Cortez, Renato Adriane Alves
Ruas
Bibliografia

1. Controle estatístico de qualidade 2. *Saccharum* spp.. 3.
Desempenho de máquinas agrícolas. I. Título. II. Jaboticabal-
Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias.

CDU 631,3:633.61

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

MURILO APARECIDO VOLTARELLI – nascido em Santa Cruz das Palmeiras, São Paulo, no dia 13 de maio de 1988, filho de Aparecido Donizete Voltarelli e Olinda Donizete da Silva Voltarelli. cursou o Ensino Fundamental e Médio no Colégio Objetivo Santa Cruz Angelus, em Santa Cruz das Palmeiras, tendo finalizado o Ensino Médio no ano de 2005. Ingressou no Ensino Superior no ano de 2007 no curso de Agronomia, e recebeu o título de Engenheiro Agrônomo formado pela Universidade Federal de Lavras - UFLA, premiado com o título de Mérito Acadêmico. Atuou como monitor na área de solos manejo, fertilidade do solo e nutrição mineral de plantas, desenvolveu projetos de Iniciação Científica relacionado ao tema Integração lavoura-pecuária e foi Bolsista de Iniciação Científica CNPq. No ano de 2011/02, iniciou o curso de Mestrado em Agronomia, no programa de Produção Vegetal, pela Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho” – Câmpus de Jaboticabal, São Paulo, sendo bolsista CNPq, 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 e produção vegetal de diversas culturas. Membro da SBEA - Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, na qual participa da organização de eventos realizados na área. Em julho de 2013, submeteu-se à banca examinadora para obtenção do título de Mestre em Agronomia.

*"Eu jamais colocarei meu nome em um produto que não tenha em si o melhor
do que há em mim"*

JOHN DEERE

Aos meus pais, Aparecido Donizete Voltarelli e Olinda Donizete da Silva Voltarelli 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 muitas vezes abrindo mãos de seus, para que os meus se realizassem.

Amo vocês...

DEDICO

À Kelly Xavier Rezende

À minha avó Josephina Zocolan Voltarelli

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, Donizete e Olinda, por me proporcionarem uma educação de qualidade, pelo amor, companheirismo e união, essenciais na formação do meu caráter e também da minha vida profissional.

À minha noiva Kelly Xavier Rezende pelo amor, carinho, companheirismo e apoio, fundamental em minha vida.

A toda minha família, avós, tios e tias, primos e primas, que são a base que sustenta a minha fortaleza, estando cada um sempre pronto a acolher meus problemas e apontar o caminho da sabedoria.

À Universidade Federal de Lavras - UFLA, a todos seus professores e funcionários que contribuíram direta ou indiretamente para minha formação, e em especial aos estimados amigos da minha turma de Agronomia, e da República Estrivo Esquerdo pela convivência, bons momentos e amizades construídas.

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 (Produção Vegetal) e ao Conselho Nacional de Desenvolvimento Científico e Tecnológico (CNPq), 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.

Ao amigo e co-orientador, Prof. Dr. David Luciano Rosalen, por acreditar no meu potencial e pela dedicação nas informações transmitidas para elaboração deste trabalho.

Aos pesquisadores, Prof. Dr. Jorge Wilson Cortez e Renato A. Alves Ruas, por participarem da banca examinadora bem como pelas colocações e sugestões para o aprimoramento deste trabalho.

Aos amigos integrantes do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola (LAMMA) que ajudaram na coleta de dados – Ariel Compagnon, Cristiano Zerbato, Fábio Cavichioli, Marcelo Boamorte, Marcelo Cassia, Rafael Bertonha, Vicente Filho e demais estagiários pela amizade, convivência e auxílio nas atividades.

Aos professores e funcionários do Departamento de Engenharia Rural da FCAV, que, de alguma forma, colaboraram com minha formação e realização deste trabalho, em especial, aos assistentes do LAMMA - Aparecido Alves, Sebastião Filho e Valdecir Aparício.

A todos aqueles que, de uma forma ou de outra, contribuíram para tornar este momento possível, por meio de conselhos, palavras amigas e momentos de sabedoria, fica aqui a minha gratidão.

SUMÁRIO

| Assunto | Pág. |
|---|-------------|
| LISTA DE TABELA | x |
| LISTA DE FIGURA | xiii |
| RESUMO | xx |
| ABSTRACT | xxi |
| I INTRODUÇÃO | 1 |
| II REVISÃO BIBLIOGRÁFICA | 3 |
| 1 Plantio mecanizado de cana-de-açúcar | 3 |
| 1.1 Desempenho do trator | 4 |
| 1.2 Desempenho do conjunto mecanizado | 7 |
| 1.3 Condições edafoclimáticas para o plantio | 9 |
| 1.3.1 Teor de água no solo..... | 9 |
| 1.3.2 Compactação do solo..... | 10 |
| 1.3.3 Temperatura ambiente | 11 |
| 1.3.4 Déficit hídrico..... | 12 |
| 2 Controle estatístico de qualidade (CEQ)..... | 13 |
| 2.1 Usos de gráficos sequenciais (<i>Run chart</i>) | 16 |
| 2.2 Usos das cartas de controle de Shewhart | 18 |
| 2.3 Carta de valores individuais ou \bar{X} | 19 |
| 2.4 Carta de amplitude móvel ou $\bar{M}\bar{R}$ | 20 |
| 2.5 Análise da capacidade ou capacidade do processo | 21 |
| 2.6 Aplicações do CEQ na agricultura | 22 |
| III MATERIAL E METÓDOS | 30 |
| 1 Área experimental | 30 |
| 1.1 Histórico da área e preparo do solo..... | 31 |
| 1.2 Solo e clima | 31 |
| 1.3 Variedade | 33 |
| 2 Equipamentos utilizados | 35 |
| 2.1 Georreferenciamento da área..... | 35 |
| 2.2 Trator | 35 |
| 2.3 Plantadora de cana-de-açúcar picada | 36 |

| | | |
|-----------|---|-----------|
| 3 | Análise do desempenho do conjunto mecanizado | 37 |
| 3.1 | Sistema de aquisição de dados | 37 |
| 3.2 | Capacidade de campo efetiva | 37 |
| 3.3 | Consumo efetivo de combustível | 37 |
| 3.4 | Propriedades do solo | 38 |
| 3.4.1 | Teor de água no solo | 38 |
| 3.4.2 | Resistência mecânica do solo à penetração | 38 |
| 4 | Avaliação da operação de plantio mecanizado | 39 |
| 4.1 | Caracterização das mudas pré-plantio | 39 |
| 4.2 | Número de rebolos | 39 |
| 4.3 | Número de gemas totais e de gemas viáveis | 40 |
| 4.4 | Porcentagem de gemas viáveis | 40 |
| 4.5 | Estimativa do consumo de mudas | 41 |
| 4.6 | Perfilhamento | 41 |
| 5 | Análises estatísticas | 42 |
| 5.1 | Análise descritiva | 42 |
| 5.2 | Análise de variância | 44 |
| 5.2.1 | Uso de diagramas de caixas (box plot) | 44 |
| 5.3 | Controle estatístico de qualidade (CEQ) | 45 |
| 5.3.1 | Uso de gráficos sequenciais | 45 |
| 5.3.2 | Cartas de controle para valores individuais e de amplitude móvel | 47 |
| 5.3.2.1 | Limites de controle para valores individuais e de amplitude móvel | 48 |
| 5.3.3 | Análise da capacidade do processo | 51 |
| 5.3.3.1 | Limites específicos de controle | 53 |
| 5.3.3.2 | Índices de capacidade do processo | 54 |
| IV | RESULTADOS E DISCUSSÃO | 58 |
| 1 | Análise da estatística descritiva e de variância | 58 |
| 1.1 | Desempenho do conjunto trator-plantadora de cana-de-açúcar | 58 |
| 1.2 | Análise de variância | 60 |
| 1.3 | Avaliação da operação do plantio mecanizado | 70 |

| | |
|---|------------|
| 1.4 Análise de variância..... | 76 |
| 2 Controle estatístico de qualidade | 83 |
| 2.1 Desempenho do conjunto trator-plantadora de cana-de-açúcar..... | 83 |
| 2.2 Avaliação da qualidade da operação do plantio mecanizado | 101 |
| 2.3 Capabilidade do processo de plantio mecanizado de cana-de-açúcar | 125 |
| 2.3.1 Análise da capabilidade potencial e geral do plantio mecanizado de cana-de-açúcar | 133 |
| V CONCLUSÕES | 147 |
| VI REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS | 148 |

LISTA DE TABELAS

| TABELA | Página |
|--|---------------|
| TABELA 1. Análise granulométrica para a caracterização da classe textural do solo..... | 31 |
| TABELA 2. Análise química do solo para o plantio mecanizado de cana-de-açúcar. | 32 |
| TABELA 3. Características da variedade de cana-de-açúcar utilizada no plantio mecanizado..... | 34 |
| TABELA 4. Índices de tolerância para a capacidade do processo. | 52 |
| TABELA 5. Limites específicos de controle utilizados na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar nos turnos diurno e noturno de operação. | 53 |
| TABELA 6. Estatística descritiva para as variáveis de desempenho do conjunto trator-plantadora de cana-de-açúcar em função dos turnos de operação. | 59 |
| TABELA 7. Análise da estatística descritiva para caracterização das mudas de cana-de-açúcar na parte superior do transbordo utilizadas para o plantio mecanizado em função dos turnos de operação. | 71 |
| TABELA 8. Análise da estatística descritiva para caracterização das mudas coletadas na parte superior da plantadora de cana-de-açúcar. | 72 |

| | |
|---|----|
| TABELA 9. Estatística descritiva para as variáveis número de rebolos (NR), número de gemas totais (NGT), número de gemas viáveis (NGV), % gemas viáveis (GV) e consumo de mudas (CM) avaliadas após o plantio mecanizado de cana-de-açúcar nos turnos diurno e noturno. | 75 |
| TABELA 10. Análise de variância e teste de médias para número de rebolos (NR), número de gemas totais (NGT), número de gemas viáveis (NGV), % gemas viáveis (GV) e consumo de mudas (CM) avaliados no plantio mecanizado de cana-de-açúcar nos turnos diurno e noturno de operação. | 76 |
| TABELA 11. Análise de variância e teste de médias para o perfilhamento aos 30, 60, 90 e 120 DAP e as falhas da brotação aos 90 e 120 DAP na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar nos turnos diurno e noturno de operação. | 79 |
| TABELA 12. Desdobramento da interação do fator turno (diurno e noturno) dentro de cada sulco (esquerdo e direito) para perfilhamento aos 30 dias após o plantio (DAP) (P30), 60 DAP (P60), 90 DAP (P90), 120 DAP (P120), falhas 90 DAP (F90) e 120 DAP (F120) na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar..... | 80 |
| TABELA 13. Valores padrões de probabilidade dos gráficos sequenciais para o conjunto trator-plantadora no plantio mecanizado de cana-de-açúcar em função dos turnos de operação. | 85 |

| | |
|---|-----|
| TABELA 14. Valores padrões de probabilidade dos gráficos sequenciais para os indicadores de qualidade avaliados no plantio mecanizado de cana-de-açúcar no período diurno da operação. | 102 |
| TABELA 15. Valores padrões de probabilidade dos gráficos sequenciais para os indicadores de qualidade avaliados no plantio mecanizado de cana-de-açúcar no período noturno da operação. | 104 |
| TABELA 16. Valores padrões de probabilidade dos gráficos sequenciais para os indicadores de qualidade para análise da capacidade do processo..... | 132 |

LISTA DE FIGURAS

| FIGURA | Página |
|--|--------|
| FIGURA 1. Croqui da área experimental. | 30 |
| FIGURA 2. Climograma do ano de 2012 para o município de Monte Alto - SP. | 33 |
| FIGURA 3. Trator utilizado para o plantio mecanizado de cana-de-açúcar. | 35 |
| FIGURA 4. Modelo da plantadora de cana-de-açúcar picada. | 36 |
| FIGURA 5. Curvas de distribuições oscilando de acordo com a normalidade. | 43 |
| FIGURA 6. Gráficos de diagramas de caixas (<i>box plot</i>). | 44 |
| FIGURA 7. Modelo de curva de distribuição normal em função da probabilidade aproximada proporcionada pelos desvios padrão. | 46 |
| FIGURA 8. Modelo de gráfico sequencial para detectar padrões não-aleatórios. | 47 |
| FIGURA 9. Modelo de cartas de controle de valores individuais e de amplitude móvel. | 48 |
| FIGURA 10. Exemplo de um gráfico para análise da capacidade do processo. | 52 |
| FIGURA 11. Velocidade média de deslocamento do conjunto trator-plantadora na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em dois turnos de operação. | 61 |
| FIGURA 12. Rotação do motor do trator na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em dois turnos de operação. | 62 |
| FIGURA 13. Pressão do óleo do motor do trator na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em dois turnos de operação. | 63 |
| FIGURA 14. Temperatura da água do motor do trator na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em dois turnos de operação. | 64 |

- FIGURA 15.** Erro de alinhamento do trator na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em dois turnos de operação.66
- FIGURA 16.** Capacidade de campo efetiva do conjunto trator-plantadora na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em dois turnos de operação.67
- FIGURA 17.** Consumo horário de combustível do conjunto trator-plantadora na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em dois turnos de operação.68
- FIGURA 18.** Consumo efetivo de combustível do conjunto trator-plantadora na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em dois turnos de operação.70
- FIGURA 19.** Análise de correlação e regressão ao nível de significância $p < 0,05$ entre o número de perfilhos m^{-1} e o período de observação após o plantio mecanizado de cana-de-açúcar em dois turnos de operação.83
- FIGURA 20.** Cartas de controle para a velocidade de deslocamento do conjunto trator-plantadora no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel.....87
- FIGURA 21.** Cartas de controle para a rotação do motor do trator na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel.89

- FIGURA 22.** Cartas de controle para a pressão do óleo do motor do trator na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel.91
- FIGURA 23.** Cartas de controle para a temperatura da água do motor do trator na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle.....92
- FIGURA 24.** Cartas de controle para o erro do alinhamento do trator na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel.94
- FIGURA 25.** Cartas de controle para a capacidade de campo efetiva do conjunto trator-plantadora na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel.97
- FIGURA 26.** Cartas de controle para consumo horário de combustível do conjunto trator-plantadora na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel.98
- FIGURA 27.** Cartas de controle para consumo efetivo de combustível do conjunto trator-plantadora na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. 100

- FIGURA 28.** Cartas de controle para o número de rebolos distribuídos pela plantadora na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. SD: sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel. 106
- FIGURA 29.** Cartas de controle para o número de gemas totais distribuídas pela plantadora na operação no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. SD: Sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel. 108
- FIGURA 30.** Cartas de controle para o número de gemas viáveis distribuídas pela plantadora na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. SD: sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel. 110
- FIGURA 31.** Cartas de controle para a porcentagem de gemas viáveis distribuídas pela plantadora na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. SD: sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel. 112
- FIGURA 32.** Cartas de controle para consumo de mudas no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. SD: sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel. 114
- FIGURA 33.** Cartas de controle para o número de perfilhos aos 30 (DAP) no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. SD: sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel. 116

- FIGURA 34.** Cartas de controle para o número de perfilhos aos 60 (DAP) no plantio mecanizado de cana-de-açúcar (a) Carta de valores individuais. SD: sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel. 117
- FIGURA 35.** Cartas de controle o número de perfilhos aos 90 (DAP) no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. SD: sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel..... 119
- FIGURA 36.** Cartas de controle para o número de perfilhos aos 120 (DAP) no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. SD: sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel. 120
- FIGURA 37.** Cartas de controle para as falhas da brotação aos 90 (DAP) no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. SD: Sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel. 122
- FIGURA 38.** Cartas de controle para as falhas da brotação aos 120 (DAP) no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. SD: sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel. 123
- FIGURA 39.** Gráficos de distribuição normal de probabilidade ($p>0,05$) e parâmetros da estatística descritiva para a operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em função dos turnos de operação. 126

- FIGURA 40.** Cartas de controle para o número médio de rebolos no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. 127
- FIGURA 41.** Cartas de controle para o número médio de gemas totais na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. 128
- FIGURA 42.** Cartas de controle para o número médio de gemas viáveis no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. 129
- FIGURA 43.** Cartas de controle para o valor médio da % de gemas viáveis na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. 130
- FIGURA 44.** Cartas de controle para o número médio do consumo de mudas na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. 131
- FIGURA 45.** Análise da capacidade do processo para o número de rebolos m^{-1} para o período diurno no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. ... 134
- FIGURA 46.** Análise da capacidade do processo para o número de rebolos m^{-1} para o período noturno no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. 136
- FIGURA 47.** Análise da capacidade do processo para o número total de gemas m^{-1} para o período diurno no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. 137

| | |
|---|-----|
| FIGURA 48. Análise da capacidade do processo para o número total de gemas m^{-1} para o período noturno no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. | 138 |
| FIGURA 49. Análise da capacidade do processo para o número de gemas viáveis m^{-1} para o período diurno no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. | 139 |
| FIGURA 50. Análise da capacidade do processo para o número de gemas viáveis (m^{-1}) para o período noturno no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. | 140 |
| FIGURA 51. Análise da capacidade do processo para a porcentagem de gemas viáveis m^{-1} para o período diurno no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. | 141 |
| FIGURA 52. Análise da capacidade do processo para a porcentagem de gemas viáveis m^{-1} para o período noturno no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. | 142 |
| FIGURA 53. Análise da capacidade do processo para o consumo de mudas $t\ ha^{-1}$ para o período diurno no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. | 143 |
| FIGURA 54. Análise da capacidade do processo para o consumo de mudas $t\ ha^{-1}$ para o período noturno no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. | 145 |

QUALIDADE DA OPERAÇÃO DE PLANTIO MECANIZADO DE CANA-DE-AÇÚCAR NOS TURNOS DIURNO E NOTURNO

RESUMO – O plantio mecanizado de cana-de-açúcar está em crescente expansão no Brasil devido à maior operacionalidade e às melhores condições de trabalho proporcionadas aos operários em relação a outros tipos de plantio, porém estudos relacionados a este tema ainda são incipientes ou escassos no Brasil. Neste contexto, objetivou-se avaliar neste trabalho o desempenho do conjunto mecanizado trator-plantadora e a qualidade da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, em dois turnos de operação, por meio do controle estatístico de processo e das demais análises estatísticas. O plantio mecanizado foi realizado em área do município de Monte Alto - SP, e o delineamento estatístico utilizado foi inteiramente casualizado, totalizando 80 pontos amostrais (repetições), sendo 40 pontos para a operação diurna e 40 pontos para a operação noturna. As variáveis e/ou indicadores de qualidade avaliados para o desempenho do conjunto mecanizado foram: velocidade de deslocamento, rotação do motor, pressão do óleo do motor, temperatura da água do motor, capacidade de campo efetiva e os consumos horário e efetivo de combustível. Para a avaliação da qualidade da operação do plantio mecanizado foi utilizado o delineamento estatístico inteiramente casualizado, com parcelas subdivididas no espaço e no tempo, no qual foi realizado um total de 160 repetições, sendo 80 para o turno diurno e 80 para o noturno, sendo ainda divididas 40 repetições para os sulcos esquerdo e direito, utilizando-se como variáveis ou indicadores de qualidade: o número de rebolos m^{-1} , número de gemas totais m^{-1} , número de gemas viáveis m^{-1} , % gemas viáveis, consumo de mudas ($Mg\ ha^{-1}$), perfilhamento aos 30, 60, 90 e 120 dias após o plantio (DAP) e por fim as falhas aos 90 e 120 DAP, respectivamente. A qualidade da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar é influenciada pelos turnos diurno e noturno, sendo menor no período noturno para os indicadores de qualidade relacionados aos aspectos agronômicos da cultura e ao desempenho operacional do conjunto trator-plantadora, exceto para a temperatura da água do motor. As médias da temperatura da água do motor e do erro de alinhamento do trator são maiores para o período diurno, enquanto que as demais variáveis não são influenciadas pelos turnos de operação. O perfilhamento aos 120 e 90 DAP, respectivamente, nos sulcos direito apresentam menores valores para o período noturno.

PALAVRAS-CHAVE: Cartas de controle, causas especiais, Controle estatístico de qualidade (CEQ), desempenho de máquinas agrícolas, *Saccharum* spp., variabilidade

QUALITY OF OPERATION MECANIZED PLANTING OF SUGARCANE IN THE DAY AND NIGHT SHIFT

ABSTRACT – The mechanized planting of sugarcane is becoming increasingly widespread in Brazil due to the more operational and better working conditions afforded to workers in relation to other types of planting, but studies related to this topic are incipient or scarce in Brazil. In this context, the aim of this work was to evaluate the performance of the whole tractor-mechanized planter and quality of operation of mechanized planting of cane sugar, in two shifts of operation, through statistical process control and statistical analyzes. The mechanized planting was carried out in the area of the municipality of Monte Alto - SP, and statistical design was completely randomized, totaling 80 sampling points (replicates), 40 points for daytime operation and 40 points for the night operation. The variables and/or quality indicators evaluated for the performance of mechanized set were: speed, engine speed, oil pressure, coolant temperature, engine water, field capacity and fuel consumption and time effective fuel. To evaluate the quality of operation of mechanized planting was used completely randomized design with a split plot in space and time, in which we performed a total de 160 replications, and 80 for the day shift and 80 for the night, being still divided 40 repetitions for the grooves left and right, being used as variables or quality indicators: the number of wheels m^{-1} , total number of buds m^{-1} , number of viable buds m^{-1} , % viable buds m^{-1} , consumption of billets ($Mg\ ha^{-1}$), tillering at 30, 60, 90 and 120 days after planting and finally failures at 90 e 120. The quality of operation of mechanized planting of cane sugar is influenced by day and night shifts, being lower at nighttime for quality indicators related to agronomic aspects of culture and operational performance of the tractor-planter, except for the water temperature of the engine. The average water temperature of the engine and tractor alignment error are larger for daytime, while the other variables are not affected by the shift operation. The tillering to 120 and 90 DAP, respectively, in the right furrows have lower values for the nighttime.

KEY WORDS: Control charts, special causes, Statistical quality control (SQC), agriculture machine performance, *Saccharum* spp., Variability

I INTRODUÇÃO

O setor agrícola sucroalcooleiro possui importância tanto no contexto nacional como internacional, seja pelos investimentos em novas tecnologias, para maximizar a expansão do setor, por meio do incentivo do governo – crédito rural, como também pela questão econômica que envolve os ciclos destas atividades agrícolas.

O objetivo das unidades produtoras e usinas canavieiras é a minimização dos custos, apresentando ao final do ciclo de produção resultados satisfatórios que agrade aos clientes, no caso, a indústria que recebe a cana-de-açúcar para o seu processamento. Porém, para essas metas serem atingidas ou, no mínimo, serem viáveis de serem executadas ao longo do tempo, as operações que envolvem este ciclo de produção tem que ser efetuadas com sucesso, garantindo a qualidade final.

Neste contexto, a mecanização no setor agrícola canavieiro desempenha uma função fundamental para a produção em larga escala de cana-de-açúcar, tendo, portanto, influência direta nos custos de produção. Para haver o aumento da eficiência da operação, bem como para que as mesmas sejam realizadas com qualidade, o planejamento, quando associado ao gerenciamento eficaz destas operações, tem elevado potencial para a redução de custos.

Com o objetivo de tentar minimizar os custos decorrentes das operações agrícolas mecanizáveis, o uso das ferramentas do controle estatístico de qualidade se torna essencial 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.

Para que seja atingindo elevado nível de qualidade nestes ciclos de operações com maquinários agrícolas, programas de controle de qualidade têm de ser implantados nas unidades e usinas canavieiras como forma de melhorar a qualidade das operações em curto prazo e mantê-las também com a qualidade em longo prazo. Talvez, no início da implantação de um plano de ação para a melhoria da qualidade, a resposta financeira não seja muito nítida, bem como o incremento da

produtividade, mas, ao longo do tempo, potencialmente poderá ser desde que, o monitoramento e a melhoria do desempenho das operações sejam contínuas.

Na literatura especializada, diversos autores tentam caracterizar a operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, por meio do desempenho operacional do conjunto trator-plantadora, pela qualidade da operação em relação à parte agrônômica associada à distribuição de mudas e número de gemas viáveis, dentre outros. Entretanto, estudos ligados a esta operação agrícola no período noturno ainda são escassos, necessitando de maiores esforços científicos para que a variabilidade decorrente desta atividade seja minimizada ao máximo.

As técnicas de controle estatístico de qualidade aplicadas às operações agrícolas mecanizadas ainda são recentes e estão em processo de expansão. Em função dos resultados positivos verificados em diversas áreas ligadas à indústria, o aprimoramento e aplicação das ferramentas da qualidade na agricultura devem também produzir resultados promissores, se os resultados das análises forem executados com eficácia, visto que a maioria das operações agrícolas ligadas ao setor canavieiro é realizada sem controle total de qualidade.

Considerando tais fatos e partindo do pressuposto que o desempenho da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar possa ser influenciado pelos turnos de trabalho e que este desempenho influencie os aspectos agrônômicos da cultura após o plantio, objetivou-se neste trabalho avaliar a qualidade da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em dois turnos de trabalho (diurno e noturno), utilizando-se como indicadores de qualidade parâmetros de desempenho operacional do conjunto trator-plantadora 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 Plantio mecanizado de cana-de-açúcar

O plantio mecanizado de cana-de-açúcar deve ser monitorado durante a sua execução para que se possa obter a produtividade esperada. Porém, deve-se observar que quanto maior a exigência em relação à qualidade, maior pode ser o custo da operação (VICENTE e FERNANDES, 2004).

Rípoli (2006) relata que o plantio mecanizado de cana-de-açúcar é uma tendência irreversível nas áreas mecanizáveis, devido ao menor custo da operação e alto desempenho operacional das plantadoras (em relação aos demais sistemas de plantio). Associado a isso, se destacam também: a possibilidade das plantadoras poderem trabalhar tanto nos turnos diurnos e noturnos de operação e ao fato de haver pressão das leis trabalhista para que os operários envolvidos na operação possam trabalhar com segurança e com o maior conforto possível.

O plantio mecanizado requer um planejamento, organização e execuções diferenciadas de todas as operações que o envolvem, diferentemente quando se compara ao método convencional, pois, o mesmo possui vantagens como: abertura dos sulcos, deposição das mudas nos sulcos, aplicação de fertilizantes, herbicidas, inseticidas ou fungicidas, cobrição ou fechamento dos sulcos e por fim a compactação do mesmo para eliminar os bolsões de ar, sendo que todas estas ocorrem simultaneamente (COLETI, 1987).

O planejamento e a organização da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar se referem, a saber, qual variedade deve ser utilizadas, pois existem algumas que não se adaptam a este tipo de plantio por haver elevada danificação das gemas apicais, podendo afetar negativamente a brotação e posterior perfilhamento (BONONI e ROSA, 2007). Portanto, ressalta-se ainda que a distância das mudas até a área de plantio é um fator extremamente limitante ao desempenho operacional do plantio mecanizado em algumas unidades produtoras, principalmente em relação ao desempenho da colheita mecanizada de mudas e manutenção corretiva destas máquinas, e também na qual, ocorre casos em que se falta conjunto trator-transbordo para o carregamento das mudas até a área de plantio.

A logística do transporte das mudas, também deve ser analisada com cautela, pois o conjunto trator-transbordo não deve percorrer distâncias muito longas em virtude do custo do transporte bem como a possível deterioração das mudas no interior do transbordo (BONINE e ROSA, 2007).

Diversos autores estudaram os sistemas de operações de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, levando-se em conta a biometria das mudas, desempenho do conjunto trator-plantadora, custos de produção que o envolvem. Exemplos destas análises podem ser visualizadas em: Oliveira (2012), Mialhe (2012), Garcia (2008), Janini (2007), Cebim (2007) e Cebim (2008), mas nenhum destes trabalhos retrata o comportamento da operação deste sistema de plantio durante o período noturno de operação.

Além disso, quando se deseja avaliar a qualidade em que as etapas do sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar estão sendo realizadas, bem como seu monitoramento contínuo, análise dos padrões de qualidade e a execução de planos de possíveis melhorias para a operação, a fim de diminuir a variabilidade da mesma, pode-se consultar Noronha (2012), Campos, Milan e Siqueira (2008) e Barros e Milan (2010).

1.1 Desempenho do trator

Estudos sobre o desempenho das operações mecanizadas em cana-de-açúcar, nos turnos diurno e noturno, ainda são escassos no Brasil em especial para a operação de plantio mecanizado, quando se refere às variáveis de desempenho do trator. Dentre as etapas mais importantes dentro do ciclo desta cultura, destaca-se o plantio mecanizado, pois, se a relação máquina-solo-plantat-atmosfera não estiver em equilíbrio à longevidade e a produtividade do canavial será comprometida (HÅKANSSON, 2005; SUZUKI et al. 2007). No entanto, o monitoramento em tempo real dessas variáveis, referentes à máquina (trator), deve ser realizado com precisão e cautela, pois, atualmente as variáveis são em maior parte mensuradas por sensores alocados em pontos específicos de cada parte e/ou constituinte do motor. Com isso, a manutenção destes equipamentos é de extrema

importância para o perfeito funcionamento do trator o que pode refletir no desempenho do conjunto mecanizado.

O desempenho da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar pode ser afetado, principalmente, pelos fatores relacionados à máquina, que, neste caso, referem-se às variáveis pertinentes aos tratores agrícolas como:

- Rotação do motor: possui a capacidade de interferir nas características de desempenho do motor. Portanto, as curvas características do motor, podem representar o torque (N m), potência utilizada (kW), consumo específico (g kWh^{-1}) e horário de combustível (L h^{-1}). À medida que aumenta a rotação do motor, o torque tende a diminuir, a potência aumentar (até a rotação de potência máxima), o consumo específico de combustível atinge a faixa de consumo mínimo e, posteriormente, o ultrapassa, causando incremento no consumo de combustível. Por fim, o consumo horário também sofre um incremento e quando chega próximo à rotação de potência máxima (MIALHE, 1996). Dependendo da demanda de potência requerida para a operação, os tratores devem trabalhar próximos à faixa de potência máxima (rotação máxima do motor) para poder aumentar a operacionalidade dos conjuntos mecanizados.
- Pressão do óleo do motor: dentre as funções dos óleos lubrificantes do motor estão: diminuição do atrito entre as partes móveis, atuar com agente de limpeza retirando os carvões e partículas que se formam durante o funcionamento do motor, vedação entre os anéis do pistão e a parede do cilindro, dentre outros (VARELLA, 2009). O sistema utilizado para os motores agrícolas é o sistema de circulação sob pressão, devido à longa distância e diversas galerias percorridas pelo óleo no interior do motor, sendo que a pressão na maioria dos tratores pode variar de 103 a 275 kPa, podendo atingir 448 kPa em situações extremas. De acordo com Varella (2009) neste sistema, o óleo, sob pressão, além de passar através dos eixos de manivelas, cames e balancins, ainda é forçado através dos pinos dos pistões. Os pinos dos pistões são lubrificados por galerias existentes nas bielas. As partes superiores dos cilindros e dos pistões são lubrificadas pelo óleo que escapa dos furos existentes nas conexões das

bielas com os pinos dos pistões, e a parte inferior das paredes dos cilindros e dos pistões pelo óleo proveniente dos furos existentes nas conexões da árvore de manivelas com as bielas.

- Temperatura da água do motor: possui relação direta com o sistema de arrefecimento, na qual, controla a temperatura dos motores de combustão interna com o objetivo de retirar o excesso de calor, mantendo a temperatura na faixa de 85 a 95°C, que como são máquinas ineficientes termicamente, aproveitam apenas 35% do calor total da combustão (BARGER et al. 1996). De acordo com Varella (2009) o sistema utilizado nos motores de tratores agrícolas é o de circulação forçada de água. O mesmo se constitui de uma bomba centrífuga (bomba de água) que promove a circulação forçada do meio arrefecedor. Possui válvula termostática entre o cabeçote do motor e o radiador para o controle da temperatura. A quantidade de água do sistema pode ser reduzida consideravelmente, pois, neste sistema a água está sob pressão e circula com maior velocidade (a temperatura é elevada quando a válvula termostática, radiador e demais constituintes deste sistema estão com problemas).
- Erro de alinhamento do trator: pode ser monitorado em tempo real por meio de um monitor digital dentro da cabine do operador, que indica ao operador o erro, em metros, em relação ao alinhamento de plantio pré-determinado. Por outro lado, em relação à margem de erro de alinhamento, podemos considerar também a acurácia e a precisão do sistema de autodirecionamento (piloto automático). De acordo com Caeten e Robaina (2011) a acurácia pode ser dita como a proximidade da medida real ao verdadeiro valor da variável (meta estimada). No entanto, a precisão pode ser obtida por meio da repetição do processo de quantificação deste erro, sendo um potencial fator para redução da variabilidade. Neste contexto, associando-se a regulagem do espaçamento entre as hastes sulcadoras da plantadora e o erro de alinhamento do trator no momento do plantio mecanizado de cana-de-açúcar, se estes fatores não sofrerem a adequada regulagem, potencialmente, haverá perda da acurácia desejada

para a operação causando possíveis erros de alinhamento, que podem extrapolar os limites de tolerância aceitáveis pelas unidades produtoras e com isso, afetar também as operações subsequentes como: aplicações de insumos, colheita mecanizada e demais tráfegos de máquinas (KOCHER et al. 2000). Neste contexto, Campos, Milan e Siqueira (2008) relataram que o pisoteio das soqueiras e falhas na pulverização, são mais evidentes, quando existem erros de alinhamento na operação de plantio de cana-de-açúcar. Por outro lado, Shockley e Dillon (2008), abordaram que, o piloto automático, por meio do erro de alinhamento verificado no computador de bordo na cabine do operador, reduz sobreposições e falhas na aplicação, possibilitando maior acurácia na operação.

Caso alguns dos fatores acima citados, que atuam em conjunto, estiverem em condições inadequadas de trabalho, dependendo das condições impostas pelo solo e pela declividade do terreno (MACMILLAN, 2002), será muito difícil atender os pré-requisitos estipulados pela unidade produtora. Dessa forma, a operação poderá não atingir a qualidade desejada comprometendo todo o planejamento agrícola. Portanto, as regulagens e manutenções, tanto preventiva como corretiva, sendo esta última evitada e, se ocorrerem deve ser resolvidas rapidamente, devem ser realizadas frequentemente.

1.2 Desempenho do conjunto mecanizado

De acordo com Mialhe (2012) os ensaios com plantadoras de cana-de-açúcar, ou referentes ao conjunto mecanizado trator-plantadora, no Brasil referem-se apenas a poucos trabalhos, sendo eles realizados por Stolf et al. (1986) e Ripoli et al. (2007). A possível explicação para esta pouca quantidade de pesquisa na área, os autores justificam devido à inexistência de padrões de metodologias para esta classe de máquinas agrícolas. Outra potencial explicação, pode ser em virtude do não interesse contínuo das empresas do setor e dos próprios fabricantes

em melhorar a qualidade da operação desempenhada por essas máquinas, em função dos custos destas melhorias e se elas trariam o retorno planejado.

Por outro lado, Mialhe (2012) descreve que, para estas plantadoras de cana-de-açúcar, podem ser realizados ensaios por meio da utilização dos princípios básicos na qual se constituem por: especificidade, reprodutibilidade, comparabilidade e confiabilidade. Para maiores informações sobre cada fase dos ensaios utilizados para máquinas agrícolas consultar Mialhe (1996).

Além do dimensionamento correto da operação focado na potência das máquinas (tratores) direcionadas para o plantio mecanizado de cana-de-açúcar com utilização de plantadoras, devem-se observar também: a velocidade de deslocamento, os consumos horário e efetivo de combustível, bem como a capacidade de campo efetiva da operação (MIALHE, 2012).

A velocidade de deslocamento do conjunto trator-plantadora possui influência direta na capacidade efetiva de campo bem como na capacidade de campo operacional. Sendo que esta última também possui influência direta da eficiência da operação (MIALHE, 1996). Associando-se a maior velocidade de deslocamento juntamente com a máxima largura de trabalho da máquina ou implemento agrícola a ser tracionado pelo trator, maior será a operacionalidade efetiva da operação.

Por outro lado, o consumo horário de combustível é um dos fatores que possui importância nos custos de produção, contabilizado como gastos variáveis, das operações agrícolas mecanizadas, sendo a sua estimativa realizada por meio das unidades $L h^{-1}$ e ou $L km^{-1}$ (MIALHE, 1974; 1996). Este sistema de medida é muito dinâmico em virtude da carga em que os tratores são submetidos durante a operação (OLIVEIRA, 2012), podendo ser impostas pelas condições físicas do solo e também pela carga do reservatório de mudas da plantadora.

Ressalta-se ainda que, o consumo horário de combustível sofre influência da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado, rotação do motor, marcha de trabalho, lastro do trator, patinagem dos rodados e da potência disponível no motor (kW), sendo que estes fatores possuem certa relação e caso um deles estejam fora de sintonia a consequência será refletida nos custos de produção da operação.

Reis (2004), afirma que os custos do maquinário agrícola são os que mais aumentam os custos de produção, podendo responder por 60% dos custos anuais.

Neste contexto, os custos com combustível em operações agrícolas tratorizadas pode variar de 30 a 40% do custo hora total, na qual sua correta quantificação se torna importante para o monitoramento econômico.

De acordo com Garcia (2008) à medida em que se aumenta a velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado no plantio de cana-de-açúcar o consumo horário de combustível ($L h^{-1}$) aumenta substancialmente. Dentre as várias fórmulas matemáticas, contidas na literatura, para se calcular e/ou estimar o consumo horário de combustível proveniente das operações agrícolas mecanizadas destacam-se: Mialhe (1996); Lopes et al. (2003); Romanelli (2008), ASABE (2011) e Kim, Kim e Kim (2011).

Por fim, o consumo efetivo de combustível ($L ha^{-1}$) possui relação inversamente proporcional ao aumento da velocidade do conjunto trator-plantadora e da largura útil de trabalho da plantadora, pois, à medida que a capacidade de campo efetiva aumenta o consumo efetivo diminui. Por outro lado, quando a capacidade de campo efetiva é constante ao longo da operação, o fator que proporciona aumentos ou diminuição no consumo efetivo de combustível é o consumo horário ($L h^{-1}$). De acordo com Garcia (2008) o aumento da velocidade de deslocamento, consumo horário de combustível, capacidade de campo efetiva e, conseqüentemente, o consumo efetivo de combustível ($L ha^{-1}$) são afetados significativamente, constatando-se a relação entres estas variáveis.

1.3 Condições edafoclimáticas para o plantio

1.3.1 Teor de água no solo

Dentre os fatores edáficos que podem alterar o perfilhamento e a brotação da cana-de-açúcar destacam-se o teor de água do solo e a compactação do solo, sendo este último, causado por meio do intenso tráfego de máquinas para a construção das curvas de níveis, antes do plantio quando não é realizado preparo prévio da área devido à instalação anterior de uma cultura intercalar em área de

renovação de canaviais como a soja, ou devido aos demais tratos culturais e colheita mecanizada ao longo dos anos.

Com relação ao teor de água do solo, conforme relataram Beuclair e Scarpari (2006), o solo deve estar mais próximo possível da capacidade de campo, o que pode ser conseguido por meio de condições naturais, no caso, chuva, ou com técnicas de irrigação suplementar podendo ser utilizado irrigação e/ou vinhaça.

Peixoto et al. (1988) já haviam relatado que a demora para a brotação da cana-de-açúcar foi em função ao plantio tardio e ao teor limitante de água no solo pois, as condições climáticas já não eram propícias, estudando três variedades de cana-de-açúcar em relação aos sulcos de base estreita e larga realizados na operação de plantio. Casagrandi (1991) relatou que o teor de água no solo para haver a efetiva brotação da cana-de-açúcar e posterior desenvolvimento da planta o mesmo deve variar entre 15 a 25%.

A influência do teor de água no solo para a cana-de-açúcar é grande, sendo que, a brotação e o perfilhamento são os estágios mais críticos ao déficit hídrico. Isso tem muito a ver com a época em que o plantio será realizado. No caso do Estado de São Paulo, o período de plantio, às vezes, coincide com o final da estação chuvosa, situação em que se encontra o plantio de cana-de-ano e meio, o que certamente acarreta prejuízos no enraizamento e perfilhamento inicial da cana planta e posterior tratos culturais (FELIPE, 2008). Segundo Argenton (2006), o consumo de água pela cana-de-açúcar pode variar em função do estágio fenológico, do ciclo da cultura, das variações climáticas e da disponibilidade de água no solo.

1.3.2 Compactação do solo

Por outro lado, o nível de compactação do solo pode retratar condições em que o sistema radicular da planta se torne mal desenvolvido ou na maior parte das vezes superficiais, em virtude da cultura da cana-de-açúcar possuir um ciclo variando de 4 a 6 anos em média. Assim, o preparo prévio do solo torna-se fundamental para o desenvolvimento tanto inicial quanto nos anos subsequentes do ciclo da cultura (BEUCLAIR e SCARPARI, 2006), sendo fator predominante na

produtividade final (ORLANDO FILHO e RODELLA, 1994). Esses autores relatam ainda que, cada unidade produtora tem seu próprio sistema de preparo ou não do solo para o plantio, ocorrendo estas variações em função do tipo de solo, rotação de culturas em áreas de canaviais e da disponibilidade de máquinas e implementos agrícolas.

A compactação do solo em áreas de produção de cana-de-açúcar possui substanciais reduções do perfilhamento inicial da cultura bem como a produtividade final ao longo dos sucessivos cortes até a renovação do canavial, em virtude do tráfego de máquinas para a construção das curvas de níveis, sistemas de preparo do solo para a operação de plantio e tráfego devido aos demais tratamentos culturais e colheita mecanizada. Neste contexto, Benedini e Conde (2008) relataram que, após a operação de plantio com espaçamento de 1,50 m, pode ser viável ao sistema de colheita mecanizada de cana-de-açúcar por meio do controle do intenso tráfego de máquinas. Entretanto, salientam que, quando a compactação do solo ocorre nas proximidades das curvas de níveis em função da construção das mesmas, a compactação neste local tende a aumentar com o passar dos anos devido ao tráfego de máquinas.

Existem trabalhos que relatam sobre o aumento da compactação do solo em áreas de cana-de-açúcar, na qual, podem afetar tanto o perfilhamento inicial bem como a sua produtividade final (USABORISUT e SUKCHAROENVIPHARAT, 2011; USABORISUT e NIYAMAPA, 2010). Outros autores já descrevem que a compactação do solo possui associação direta com o sistema de preparo do solo, sendo diretamente influenciada pelo teor de água do solo e o espaçamento de plantio adotado, relacionando-se este último ao controle de tráfego de máquinas (KUMAR, SAINI e BHATNAGAR, 2012; GARSIDE, SALTER e KIDD, 2008; GARSIDE et al. 2009).

1.3.3 Temperatura ambiente

A faixa ideal de temperatura para que ocorra a brotação da cana-de-açúcar entre 27 a 32°C, sendo que temperaturas inferiores a 5°C e superior a 45°C

possuem efeito prejudicial na brotação (CASAGRANDI, 1991). Por outro lado, Beuclair e Scarpari (2006) relataram que a temperatura para que ocorra a máxima brotação da cana-planta deve alterar-se entre 32 a 38°C e para o posterior desenvolvimento da cultura o ambiente deve apresentar temperaturas médias diurna de 22 a 30°C, sendo que, abaixo de 22°C, a taxa de crescimento é limitada.

Bovi (1982) já havia relatado que a época de plantio possui influência na brotação da cana-de-açúcar, sendo que, quando o mesmo atrasa para a cana-de-ano e meio a brotação e o perfilhamento do canavial é reduzida em virtude das temperaturas mais baixas associadas ao menor índice de precipitação pluviométrico (situações para as quais a irrigação suplementar não é utilizada).

Em trabalho realizado em relação à taxa fotossintética na cultura da cana-de-açúcar, Alfonsi et al. (1987), relataram que, a medida que a temperatura média diminui a taxa fotossintética decresce conjuntamente. O autor descreve ainda, que o perfilhamento da cana-de-açúcar é uma característica intrínseca das variedades, de forma que existem variedades com maior e menor índice de perfilhamento. No entanto, a temperatura associada à radiação solar podem ser os fatores climáticos mais importantes na brotação e crescimento dos perfilhos, respectivamente. Em síntese, a temperatura acaba interferindo principalmente nas relações bioquímicas e nas ações das enzimas que diferenciam no crescimento celular da cana-planta.

1.3.4 Déficit hídrico

Segundo Argenton (2006), o consumo de água pode variar em função do estágio fenológico do ciclo da cultura, podendo o desenvolvimento inicial ser afetado caso haja deficiência severa. O autor ainda descreve que a falta ou excesso de água no solo pode afetar significativamente o desenvolvimento da parte aérea da cana-de-açúcar como o seu posterior desenvolvimento.

De acordo com Brunini (2008), durante o desenvolvimento da cultura da cana-de-açúcar deve-se avaliar a aptidão agrícola nas diferentes regiões em que irá se cultivar a mesma cuja determinação será principalmente em virtude das necessidades climáticas como também do potencial hídrico da região, pois, pode

influenciar negativamente a produtividade final, refletindo, conseqüentemente, no aumento dos custos de produção.

De acordo com Camargo et al. (1977) e Casagrandi (1991) as faixas para o déficit hídrico em cana-de-açúcar poderiam ser realizadas da seguinte forma:

- Deficiência hídrica anual de 10 mm a 250 mm indica condições favoráveis ao desenvolvimento da cultura e propícia à maturação. Porém, as diferentes graduações ou variabilidade espacial com respeito a solo e amplitude térmica devem ser consideradas;

- Deficiência hídrica maior que zero e menor que 10 mm pode indicar períodos desfavoráveis à maturação e baixa luminosidade para os processos fotossintéticos, indicando as faixas com ausência de estação seca, fator que prejudica a maturação e colheita da cana;

- Deficiência hídrica anual acima de 250 mm e abaixo de 400 mm, segundo o método do balanço hídrico com 125 mm de armazenamento no solo, indica a faixa com deficiência sazonal elevada, tornando-se recomendável o emprego de irrigação suplementar;

- Deficiência hídrica anual acima de 400 mm indicando o limite acima do qual se torna inviável a cultura da cana sem irrigação, por carência hídrica excessiva. Neste caso até um limite de 600 mm, poderia ser tolerado, mas a irrigação deveria ser fator imprescindível e contínuo, caso contrário, as perdas seriam totais.

Portanto, o correto escalonamento das variedades de cana-de-açúcar a serem utilizadas em determinados ambientes climáticos é essencial para fornecer as condições favoráveis ao desenvolvimento da cultura, tornando-se fundamental o conhecimento edáfico e climatológico das várias regiões produtoras de cana-de-açúcar no Brasil.

2 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 o

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). Neste aspecto, Barros e Milan (2010) identificaram alguns dos fatores críticos, desenvolveram um plano de melhorias e analisaram seus efeitos no plantio de cana-de-açúcar, e constataram que a elaboração do plano de melhorias aumenta o percentual de pontos dentro dos limites especificados, porém, os processos, ainda, permaneceram como não previsíveis. Portanto, a necessidade de novas avaliações e melhorias do processo é essencial, com base nos padrões de qualidade definidos pelos gerenciadores da operação.

2.1 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 a 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 deseja trabalhar com níveis de qualidade exigidos.

2.2 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 podem 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 (1σ , 2σ , 3σ , 4σ , 5σ e 6σ). 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.

2.3 Carta de valores individuais ou \bar{X}

As cartas de valores individuais devem ser implementadas para o monitoramento das variáveis que influenciam a qualidade dos itens ou processo produzidos ao longo do tempo (MINITAB, 2007). Neste contexto, uma determinada variável pode ser monitorada por sucessivas amostras podendo ser coletadas em certos períodos de tempo, em lotes de produção, em tempo real, lotes de matéria prima, dentre outros, ou seja, são variáveis que possuem características mensuráveis de determinado processo, podendo ser consideradas como contínuas (WERKENA, 1995), não utilizando-as em variáveis discretas.

Durante o monitoramento do processo, se estas amostras apresentadas em tempo cronológico, ou seja, quantifica a variação pontual da amostra em torno da média (MONTGOMERY, 2004), quando comparada aos limites de controle apresentarem pontos que os extrapolem, o processo é considerado fora de controle estatístico (MINITAB, 2007) e a verificação da procura das causas especiais que o afetam é necessária para aumentar a qualidade dos itens produzidos.

Contudo, a finalidade deste gráfico é a detecção de possíveis variações externas ao processo, inferir na capacidade do mesmo; forçar o gerenciamento da operação com a criação de um plano de melhorias; redefinir se necessário os padrões de qualidade de determinados itens de produção; avaliar se as melhorias surtiram efeitos nos produtos e/ou serviços; e manter a qualidade da operação caso

a mesma satisfaça os padrões de qualidade exigidos, sempre levando em consideração até que ponto a melhoria contínua do processo não afeta os custos de produção.

2.4 Carta de amplitude móvel ou $\bar{M}\bar{R}$

A utilização da carta de amplitude móvel tem a finalidade de detectar a variabilidade existente no decorrer do processo decorrente da carta de valores individuais, na qual, seus valores se constituem da diferença entre dois pontos consecutivos, em módulo, e quando a diferença entre esses pontos ultrapassam os limites de controle é constatado que o processo potencialmente possui causas especiais influenciando sua qualidade (MINITAB, 2007), portanto retrata a variação existente dentro da amostra em um dado instante de tempo. No entanto, a utilização conjunta das cartas de amplitude móvel com as de valores individuais, é extremamente essencial para o monitoramento e compreensão das possíveis causas especiais que afetam o processo para tentar minimizar sua variação o que incorre em aumento da qualidade (MINITAB, 2007).

Portanto, quando a carta para a variação do processo está com pontos fora dos limites de controle ou apresenta-se instável, os limites para a carta das observações individuais podem ser calculados erroneamente, não apresentando confiabilidade para avaliação do processo. Neste caso, a falta de controle se deve mais à instabilidade do que às variações externas ao processo. Diz-se então, que o processo está fora de controle devido à variação (MINITAB, 2007). Por outro lado, quando a carta de controle para a variação estiver sob controle, ou seja, os pontos dentro dos limites inferior e superior de controle, analisa-se a carta dos valores individuais, e se essa demonstrar a presença de pontos que extrapolem os limites de controle há atuação de causas especiais decorrente do processo.

2.5 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 (LIE) 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 em que o C_p está no intervalo $1,0 \leq C_p < 1,33$ considera-se o processo aceitável. Quando se calcula o índice C_p , 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 C_p (SOUZA, 2003).

O índice C_{pk} (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.

2.6 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 SAMOBYL, 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 mesmos 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 regulação 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 ferramentas 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 2013, no município de Monte Alto – SP, em área da fazenda Tijuco, localizada nas proximidades das coordenadas geodésicas: Latitude 21°16'42" S e Longitude 48°24'21" O, com altitude média de 620 metros e declividade média de 6%.

Foram estabelecidas duas malhas amostrais pré-definidas, totalizando 80 pontos com espaçamentos de 50 x 1,50 m entre si, sendo 40 pontos avaliados durante o turno do dia e 40 pontos durante o turno da noite, para o desempenho do conjunto mecanizado trator-plantadora de cana-de-açúcar. Para as avaliações referentes à qualidade do plantio coletadas nos sulcos esquerdo e direito ¹ foram amostrados 160 pontos, sendo 80 para o período diurno e 80 para o noturno da operação (Figura 1).

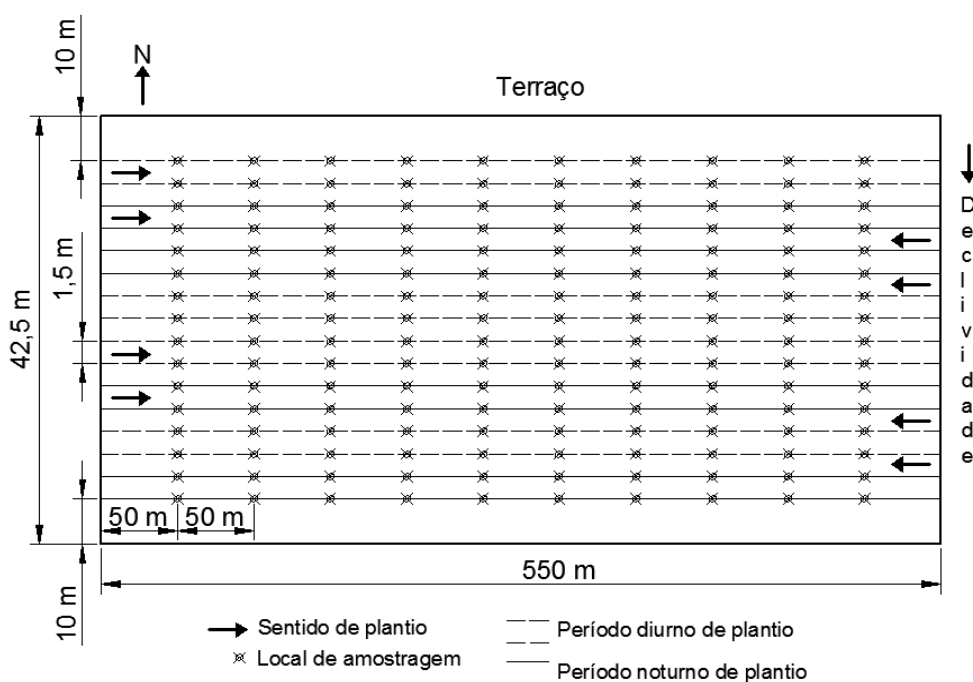


FIGURA 1. Croqui da área experimental.

¹ A citação de marcas e modelos comerciais não implica em recomendação de uso por parte do autor.

1.1 Histórico da área e preparo do solo

A área experimental havia sido cultivada com cana-de-açúcar há 6 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 subsolagem efetuada à profundidade de 0,60 m. Após esta etapa, foi realizada semeadura para a implantação da cultura da soja, utilizada como cultura intercalar em área de renovação do canavial.

Após a colheita mecanizada da soja realizou-se a operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, sem haver o prévio preparo do solo. A caracterização da quantidade de palha deixada pela cultura da soja foi obtida por meio da coleta de dez pontos aleatórios na área, sendo coletados em uma armação quadrada de 0,25 m². O material coletado foi levado à estufa de circulação forçada, por 72 horas a 65° C, sendo, posteriormente pesado em balança com precisão de 0,01g para, então, ser estimada a quantidade de matéria-seca, resultando em 938,03 kg ha⁻¹.

1.2 Solo e clima

O solo da área experimental foi classificado como ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO distrófico, com textura média. Foram realizadas dez amostragens ao acaso (0,00 – 0,20; 0,40 – 0,60; 0,80 – 1,00 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 – 0,20 | 78 | 6 | 16 | Média |
| 0,40 – 0,60 | 72 | 5 | 23 | |
| 0,80 – 1,00 | 74 | 6 | 20 | |

A análise química do solo, em função da coleta de dez pontos amostrais (Tabela 2), observou-se que a saturação por bases (V) foi de 64% (0,00 – 0,20 m) indicando a não necessidade de calagem antes da realização do plantio mecanizado. Ao se analisar as outras profundidades constata-se que o (V%) não atingiu a quantidade requerida para a cana-de-açúcar que é de 60% (BOLETIM 100, 1996).

A quantidade de fósforo (P) e potássio (K) deve ser aplicada de acordo com a produtividade esperada pela cultura, estimada pela unidade produtora, bem como o nitrogênio (N). Mas, independentemente da produtividade esperada, os níveis de P e K encontravam-se abaixo do necessário, sendo, fundamental a aplicação destes fertilizantes minerais.

TABELA 2. Análise química do solo para o plantio mecanizado de cana-de-açúcar.

| 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 | | | % |
| 0,00-0,20 | 5,4 | 17 | 27 | 1,3 | 26 | 8 | 20 | 35,3 | 55,3 | 64 |
| 0,40-0,60 | 4,8 | 9 | 4 | 0,6 | 15 | 5 | 25 | 20,6 | 45,6 | 45 |
| 0,80-1,00 | 4,8 | 8 | 2 | 0,5 | 14 | 5 | 22 | 19,5 | 41,5 | 47 |

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 19 °C, estação invernal ausente e verão chuvoso.

Na Figura 2, é apresentado o climograma para a época de realização do experimento e demais meses do ano de 2012.

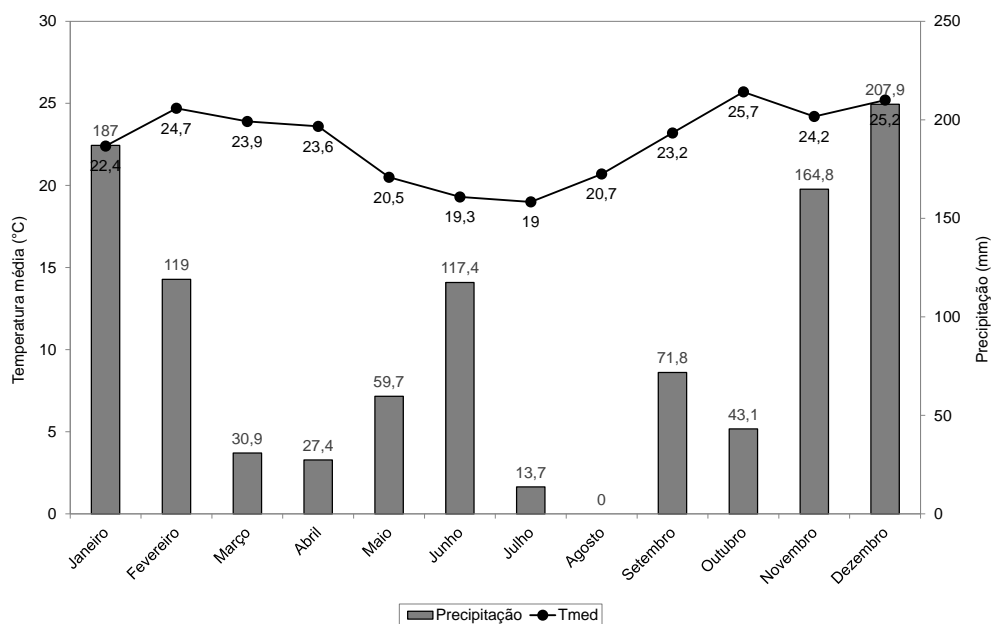


FIGURA 2. Climograma do ano de 2012 para o município de Monte Alto - SP.

Para o ano de 2012, a temperatura média foi de 22,8 °C, a precipitação média de 1042 mm, umidade relativa do ar média de 66% e pressão atmosférica de 94,3 kPa (0,943 atm), conforme indicado por Cepagri (2013) e Unesp (2012).

Somente para os meses de abril, maio, junho e julho que foram realizadas as avaliações de perfilhamento e falhas após o plantio a temperatura média foi de 20,6°C, sendo que a precipitação acumulada destes meses foi de 218,2 mm.

1.3 Variedade

O plantio mecanizado de cana-de-açúcar foi realizado no mês de março de 2013, utilizando a variedade de cana-de-açúcar RB83-5054 desenvolvida pela Rede de Universidades Brasileiras (RIDESA). O espaçamento utilizado para o plantio foi de 1,50 m entre fileiras e como padrão da unidade produtora, utilizou-se de 18 a 23 gemas viáveis m⁻¹ de sulco, sendo as demais características da variedade são apresentadas na Tabela 3.

TABELA 3. Características da variedade de cana-de-açúcar utilizada no plantio mecanizado.

| Características | Classificação |
|----------------------------|------------------------------------|
| Maturação | Precoce |
| Rendimento de transporte * | Péssimo |
| Colheita mecanizada | Inapta |
| Fechamento entrefileiras | Péssima |
| Tolerância à seca | Sim |
| Solos | Apta a solos com média fertilidade |
| Produtividade | Elevada |
| Ambientes de produção | A, B e C |

*Relacionado aos impactos ocorridos no interior do transbordo até a chegada das mudas na área de plantio, e quando os rebolos são depositados no interior da plantadora de cana-de-açúcar.

Fonte: Embrapa (2013).

O ambiente de produção de cana-de-açúcar na área experimental foi classificado como C. Este tema vem sendo muito discutido atualmente, pois, possibilita alocar as variedades em locais mais propícios para as mesmas expressarem o seu máximo potencial genético (PRADO, 2005). De acordo com o mesmo autor, os ambientes de produção são definidos em função das condições físicas, hídricas, morfológicas, químicas e mineralógicas dos solos sob manejo adequado da camada arável em relação ao preparo, calagem, adubação, adição de vinhaça, torta de filtro, palha no plantio direto, controle de ervas daninhas e pragas, mas, sempre associadas às propriedades da subsuperfície dos solos e, principalmente, ao clima regional (precipitação pluviométrica, temperatura, radiação solar, evaporação).

Portanto, ambiente de produção é a soma das interações dos atributos de superfície e principalmente de subsuperfície, considerando-se, ainda, o grau de declividade onde os solos ocorrem na paisagem, associadas com as condições climáticas.

2 Equipamentos utilizados

2.1 Georreferenciamento da área

O georreferenciamento da área foi feito com auxílio de um receptor GNSS, da marca Trimble, modelo R6 (de precisão posicional centi-milimétrica), sendo utilizada uma base fixa e outra móvel. As coordenadas foram registradas no sistema plano-cartesiano UTM (Universal Transverso de Mercator).

2.2 Trator

O plantio mecanizado de cana-de-açúcar foi realizado por meio de um conjunto trator-plantadora, composto por um trator John Deere modelo 7715 4 x 2 TDA, com potência de 136,0 kW no motor a 2200 rpm, 6 cilindros, com taxa de compressão 17:1, rodados dianteiros 600/65R28 e traseiros 710/70R38, ambos R1W (Figura 3). Durante a operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar o trator operou com a bitola ajustada a 2,70 m e na marcha de trabalho 1B (com velocidade média de trabalho de aproximadamente $5,3 \text{ km h}^{-1}$, para os turnos diurno e noturno da operação).

O trator foi equipado com sistema hidráulico de direcionamento automático do alinhamento de plantio (piloto automático), composto por computador de bordo de modelo Fmx[®], receptor GPS modelo AgGPS (ambos da marca Trimble), e demais acessórios. Esse sistema faz uso do método de posicionamento relativo cinemático em tempo real (*Real Time Kinematic* - RTK) com comunicação base – móvel (*rover*) via sinal de rádio, alcançando qualidade de posicionamento horizontal em torno de 0,025 m.



FIGURA 3. Trator utilizado para o plantio mecanizado de cana-de-açúcar.

2.3 Plantadora de cana-de-açúcar picada

Utilizou-se uma plantadora de cana-de-açúcar picada de 2 fileiras, da marca Tracan, modelo PTX 7010, com capacidade de seis a sete toneladas de mudas para o plantio, massa de 10.540 kg, reservatórios de fertilizante de 1.300 kg, possuindo largura de 3,60 metros, rodados 600/50 22,5, com hastes sulcadoras espaçadas a 1,50 m (Figura 4). No momento da operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar houve a aplicação de 400 kg ha⁻¹ de adubo mineral com a formulação 6-30-20 (N-P-K), respectivamente, 100 L ha⁻¹ de calda do inseticida imidacloprido e 0,5 L ha⁻¹ hormônio vegetal composto por cinetina, de ácido giberélico e de ácido 4-indol-3-ilbutírico, sendo este último utilizado para o favorecimento da brotação. Ressalta-se ainda que, não foi necessário paradas da operação para o reabastecimento dos insumos utilizados.

A quantidade do adubo formulado aplicada de 120 kg ha⁻¹ de P₂O₅, em função do teor de argila do solo, e 60 kg ha⁻¹ de K₂O, por meio da análise de solo, atingiu os valores requeridos pela cana-de-açúcar, para se atingir a produtividade (85 a 95 Mg ha⁻¹) esperada em função do ambiente de produção e da variedade.



FIGURA 4. Modelo da plantadora de cana-de-açúcar picada.

3 Análise do desempenho do conjunto mecanizado

3.1 Sistema de aquisição de dados

As avaliações de desempenho do conjunto trator-plantadora constituíram-se pela: velocidade de deslocamento, rotação, pressão do óleo e temperatura da água do motor, e o consumo horário de combustível, sendo todas as variáveis coletadas por meio do monitor de coluna frontal (Command Center™) encontrado dentro da cabine do trator (os sensores de todas as variáveis, instalados em locais específicos do motor, enviavam pulsos eletromagnéticos para o computador de bordo em tempo real); o erro de alinhamento do trator foi coletado em tempo real no computador de bordo Fmx® Integrated Display.

3.2 Capacidade de campo efetiva

A capacidade de campo efetiva foi calculada em função da metodologia descrita por Mialhe (1996) (eq. 1):

$$CcE = \frac{At}{Tp} \quad (1)$$

Em que:

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

At: Área trabalhada (ha);

Tp: Tempo de produção (h).

3.3 Consumo efetivo de combustível

O consumo efetivo de combustível foi calculado segundo a metodologia descrita por (Lopes et al. 2003) (eq. 2).

$$CEc = \frac{CcE}{Ch} \quad (2)$$

Em que:

CEc: Consumo efetivo de combustível ($L ha^{-1}$);

CcE: Capacidade de campo efetiva ($ha h^{-1}$);

Ch: Consumo horário de combustível ($L h^{-1}$).

3.4 Propriedades do solo

3.4.1 Teor de água no solo

A caracterização do teor de água do solo foi realizada por meio da coleta de 160 amostras, 80 para cada período da operação (diurno e noturno), nas camadas de 0,00 – 0,15 e 0,15 – 0,30 m conforme a metodologia recomendada por EMBRAPA (1997). No período diurno e noturno o teor de água no solo na camada de 0,00 – 0,15 m foi de 7,0 e 8,5 % e na profundidade de 0,15 – 0,30 m foi de 6,5 e 9,0%, respectivamente.

3.4.2 Resistência mecânica do solo à penetração

Para a detecção de possíveis camadas compactada do solo utilizou-se o penetrógrafo PNT-Titan da DLG Automação Industrial Ltda, construído conforme a norma ASAE S313.3 (ASAE, 2006). Este aparelho possui célula de carga de 1500 N para medição da resistência à penetração e um sensor indutivo-capacitivo para medição da profundidade, adquirindo dados até 0,55 m de profundidade, com velocidade de penetração de $0,03 m s^{-1}$ e frequência de aquisição de 3 Hz.

Foram coletados um total de 80 pontos até 0,50 m de profundidade, sendo 40 para o período diurno e 40 para o período noturno. A camada de maior resistência à penetração deste solo, de maneira geral, encontrava-se na profundidade de 0,10 - 0,20 m (3,14 MPa).

4 Avaliação da operação de plantio mecanizado

4.1 Caracterização das mudas pré-plantio

A caracterização geral das mudas foi realizada nos períodos diurno e noturno da operação de colheita, utilizando uma colhedora Case IH modelo A8800 com rodados de esteira e bitola de 1,88 m. O operador possuía três anos de experiência trabalhando com colhedora de cana-de-açúcar. A velocidade de deslocamento da máquina foi de 6 km h^{-1} e o conjunto de facas de corte basal possuía um período de uso de aproximadamente seis horas.

A variedade selecionada para o corte das mudas foi a RB83-5054 adaptada a ambientes de produção com média fertilidade. As avaliações foram realizadas a partir da coleta de 30 rebolos no interior do transbordo e da plantadora de cana picada de cana-de-açúcar, ambas na parte superior, na área de plantio, considerando cada reboleto como uma unidade amostral.

O comprimento foi avaliado de acordo com a metodologia descrita por Voltarelli et al. (2013), utilizando-se régua milimetrada; a massa dos rebolos foi obtida por meio de balança com precisão de 0,01g; o diâmetro foi determinado pela utilização de paquímetro digital e o número total de gemas por reboleto foi determinado por meio de contagem direta. O número de gemas totais e viáveis (GV) foi determinado por meio da contagem direta das gemas consideradas intactas, as gemas inviáveis (GI) foram calculadas por meio da diferença entre o número de gemas totais (GT) e (GV).

4.2 Número de rebolos

O número de total de rebolos (NR) foi contabilizado após o plantio mecanizado por meio de contagem direta, em quatro metros nos sulcos de avaliação, após escavar os sulcos, com auxílio de enxada, que foi manuseada cuidadosamente para evitar danos e/ou injúrias aos rebolos. Para maior controle experimental, somente um avaliador contou o número de rebolos (unidades) para cada repetição.

4.3 Número de gemas totais e de gemas viáveis

O número de gemas totais (NGT) foi contabilizado por meio de contagem direta nos mesmos rebolos obtidos anteriormente, nos quatro metros de avaliação, referente aos sulcos de plantio (esquerdo e direito), após escavar e retirar os rebolos de dentro dos sulcos, com auxílio de uma enxada, que foi manuseada cuidadosamente para evitar danos às gemas, realizado após a operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar.

O número de gemas viáveis (NGV) foi contabilizado por meio de contagem direta nos mesmos rebolos obtidos para o NGT, nos quatro metros de avaliação, após os sulcos (esquerdo e direito) serem escavados e posteriormente os rebolos foram retirados com auxílio de uma enxada, que foi manuseada cuidadosamente para evitar danos às gemas, realizado após a operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar.

Definiu-se como gemas viáveis aquelas que não sofreram ataques causados por pragas e doenças e também pelas prováveis fragmentações, proporcionada pelos impactos provenientes da colheita mecanizada, transporte das mudas até a área de plantio, descargas das mudas dentro da caçamba da plantadora e posterior distribuição até os sulcos de plantio. Para maior controle experimental, somente um avaliador contou o número de gemas totais e viáveis (unidades) para cada repetição.

4.4 Porcentagem de gemas viáveis

A porcentagem de gemas viáveis foi obtida por meio da seguinte eq. 3:

$$\% GV = \left(\frac{NGV}{NGV + NGI} \right) \times 100 \quad (3)$$

Em que:

% GV: Porcentagem de gemas viáveis;

NGV: Numero de gemas viáveis m^{-1} ;

NGI: Número de gemas inviáveis m^{-1} ;

100: Fator de conversão.

4.5 Estimativa do consumo de mudas

Com base nos valores obtidos pela análise biométrica das mudas (massa dos rebolos), na informação sobre o número de rebolos m^{-1} de sulco e também pelo espaçamento utilizado no plantio mecanizado, estimou-se o consumo de mudas (CM) utilizadas para cada sulco de plantio (eq. 4), esquerdo e direito, e turno de operação, diurno e noturno.

$$CM = \frac{m \times Nr \times Dp}{1000} \quad (4)$$

Em que:

CM: Consumo de mudas ($Mg \text{ ha}^{-1}$);

m: Massa dos rebolos dentro do sulco ($m \text{ kg rebolo}^{-1}$);

Nr: Número de rebolos ($\text{rebolos } m^{-1}$);

Dp: densidade de plantio ($m \text{ ha}^{-1}$);

1000: Fator de conversão de $kg \text{ ha}^{-1}$ para $Mg \text{ ha}^{-1}$.

4.6 Perfilhamento

As avaliações de perfilhamento da brotação da cana-de-açúcar foram realizadas aos 30, 60, 90 e 120 (P30, P60, P90 e P120, respectivamente) dias após a operação do plantio mecanizado (DAP). Foram contabilizados todos os perfilhos presentes nos quatro metros de avaliação, totalizando 160 repetições, sendo 40 repetições para os sulcos esquerdos e direitos, nos turnos diurno e noturno da operação; contabilizando-se ao final de cada período de avaliação, 640 m de sulcos avaliados.

5 Análises estatísticas

5.1 Delineamento experimental

O delineamento experimental utilizado foi inteiramente casualizado, para as avaliações de desempenho do conjunto trator–plantadora (40 repetições para o período diurno e 40 para o período noturno, totalizando 80 repetições) e em parcelas subdivididas no espaço e no tempo para análise da operação de plantio mecanizado. Os tratamentos foram estabelecidos no turno vespertino de operação (15:00 às 23:00 h) para permitir a avaliação da operação durante os períodos diurno (15:30 às 17:30 h) e noturno (19:30 às 21:30 h), sem necessidade de troca de operador, proporcionando-se assim melhores condições de controle do experimento. As variáveis número de rebolos m^{-1} , número total de gemas m^{-1} , número de gemas viáveis m^{-1} , porcentagem de gemas viáveis m^{-1} e consumo de mudas foram avaliadas no espaço e para o perfilhamento aos 30, 60, 90 e 120 DAP e as falhas 90 e 120 DAP foram avaliados no tempo (80 repetições para o período diurno e 80 para o período noturno, sendo 40 repetições para o sulco esquerdo e 40 para o sulco direito, totalizando 160 repetições).

5.1 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 (Figura 5) foi realizada calculando-se as medidas de tendências centrais (média e mediana), medidas de dispersão (amplitude, desvio padrão e coeficiente de variação) e medidas de assimetria e de curtose. A verificação da normalidade dos dados foi realizada pelo teste de Anderson-Darling, sendo 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 assimétrica 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[®].

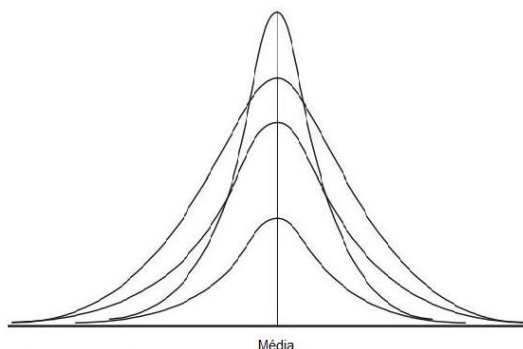


FIGURA 5. Curvas de distribuições oscilando de acordo com a normalidade.

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 de uma 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%). Por outro lado, de acordo com Guimarães (2001) o coeficiente de assimetria (C_s) indica o afastamento da variável em relação a um valor central. Este índice serve para caracterizar como e quanto à distribuição de frequência se afasta da simetria, sendo que: $C_s > 0$ tem-se uma distribuição assimétrica à direita; se $C_s < 0$ a distribuição é assimétrica à esquerda; e se $C_s = 0$ a distribuição é simétrica. Além disso, se o coeficiente de assimetria for menor que $|0,15|$, a distribuição tem grau de assimetria pequeno; se for maior que $|1,0|$, grau de assimetria elevado e entre $|0,15|$ e $|1,0|$, moderado.

O índice de curtose (C_k) mostra a dispersão (achatamento e alongamento) da distribuição em relação a um padrão, geralmente a curva normal. O valor de

distribuição simétrica no programa Minitab® é $C_k = 0$. A curtose recebe a seguinte classificação: $C_k = 0$ indica distribuição mesocúrtica, normal; se $C_k < 0$ a distribuição é platicúrtica (achatada) e se $C_k > 0$ a distribuição é leptocúrtica (alongada ou afilada).

5.2 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 analisadas. Quando procedente, aplicou-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade para comparação das médias, sendo apresentadas por meio de diagramas de caixas.

5.2.1 Uso de diagramas de caixas (*box plot*)

O diagramas de caixas ou “*box plot*” é composto por alguns parâmetros descritivos, como a mediana (Q_2), o quartis inferior (Q_1) e superior (Q_3), amplitude interquartílica ($IQR = Q_3 - Q_1$), os valores mínimos [$Q_1 - 1.5(Q_3 - Q_1)$] e máximos [$Q_1 + 1.5(Q_3 - Q_1)$] e pelos designados como “*outliers*” denotados por (*) sendo especialmente adequado para detecção destes pontos discrepantes e para a comparação de dois ou mais conjuntos de dados correspondentes a uma variável (BONILLA, 1995) (Figura 6).

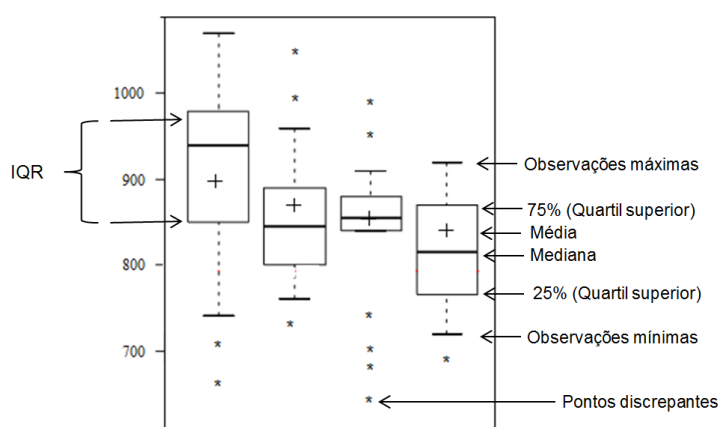


FIGURA 6. Gráficos de diagramas de caixas (*box plot*).

5.2.2 Análise de correlação e regressão

Para as variáveis relativas à avaliação da operação de plantio mecanizado foram realizadas análises de correlação e de regressão, sendo esta última, realizada pelo teste t de student ($p < 0,05$), baseando-se na significância de seus coeficientes. A variável avaliada por este tipo de análise foi: perfilhamento (30, 60, 90 e 120 DAP).

5.3 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 de qualidade da operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar 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.

5.3.1 Uso de gráficos sequenciais

Para verificar a aleatoriedade ou não aleatoriedade do processo nos quais se procura a redução da variabilidade, é o gráfico sequencial (*run charts*), 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, como todos os pontos dentro dos limites de controle.

De acordo com NHS Scotland (2013), este tipo de gráfico é uma sequência ordenada de dados, com um eixo horizontal centralizado (representando a média ou a mediana, sendo a mediana mais usada na maioria dos casos). Um gráfico

sequencial permite o monitoramento do processo e a identificação do tipo de variação a que o mesmo está submetido ao longo do tempo, pela análise conjunta dos parâmetros sensitivos dos gráficos em função dos desvios padrão da média.

Ainda de acordo com NHS Scotland (2013), o ideal para se criar um gráfico sequencial é que se tenha um mínimo de 15 pontos amostrais, sendo então possível identificar a ocorrência de causas não aleatórias decorrentes do processo e identificar o padrão existente, podendo ser este padrão classificado como tendência (sequência de sucessivos aumentos ou diminuições nas observações), oscilação (existência de um padrão regular está ocorrendo ao longo do tempo), mistura (ausência de pontos próximos à linha central) e agrupamento (grupos de pontos em uma área determinada gráfico sequencial).

Na Figura 7 encontra-se a maneira de se demonstrar, por meio da curva de distribuição normal como são calculados os padrões de causas não naturais à medida que os pontos se enquadram nas respectivas zonas requeridas, por meio do número de pontos associado à probabilidade de ocorrerem em cada zona.

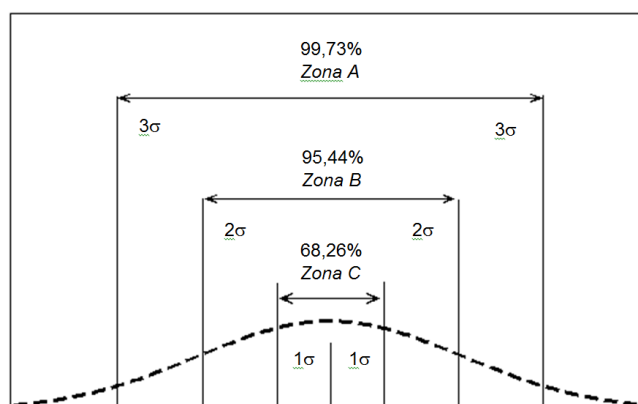


FIGURA 7. Modelo de curva de distribuição normal em função da probabilidade aproximada proporcionada pelos desvios padrão.

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 padrão 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 (Figura 8).

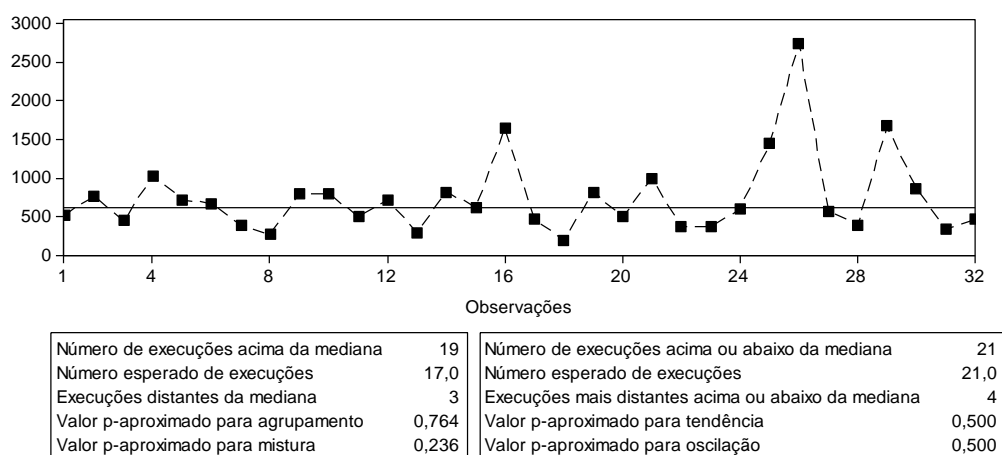


FIGURA 8. Modelo de gráfico sequencial para detectar padrões não-aleatórios.

Vale ressaltar que este teste é unilateral e que o padrão é calculado de um único lado da linha central para tendência e oscilação, sendo que para os padrões de agrupamento e mistura estes são calculados em ambos os lados da linha central.

Este recurso foi utilizado para analisar com maior precisão as cartas de controle, que foram parâmetros precedentes para a avaliação da capacidade do processo.

5.3.2 Cartas de controle para valores individuais e de amplitude móvel

Um processo sob controle ou também denominado com estável, demonstra somente variação aleatória, dentro dos limites, (superior e inferior) de controle tanto das cartas de valores individuais como nas de variação do processo (amplitudes móveis). Já um processo que se encontra fora com pontos além dos limites de controle inferior e superior, demonstra variação devido a causas especiais, não assinaláveis ou não aleatórias, extrínsecas ao processo.

As cartas de controle de valores individuais e de amplitudes móveis apresentam as médias dos indicadores de qualidade em cada ponto avaliado apresentando como linha central a média dos pontos e os limites inferior e superior de controle (LIC e LSC) (Figura 9).

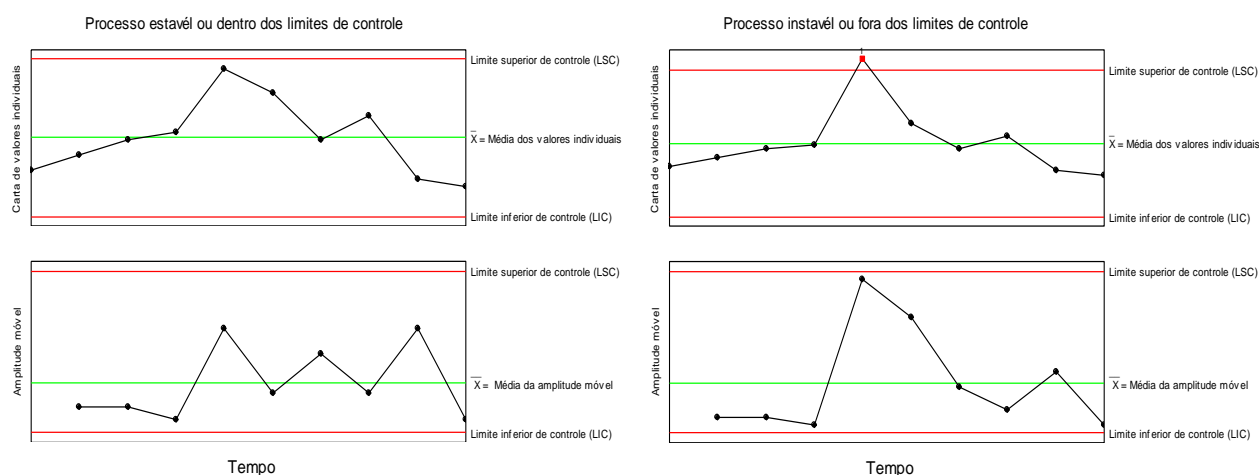


FIGURA 9. Modelo de cartas de controle de valores individuais e de amplitude móvel.

O modelo de carta de controle selecionado foi Individual – Amplitude Móvel (I–MR), por representar as observações individuais, com a variação obtida pela amplitude calculada entre duas observações sucessivas, pressupõe-se que demonstre melhor a variação do processo nestes casos. Assim, evita-se utilizar as médias dos dados, o que omitiria ou não representaria a real situação do processo (MONTGOMERY, 2004).

5.3.2.1 Limites de controle para valores individuais e de amplitude móvel

O limite superior, a média móvel e o limite inferior de controle permitem inferir se há variação dos dados devido a causas não aleatórias no processo (causas especiais), e são calculados com base no desvio padrão dos indicadores de qualidade, como demonstrado nas eq. 5, 6 e 7, respectivamente, para a carta de valores individuais:

$$LSC = \bar{X} + 3\sigma \quad (5)$$

$$\bar{X} = \frac{(X1 + X2 + X3 + \dots Xn)}{N} \quad (6)$$

$$LIC = \bar{X} - 3\sigma \quad (7)$$

Em que,

LSC = Limite superior de controle;

LIC = Limite inferior de controle;

\bar{X} = Média geral;

N = número total da amostra;

σ = desvio padrão.

Os limites superior, média da amplitude móvel e o limite inferior de controle são calculados pela carta de amplitude móvel ou de variação processo é demonstrado pelas equações 8, 9 e 10:

$$LSC = D_4 \bar{AM} \quad (8)$$

$$\bar{AM} = \frac{|X_i - X_{i-1}|}{N} \quad (9)$$

$$LIC = D_3 \bar{AM} \quad (10)$$

Em que,

LSC = Limite superior de controle;

LIC = Limite inferior de controle;

\bar{AM} = Média da amplitude móvel geral;

N = Número total da amostra;

i = Número referente ao valor individual;

D_3 e D_4 = Valores tabelados em função dos valores individuais ou subgrupos. Neste caso, para valores individuais D_3 foi utilizado como sendo zero e D_4 aproximadamente $3,267 \pm 0,01$ (MONTGOMERY, 2004).

Ressalta-se ainda que, os limites específicos (superior e inferior) colocados em algumas das cartas para valores individuais não possuem correlação alguma com os valores para os limites de controle, que são determinados com base no desvio padrão. Os limites específicos foram utilizados somente para demonstração geral do comportamento do processo ao longo do tempo, considerando-se os limites estabelecidos pela unidade produtora.

Quando os valores individuais ou de amplitude móvel ultrapassam pelo menos um ponto dos limites de controle, foi detectado a presença de causas especiais, e o ponto foi destacado na carta de controle, com o número do respectivo teste. Esse ponto é considerado como indicativo de que há variação não aleatória nos dados, devido a causas extrínsecas ao processo, e que tal variação deve ser investigada, detectada e posteriormente corrigida. Quando nenhum ponto é destacado na carta de controle, não há observação evidente de falha no processo, ou seja, não existem causas especiais de variação e conseqüentemente o processo está sob controle estatístico, ou seja, somente com atuação de causas aleatórias.

Para detectar a presença de causa especiais nos gráficos de controle de Shewhart decorrentes da variabilidade não comum ao processo foram utilizadas algumas das regras recomendadas pelo Western Electric (1956) e Montgomery (2004):

- Regra 1: Um ou mais pontos fora dos limites superior e inferior de controle (Erro tipo 1);
- Regra 2: Uma alternância de 14 pontos acima e abaixo da linha central (Erro tipo 2);
- Regra 3: Sequência de 10 em qualquer dos lados da linha central, com nenhum ponto na zona C (Erro tipo 3).
- Regra 4: Sete pontos em uma sequencia sempre crescente ou decrescente (Erro tipo 4).

Para verificar a existência de causas de variação não aleatórias ou extrínsecas ao processo de plantio mecanizado de cana-de-açúcar utilizou-se como indicadores de qualidade dessa operação as seguintes variáveis: velocidade de deslocamento, rotação, pressão do óleo e temperatura da água do motor, consumo

horário e efetivo de combustível, capacidade de campo efetiva, número de rebolos por metro, de gemas totais, de gemas viáveis por metro e % gemas viáveis por, consumo de mudas, perfilhamento aos 30, 60, 90 e 120 dias após o plantio (DAP) e, por fim, as falhas aos 90 e 120 DAP.

5.3.3 Análise da capacidade do processo

A análise da capacidade ou capacidade do processo foi desenvolvida para cumprir mais adequadamente com a função de prever, quantos dos itens produzidos durante o processo de produção satisfarão às especificações designadas pelos limites superior e inferior de controle, designado pelos gerenciadores para que seja atingida a meta de qualidade desejada para determinado processo, conseguindo, portanto relacionar a variabilidade inerente ao processo com suas especificações.

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 as seguintes regras de acordo com 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, contudo todos os pontos devem estar dentro dos limites de controle.

Esta análise é representada por um histograma, utilizado para verificar a normalidade dos dados e por vários índices de capacidade, utilizados para calcular a quantidade de defeitos ou produtos fora das especificações que o processo poderá produzir, sem e com a remoção das causas não inerentes, quando houver.

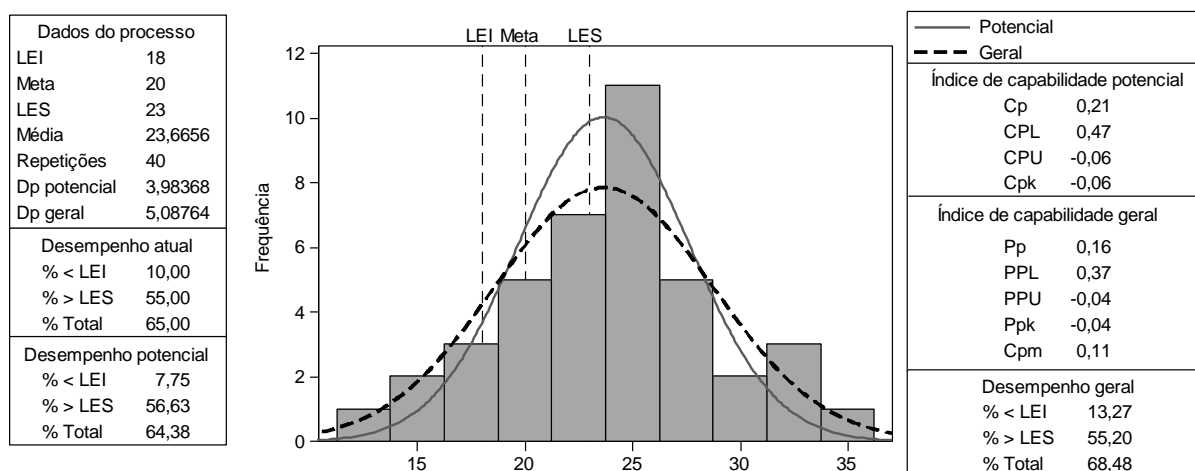
O índice de capacidade do processo (C_p) é muito útil na tomada de decisões sobre a adequação do processo às especificações. Uma regra prática para esta análise pode ser descrita da seguinte maneira na Tabela 4:

TABELA 4. 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 |
| $C_p > 1,67$ | Ótimo | Melhoria acentuada da qualidade, mas considerando aspectos financeiros |

Fonte: Adaptado de Lopes (2007)

Os limites especificados (LSE e LEI) e a meta a ser atingida são representados graficamente pelas linhas verticais no histograma de capacidade. Comparando-se o histograma com estas linhas, podem-se verificar a quantidade de observações próximas à meta, frequência em que as mesmas ocorrem, e as observações que se encontram dentro dos limites especificados. Para este trabalho foi determinado que o índice mínimo aceitável para a determinação da capacidade do processo sendo o mesmo capaz de atender os limites de especificação, a curto e longo prazo, foi de 1,33 (Figura 10).

**FIGURA 10.** Exemplo de um gráfico para análise da capacidade do processo.

5.3.3.1 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 (Tabela 5).

Assim, foram definidos os limites específicos de controle, conjuntamente com os gerenciadores (supervisor e gerente agrícola) da operação bem como com os demais funcionários (tratorista, operador da cabine da plantadora e avaliadores da qualidade pós-plantio em cada turno da operação) por meio de *brainstorming*² de maneira que a qualidade da operação possuísse 90% de qualidade, pela visão desta unidade produtora, para avaliar a capacidade da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em função dos turnos diurno e noturno da operação da seguinte forma:

TABELA 5. Limites específicos de controle utilizados na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar nos turnos diurno e noturno de operação.

| Indicadores de qualidade | Limite específico inferior (LEI) | Meta | Limite específico superior (LES) |
|--|---|-------------|---|
| Número de rebolos (m ⁻¹) | 10 | 13 | 15 |
| Numero de gemas totais (m ⁻¹) | 25 | 35 | 45 |
| Número de gemas viáveis (m ⁻¹) | 18 | 20 | 23 |
| Gemas viáveis (%) | 60 | 85 | 90 |
| Consumo de mudas (t ha ⁻¹) | 13 | 19 | 25 |

Para todos indicadores de qualidade avaliados, foram constituídos um valor unitário, sendo também considerado valor individual para a realização da análise da capacidade do processo, pela somatória dos valores dos sulcos esquerdos e

² *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.

direitos. Portanto, foi utilizado um valor médio amostral, totalizando 40 pontos e/ou repetições representativos para cada turno de avaliação.

Essa decisão foi tomada em virtude de não haver relevância prática, para este sistema de plantio, em haver somente um sulco de plantio, esquerdo ou direito, sendo determinado como capaz, pois para esta operação para que o sucesso seja atingido ambos os sulcos tem que possuir qualidade. Para o processo ser diagnosticado como capaz, deve sempre haver monitoramento, melhoria e otimização do mesmo. Pois, torna-se difícil manter o processo estável avaliando estes fatores individualmente devido à elevada variabilidade e dinamismo ao longo da operação.

5.3.3.2 Índices de capacidade do processo

Os índices de capacidade potencial C_p e C_{pk} (mínimo e máximo) foram obtidos utilizando-se o desvio padrão do processo dentro dos subgrupos (σ subgrupo), sendo um indicativo da variação dos inerente ao processo, calculados conforme as equações 11, 12 e 13:

$$C_p = \frac{(LES - LEI)}{6\sigma_{potencial}} \quad (11)$$

C_{pk} mínimo (CPL, CPU)

$$CPL = \frac{(\bar{X} - LEI)}{3\sigma_{potencial}} \quad (12)$$

$$CPU = \frac{(\bar{X} - LES)}{3\sigma_{potencial}} \quad (13)$$

Em que:

C_p = índice de capacidade potencial;

C_{pk} = 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;

\bar{X} = média da variável.

Os índices de capacidade geral Pp e Ppk (mínimo e máximo) foram obtidos utilizando-se o desvio padrão de todas as medições (σ_{geral}), indicando a variação geral do processo, por meio das equações 14, 15 e 16.

$$Pp = \frac{(LES - LEI)}{6\sigma_{\text{geral}}} \quad (14)$$

Ppk mínimo (PPL, PPU)

$$PPL = \frac{(\bar{X} - LEI)}{3\sigma_{\text{geral}}} \quad (15)$$

$$PPU = \frac{(\bar{X} - LES)}{3\sigma_{\text{geral}}} \quad (16)$$

Em que:

Pp = índice de capacidade geral;

Ppk = 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;

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

\bar{X} = média da variável.

O índice Cpm 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 meta de especificação, medindo a centralização do processo (eq. 17 e 18). 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 14 e 15 descritas por Minitab (2011):

$$Cpm = \min (LES; LEI)$$

$$Cpm = \frac{LES - LEI}{6 \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \text{meta})^2}{n - 1}}} \quad \text{Se a meta} = \frac{LES + LEI}{2} \quad (17)$$

$$Cpm = \frac{\text{mínimo}[(LES - \text{meta}), (\text{meta} - LEI)]}{\frac{6}{2} \cdot \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (X_i - \text{meta})^2}{n - 1}}} \quad \text{Se a meta} \neq \frac{LES + LEI}{2} \quad (18)$$

Em que:

Cpm = 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 Cp, 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 prever 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). Quando se deseja aumentar a

rigoriedade da análise utiliza-se o índice de capacidade mínimo maior. Porém, este recurso deve ser usado em condições em que a melhoria contínua do processo não afete os custos de produção da operação, tendo o lado financeiro também com indicador de qualidade do processo como um todo.

Os índices Cpk e Ppk agregam informações sobre a média e os dois extremos do processo, sendo medida representativa do desempenho atual do processo, dentro dos subgrupos e geral, respectivamente. Consideram a localização da média do processo em relação aos limites especificados, enquanto os índices Cp e Pp não consideram.

Quando os índices Cp e Cpk são aproximadamente iguais, então o processo é centrado entre os limites especificados, não considerando o deslocamento da média e considerando o deslocamento da média em relação a um valor nominal da especificação e/ou meta, respectivamente, sendo este último capaz de avaliar se o processo atinge as metas especificadas. Se Cp for significativamente maior do que Cpk, o processo, não é centrado entre estes limites. A mesma interpretação é aplicada aos índices Pp e Ppk, que o primeiro também, podem avaliar a taxa de desempenho do processo.

O índice Cpm somente é calculado quando é determinada uma meta. Este índice examina a magnitude do processo e a variação da média do processo em relação à meta, e a compara com a abrangência dos limites especificados, sendo também sensível ao deslocamento da média em relação às especificações. Quanto maior o valor de Cpm, mais capaz é o processo. Quando os índices Pp, Ppk e Cpm são próximos, o processo é centrado na meta. Se estes índices forem maiores que o mínimo estabelecido, o processo também será capaz de produzir resultados dentro dos limites especificados. Inicialmente, os índices Cp e Cpk refletem o potencial que o processo pode possuir em atender as especificações, se eliminadas as causas especiais de variação.

A variação potencial do subgrupo, neste caso subgrupo = 1, corresponde à variação inerente ao processo, conforme definido no "*Statistical Process Control Reference Manual*" em Minitab (2007), enquanto que a variação geral corresponde à variação total do processo, ou seja, devido às causas inerentes (aleatórias) e não inerentes (especiais) ao determinado processo em análise.

IV RESULTADOS E DISCUSSÃO

1 Análise da estatística descritiva e de variância

1.1 Desempenho do conjunto trator-plantadora de cana-de-açúcar

As variáveis consumo horário e efetivo de combustível para os turnos diurno e noturno da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar (Tabela 6) podem ser descritas pela função densidade de probabilidade normal de acordo com o teste de Anderson-Darling, retratando distribuições simétricas dos conjuntos de dados.

As demais variáveis apresentaram distribuições assimétricas de probabilidade, bem como: velocidade de trabalho, rotação do motor e capacidade de campo efetiva (para o turno diurno), e pressão do óleo e rotação do motor do motor (para o período noturno), apresentaram elevados coeficientes de assimetria (negativos) e de curtose (positivos), caracterizando curvas de distribuições mais alongadas à esquerda e com maiores afilamentos, respectivamente. Podendo, esta última ser denominada como leptocúrtica, em relação à curva de distribuição normal, apesar dos baixos valores de coeficiente de variação (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002) e desvio padrão.

Observa-se também que, o erro de alinhamento do trator e a velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado para o período diurno e o erro de alinhamento do trator e capacidade de campo efetiva para o período noturno apresentaram elevados coeficientes de assimetria e curtose, ambos positivos, apresentando a concentração de pontos acima da média e curva de distribuição achatada ou platicúrtica em relação à curva de distribuição normal, respectivamente.

Em especial, a variável erro de alinhamento do trator para os dois turnos da operação também apresentou coeficiente de variação, desvio padrão e amplitude elevados, evidenciando grande dispersão do conjunto de dados o que pode refletir em diminuição da precisão em relação à linha de referência traçada pelo operador (A-B).

TABELA 6. Estatística descritiva para as variáveis de desempenho do conjunto trator-plantadora de cana-de-açúcar em função dos turnos de operação.

| Variável | Turno diurno | | | | | | |
|--|---------------|----------|-------|--------|--------|-------|----|
| | A* | σ | M | Cs | Ck | CV | AD |
| Velocidade (km h ⁻¹) | 0,30 | 0,06 | 5,40 | - 1,45 | 3,89 | 1,20 | A |
| Rotação do motor (rpm) | 90,00 | 19,01 | 2170 | - 1,84 | 4,21 | 0,88 | A |
| Pressão do óleo do motor (kPa) | 40,00 | 11,54 | 370 | 0,22 | - 1,00 | 3,08 | A |
| Temperatura da água do motor (°C) | 8,00 | 2,49 | 83,00 | - 0,53 | - 0,98 | 3,03 | A |
| Erro de alinhamento do trator (cm) | 61,00 | 9,61 | 3,00 | 5,66 | 34,10 | 197,0 | A |
| Consumo horário de combustível (L h ⁻¹) | 20,10 | 3,89 | 26,70 | 1,18 | 3,39 | 14,49 | N |
| Consumo efetivo de combustível (L ha ⁻¹) | 0,09 | 3,57 | 23,67 | 1,18 | 3,14 | 14,92 | N |
| Capacidade de campo efetiva (ha h ⁻¹) | 0,09 | 0,01 | 1,62 | - 1,45 | 3,89 | 1,20 | A |
| Variável | Turno noturno | | | | | | |
| Velocidade (km h ⁻¹) | 0,60 | 0,10 | 5,30 | 4,22 | 22,41 | 1,89 | A |
| Rotação do motor (rpm) | 80,00 | 16,80 | 2160 | - 0,84 | 1,07 | 0,78 | A |
| Pressão do óleo do motor (kPa) | 84,00 | 14,85 | 380 | - 2,44 | 9,87 | 3,98 | A |
| Temperatura da água do motor (°C) | 5,00 | 1,55 | 81,00 | - 0,48 | - 0,86 | 1,91 | A |
| Erro de alinhamento do trator (cm) | 79,96 | 14,28 | 2,00 | 5,38 | 29,26 | 297,0 | A |
| Consumo horário de combustível (L h ⁻¹) | 21,60 | 3,65 | 25,25 | - 0,66 | 3,45 | 14,35 | N |
| Consumo efetivo de combustível (L ha ⁻¹) | 0,18 | 2,59 | 22,41 | - 0,58 | 3,49 | 14,50 | N |
| Capacidade de campo efetiva (ha h ⁻¹) | 0,02 | 0,02 | 1,40 | 4,22 | 22,41 | 1,89 | A |

*A – Amplitude total; σ – Desvio padrão; M – mediana; Cs – Coeficiente de assimetria; Ck - Coeficiente de curtose; CV (%) – Coeficiente de variação; AD – Teste de normalidade de Anderson-Darling (N: distribuição normal – $p > 0,05$; A: distribuição Assimétrica – $p < 0,05$).

A variável temperatura da água do motor para os dois turnos da operação, apresentou médias menores que as medianas, caracterizando curvas de distribuição mais alongadas à esquerda, o que pode ser comprovado pelo elevado coeficiente de assimetria negativo. Para a variável pressão do óleo do motor no período diurno da operação pode-se também verificar a existência de curva platicúrtica em relação à normal.

1.2 Análise de variância

Para a maioria das variáveis, em ambos os tratamentos, observou-se a ocorrência de pontos discrepantes (*outliers*), que podem ser visualizados nos diagramas de caixas. Estes resultados foram mantidos em todas as análises estatísticas realizadas, uma vez que estes pontos discrepantes fazem parte do processo e podem ajudar a identificar a ocorrência de causas especiais, intrínsecas ao mesmo.

Não houve diferença entre os tratamentos avaliados, o que mostra que a velocidade média de deslocamento (Figura 11) foi uniforme durante os períodos diurno e noturno da operação, fato este que pode ser afirmado devido à leve variação na amplitude interquartilica, indicando que os valores estão agrupados independentemente dos pontos discrepantes detectados, que podem indicar maior resistência do solo pela diminuição da velocidade no turno diurno e aumento da velocidade pela declividade do terreno para o turno noturno.

Este aspecto em relação ao plantio mecanizado de cana-de-açúcar vem a ser interessante, pois pode ser utilizado como um indicador de que a distribuição de mudas pode ter sido uniforme, atendendo à exigência requerida pela unidade produtora, nos turnos de operação, uma vez que a regulagem da esteira distribuidora de mudas está associada à velocidade de deslocamento da máquina.

A velocidade de deslocamento nos períodos diurno e noturno da operação esteve dentro dos limites recomendados (5 a 8 km h^{-1}) de acordo com o manual técnico da plantadora (TMA, 2013), porém a velocidade atingida na operação está próxima da velocidade mínima recomendada, o que pode vir a diminuir a operacionalidade do plantio, pois como relatado por Ivancan, Sito e Fabijanac (2004),

a velocidade de deslocamento tem influência na implantação das culturas e no desempenho da operação, uma vez que a mesma quando em excesso prejudica a produtividade final, não possibilitando a distribuição adequada da quantidade de gemas ou sementes m^{-1} , enquanto que a baixa velocidade reduz a capacidade operacional do conjunto mecanizado.

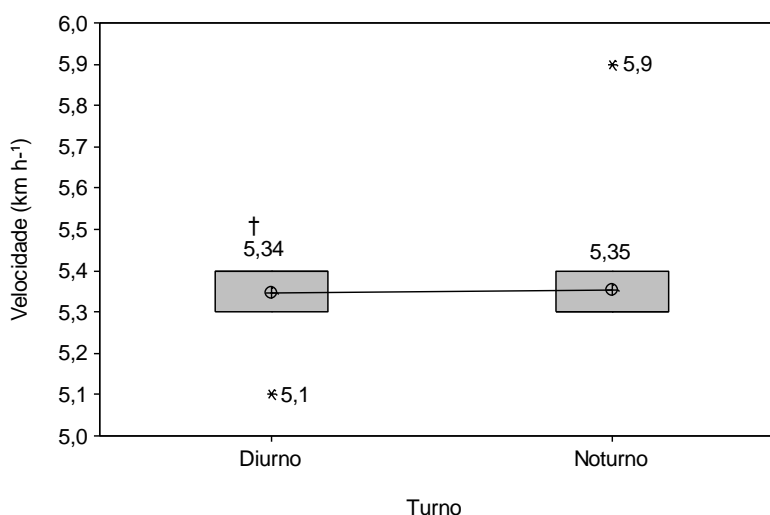


FIGURA 11. Velocidade média de deslocamento do conjunto trator-plantadora na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em dois turnos de operação.

†A ausência de letras indica a não significância entre as médias pelo teste F $p < 0,05$ de probabilidade.

Não houve diferença entre os tratamentos avaliados para a rotação do motor (Figura 12). Além disso, constata-se baixos valores do desvio-padrão e do coeficiente de variação o que pode indicar pequena dispersão dos valores, com amplitude interquartílica de mesma magnitude em ambos os turnos de operação.

A rotação do motor, sendo igual para os dois períodos da operação pode ser indicativo de que a potência demandada pelo trator nesta situação também foi constante na maior parte da operação e que as condições de solo, relevo e teor de água no solo, e de dimensionamento da operação são favoráveis ao desempenho do conjunto mecanizado durante a jornada de trabalho.

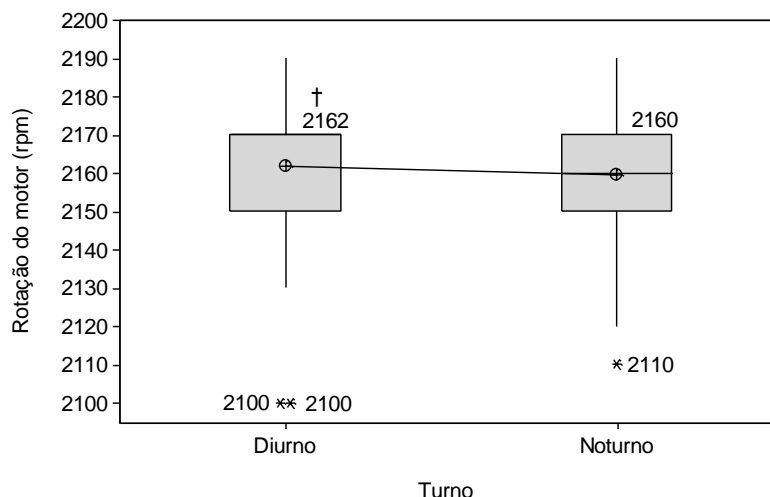


FIGURA 12. Rotação do motor do trator na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em dois turnos de operação.

†A ausência de letras indica a não significância entre as médias pelo teste F $p < 0,05$ de probabilidade.

A rotação do motor para se atingir a potência efetiva máxima é de 2200 rpm de acordo com o manual técnico da máquina (John Deere, 2007) e isso pode indicar que a potência da máquina estava sendo utilizada próximo à condição máxima, o que reflete no limite superior da velocidade angular da faixa de utilização do motor, ou seja, o torque nesta situação é reduzido. Além disso, o consumo horário de combustível está na faixa mais elevada, indicando que o trator se encontrava em uma condição operacional na qual o consumo específico situava-se acima do ponto de mínimo. Este comportamento era esperado, uma vez que o trator trabalhou próximo à rotação de potência máxima, o que leva ao maior consumo horário e menor torque. Barbosa et al. (2008) utilizando um motor de aproximadamente 58 kW de potência, relataram que à medida que aumenta a rotação do motor até a rotação de potência máxima, com uso de óleo diesel, o consumo de combustível sofre um incremento, fato este semelhante ao que ocorreu neste trabalho.

Pode-se ainda observar que, para o turno diurno, houve a queda da rotação do motor, em alguns pontos, evidenciado pelos pontos discrepantes. Esta queda pode ter sido decorrente da maior resistência do solo nestes locais de amostragem fazendo com que se aumentasse a demanda de potência do trator. Esta hipótese

pode ser confirmada quando associados aos pontos nos quais ocorreram menores valores da velocidade de trabalho.

Para a pressão do óleo do motor não houve influência do período diurno ou noturno da operação (Figura 13), apesar de a amplitude interquartílica ser maior no período diurno, indicando maior variabilidade dos valores. Observa-se ainda que, para o turno diurno da operação a média é maior que a mediana, o que caracteriza a distribuição ser mais alongada à direita com concentração de pontos abaixo da média, fato este que pode ser verificado pelas caudas da distribuição, comportamento este que não foi observado para o turno da noite.

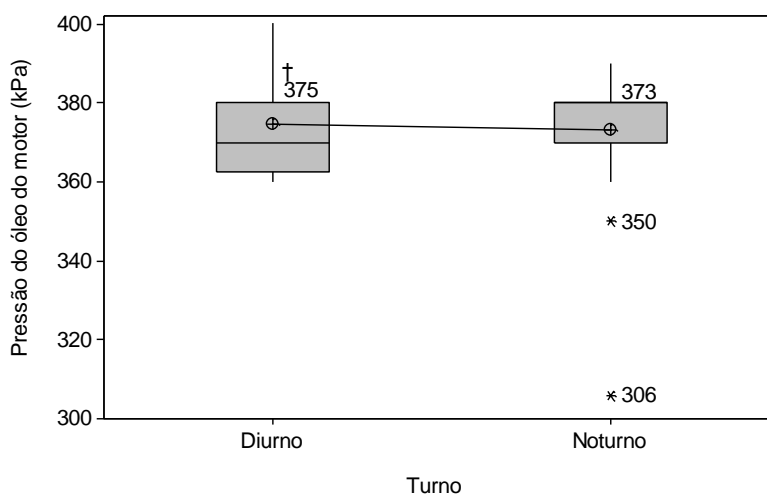


FIGURA 13. Pressão do óleo do motor do trator na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em dois turnos de operação.

†A ausência de letras indica a não significância entre as médias pelo teste F $p < 0,05$ de probabilidade.

A não influência dos períodos de operação nos valores das médias pode ser explicada pelo correto funcionamento da bomba de óleo no momento da distribuição do lubrificante para o motor. Esse tipo de bomba funciona lançando uma quantidade maior de óleo do que o necessário para lubrificar o motor e o seu excesso retorna para o cárter por meio da ação da válvula reguladora de pressão. Wickham Jr e Joyce (1991) relatam que para a rotação de um motor do ciclo diesel atuando entre 1800 a 2100 rpm, a pressão tem que estar em torno de 345 a 483 kPa para que ocorra a correta lubrificação das partes móveis do motor, como aconteceu no

presente trabalho, no qual, a rotação e a pressão do óleo do motor se encontraram dentro da faixa indicada, reforçando a premissa do correto funcionamento da bomba injetora.

Para o período noturno, a ocorrência de *outliers*, que acusaram menores valores da pressão do óleo do motor, podem ser explicados por vários motivos, dentre os quais: o maior tempo de abertura da válvula reguladora de pressão, impedindo que a bomba direcionasse o fluxo de óleo para o motor, ou seja, a maior parte do óleo retorna ao cárter; baixo nível de óleo do cárter; tubo de retorno entupido devido ao excesso de contaminação; entrada de ar no sistema ou ainda, ao vazamento do bico injetor, podendo diminuir a viscosidade do óleo.

Houve diferença entre os tratamentos avaliados, para a variável temperatura da água do motor, quando comparados os turnos diurno e noturno, sendo o turno diurno o que apresentou a maior temperatura (Figura 14). Observa-se ainda que, apesar de o turno diurno apresentar maior temperatura média da água do motor, a concentração de pontos, dos turnos diurno e noturno, está deslocada acima da média, como pode ser evidenciado pelas caudas da distribuição e pelos coeficientes de assimetria, representando o funcionamento adequado do sistema de arrefecimento do motor.

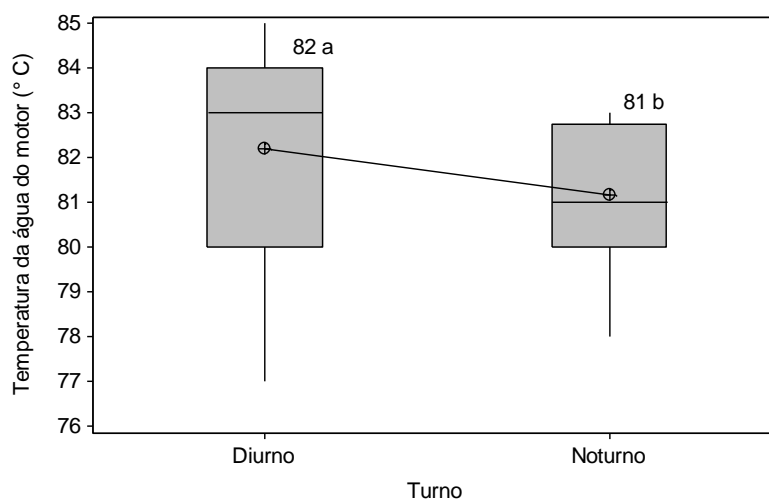


FIGURA 14. Temperatura da água do motor do trator na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em dois turnos de operação.

†A ausência de letras indica a não significância entre as médias pelo teste de Tukey a $p < 0,05$ de probabilidade.

Esse fato pode ser explicado pela maior amplitude interquartílica no turno diurno que se relaciona à maior variação da temperatura da água do motor, podendo, neste caso, ter havido interferência da temperatura ambiente entre os turnos de operação em razão da exposição à luz solar. Por outro lado, no período noturno a ausência de luz solar pode ter reduzido a amplitude interquartílica, fazendo com que o conjunto de dados tivesse, relativamente, menor variabilidade, refletindo assim na concentração de valores ao redor da média. Esta explicação pode ser confirmada pelo desvio-padrão e coeficiente de variação da operação noturna, que foram menores em relação à diurna (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002).

Wickham Jr e Joyce (1991) relataram que os limites normais da temperatura da água do motor variam entre 71 e 82°C. Acima deste último valor o sistema de arrefecimento da máquina tem que realizar a abertura da válvula termostática para que ocorra a passagem da água para as partes internas do motor, ou seja, ocorre o arrefecimento do motor para evitar o superaquecimento e possíveis danificações em seu funcionamento devido ao calor gerado.

Para a variável erro de alinhamento do trator houve diferença entre os tratamentos em função dos turnos de operação (Figura 15), sendo o erro médio maior no período diurno, apresentando ainda elevada dispersão dos dados, o que pode ser confirmado pelos altos valores dos desvios padrão e coeficientes de variação.

Esse efeito significativo pode ter subestimado a operação durante o período noturno, pois durante a jornada de trabalho houve perda de sinal, ou seja, a máquina trabalhou 11 pontos sem a acurácia do sistema de direcionamento automático, o que pode implicar em erros de paralelismo e perdas de precisão para as operações futuras, como a colheita mecanizada, indicando, portanto, que a resposta dessa variável não pode ser sumarizada somente em uma análise com valores médios.

Essa explicação pode ser respaldada ainda, levando-se em consideração a menor amplitude interquartílica apresentada na operação noturna, em virtude da falta de valores devido à perda de sinal. Baio e Moratelli (2011) estudando o uso de piloto automático, modelo AutoPilot, com um receptor GPS AgGPS 262, com correção por base RTK, na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar no

período diurno da operação, relataram que o erro de direcionamento foi de 0,033 m, valor este abaixo do encontrado neste trabalho. Outro fator que também deve ser levado em consideração é a presença de *outliers* nos dois turnos de operação, sendo também um fator que gera maior variabilidade do conjunto de dados e que podem ser explicados devido ao atraso do sinal recebido pelo receptor móvel ou pela falha do operador no momento da condução do conjunto mecanizado.

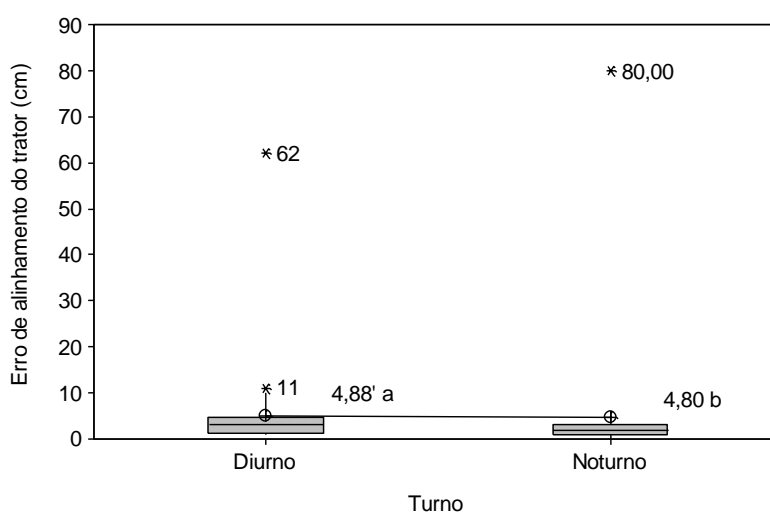


FIGURA 15. Erro de alinhamento do trator na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em dois turnos de operação.

†A ausência de letras indica a não significância entre as médias pelo teste de Tukey a $p < 0,05$ de probabilidade.

Não houve diferença entre os turnos diurno e noturno da operação, para a capacidade de campo efetiva (Figura 16). Este fato pode ser respaldado pelo controle da velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado pelo operador, nos dois turnos de trabalho, sendo que esta tem influência direta no cálculo desta variável.

De acordo com Garcia (2008) a operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, utilizando-se um trator de 161 kW operando à 2200 rpm no motor na marcha de trabalho 2B, com velocidade de $5,3 \text{ km h}^{-1}$ e a plantadora DMB de cana picada modelo PCP 5000, encontrou valor da capacidade de campo efetiva de $1,59 \text{ ha h}^{-1}$. A velocidade de trabalho e a capacidade de campo efetiva utilizadas descritas por este autor foi semelhante ao presente trabalho, porém o trator utilizado para esta

operação possuía potência no motor de 136 kW, o que pode refletir maior consumo de combustível ao longo da operação.

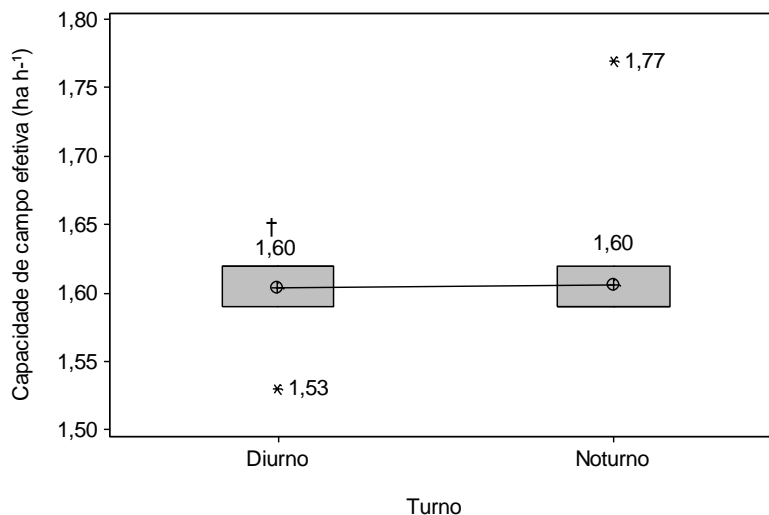


FIGURA 16. Capacidade de campo efetiva do conjunto trator-plantadora na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em dois turnos de operação.

†A ausência de letras indica a não significância entre as médias pelo teste F $p < 0,05$ de probabilidade.

Por outro lado, estudando o plantio mecanizado de cana-de-açúcar na Índia, Kumar e Singh (2012), utilizaram um trator com menor potência e uma plantadora de cana-de-açúcar marca khalsa modelo P-603 de menor massa, porém com espaçamento de plantio de 0,75 m. A capacidade de campo efetiva da máquina foi de aproximadamente $0,38 \text{ ha}^{-1}$ com velocidade de trabalho de 1,8 a $2,5 \text{ km h}^{-1}$, valor este muito inferior à velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado utilizado no presente trabalho, o que pode ser relacionado aos espaçamentos das hastes sulcadoras (0,75m). Por outro lado Yadav et al. (2004), estudaram a mesma plantadora de cana-de-açúcar em condições semelhantes de maquinário e velocidade de deslocamento, em várias regiões da Índia, e encontraram valor de capacidade de campo efetiva entre $0,08$ a $0,18 \text{ ha h}^{-1}$, situações estas também inferior ao presente trabalho.

Outro fato que pode ser levado em consideração é que, apesar de os gráficos *box plots* não apresentarem caudas da distribuição, a concentração de pontos está abaixo e acima da média, para os turnos diurno e noturno da operação,

respectivamente, como pode-se verificar pelos coeficientes de assimetria. Os *outliers* para esta variável ocorreram em função de a velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado ter sofrido queda e aumento nos turnos diurno e noturno, respectivamente.

Não houve diferença entre os tratamentos para a variável consumo horário de combustível (Figura 17), uma vez que a mesma é influenciada pela velocidade de deslocamento e rotação do motor e ambas possuíram comportamento semelhante para os turnos de operação, ou seja, não apresentaram diferenças e, portanto, não houve situação em que o dispêndio de energia pudesse ser maior.

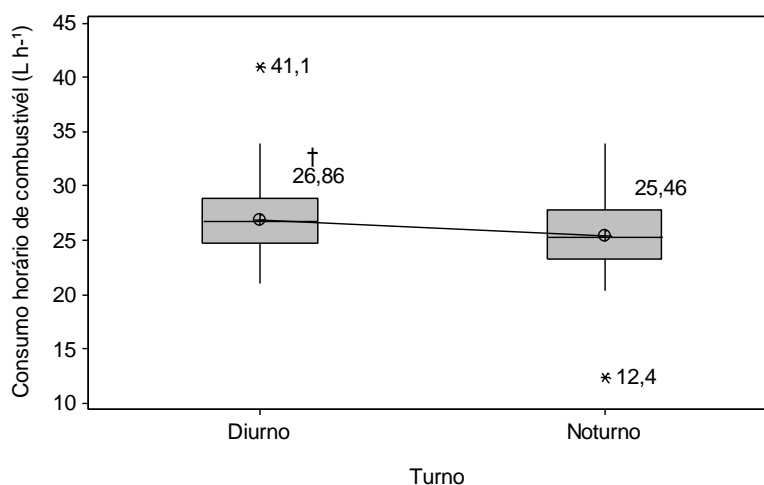


FIGURA 17. Consumo horário de combustível do conjunto trator-plantadora na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em dois turnos de operação.

†A ausência de letras indica a não significância entre as médias pelo teste F $p < 0,05$ de probabilidade.

Há de se observar ainda que, os valores do consumo horário de combustível estão deslocados levemente abaixo da média para os turnos diurno e noturno da operação podendo ser evidenciados pelas caudas da distribuição nos gráficos *box plot*. Ressalva-se ainda que, para esta variável as mínimas presenças de *outliers* ocorreram por causas aleatórias, podendo não ter influenciado diretamente a operação com um todo.

O consumo horário de combustível na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, utilizando-se uma plantadora cortadora de mudas Civemasa

modelo PCSA 2/2 sendo tracionada por um trator de 161 kW e operando com 2200 rpm no motor com velocidade de aproximadamente $5,0 \text{ km h}^{-1}$ foi de $40,24 \text{ L h}^{-1}$ (JANINI, 2007), superior ao obtido no presente trabalho, devido ao fato de o trator utilizado para esta operação possuir menor potência no motor (136 kW). Observa-se ainda que, se compararmos os dois plantios mecanizados, e se utilizarmos um trator com 136 kW de potência no motor para esta operação, como neste trabalho, o mesmo consegue tracionar a plantadora de cana-de-açúcar picada com um consumo horário de combustível de aproximadamente 35% menor em relação a um trator com 161 kW de potência no motor.

O consumo efetivo de combustível não apresentou diferença entre os tratamentos avaliados (Figura 18). Esta situação pode ser explicada em função de o consumo horário de combustível e pela capacidade de campo efetiva, variáveis estas que se relacionam para se obter os valores do consumo efetivo de combustível, não havendo diferenças entre si durante os turnos de operação, e como os valores médios foram próximos e semelhantes, não foram suficientes para refletir na influência da variável consumo efetivo de combustível.

Pode-se observar ainda que a existência de *outliers* para esta variável também ocorreu por motivo de causas aleatórias, podendo não ser prejudiciais no comportamento desta variável. Outro fator que pode ser levado em consideração, é que, para os períodos diurno e noturno da operação houve concentração de pontos levemente abaixo da média como podendo ser evidenciado pelas caudas da distribuição dos valores nos gráficos *box plot*, e que podem ser comprovado pelos coeficientes de assimetria, apesar de que no período noturno a média foi trivialmente maior que a mediana.

Kumar e Singh (2012) estudaram um modelo de plantadora de cana-de-açúcar marca khalsa modelo P-603 utilizando trator com menor potência e uma plantadora de menor massa, operando a uma velocidade de trabalho de $1,8$ a $2,5 \text{ km h}^{-1}$ e relataram que o consumo efetivo de combustível foi de 22 L ha^{-1} , situação esta próxima ao encontrado neste trabalho, apesar das condições dos tratores e máquinas serem diferentes.

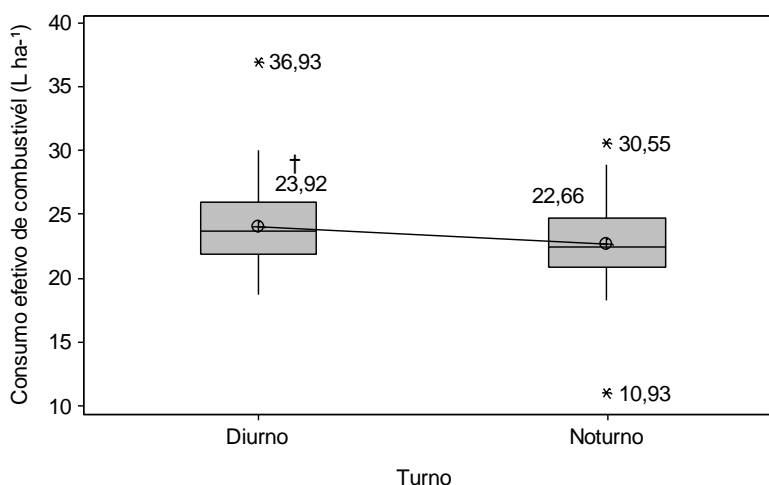


FIGURA 18. Consumo efetivo de combustível do conjunto trator-plantadora na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em dois turnos de operação.

†A ausência de letras indica a não significância entre as médias pelo teste F $p < 0,05$ de probabilidade.

1.3 Avaliação da operação do plantio mecanizado

As variáveis avaliadas para a caracterização das mudas massa, comprimento, diâmetro e número total de gemas localizadas na parte superior do transbordo, representando a qualidade do corte basal realizado pela colheita mecanizada, utilizadas para o plantio mecanizado de cana-de-açúcar apresentaram distribuição normal de probabilidade de acordo com o teste de Anderson-Darling, apesar dos elevados valores de amplitude e desvios padrão. Por outro lado, o número de gemas viáveis e porcentagem de gemas viáveis apresentaram distribuição assimétrica podendo ser observado pelos coeficientes de assimetria, positivo e negativo, e de curtose, também negativo e positivo, apresentando curvas de distribuição mais alongadas à esquerda e à direita, bem como com maior e menor afilamento em relação à curva de distribuição normal, respectivamente (Tabela 7).

TABELA 7. Análise da estatística descritiva para caracterização das mudas de cana-de-açúcar na parte superior do transbordo utilizadas para o plantio mecanizado em função dos turnos de operação.

| Variável | \bar{X} | σ | M | A | CV | Cs | Ck | AD |
|---------------------|-----------|----------|-------|-------|------|-------|-------|----|
| Massa (g) | 271,1 | 48,6 | 278,5 | 171,0 | 17,9 | -0,04 | -0,91 | N |
| Comprimento (cm) | 39,9 | 2,9 | 40,0 | 14,0 | 7,4 | 0,00 | 0,43 | N |
| Diâmetro (mm) | 28,8 | 2,5 | 29,0 | 9,0 | 8,7 | 0,02 | -0,57 | N |
| NTG m ⁻¹ | 3,1 | 0,6 | 3,0 | 2,0 | 21,3 | -0,11 | -0,56 | N |
| NGV m ⁻¹ | 2,8 | 0,7 | 3,0 | 2,0 | 25,4 | 0,21 | -1,02 | A |
| GV (%) | 92,7 | 13,4 | 100,0 | 33,3 | 14,4 | -1,39 | 0,02 | A |

\bar{X} - Média; σ - Desvio padrão; M - mediana; A - Amplitude total; CV (%) - Coeficiente de variação; Cs - Coeficiente de assimetria; Ck - Coeficiente de curtose; AD - Teste de normalidade de Anderson-Darling (N: distribuição normal - $p > 0,05$; A: distribuição Assimétrica - $p < 0,05$); NTG - número total de gemas; NGV - número de gemas viáveis; GV (%) - porcentagem de gemas viáveis.

Apesar de a distribuição ser considerada normal para algumas das variáveis, pode-se observar elevados valores de desvios padrão, amplitude e coeficientes de variação baixos a moderados, conforme descrito por Pimentel-Gomes e Garcia (2002). Por outro lado, quando se analisa o número médio de gemas rebolo⁻¹, em relação ao trabalho realizado por Janine (2007), na qual, o autor utilizou a variedade de cana-de-açúcar SP80-3250 na operação de plantio mecanizado, realizando a caracterização da qualidade das mudas antes da queima prévia do canavial e anteriormente a colheita manual, o presente trabalho possui aproximadamente 65% a mais de gemas rebolo⁻¹, situação esta que sofre elevada variabilidade entre as diferentes variedades, apesar de os valores encontrados pelo autor para a massa, comprimento e de diâmetro dos rebolos foram próximos dos resultados aqui demonstrados.

Associado a esta situação, foi verificado valor de porcentagem de gemas viáveis de 92,7% provenientes da colheita mecanizada, podendo ser considerado aceitável para o plantio mecanizado de cana-de-açúcar em virtude da elevada variabilidade climática que a planta sofre e também devido aos danos mecânicos provocados aos rebolos no momento da colheita que causam danificação às gemas.

Valor inferior de porcentagem de gemas viáveis foi encontrado por Janine (2007) na qual, encontrou valores de 83 e 81% antes da colheita manual, realizada antes a depois da queima, respectivamente. Este fato, descrito por Janine (2007),

quando comparado ao presente trabalho, evidencia que a operação de colheita mecanizada de mudas foi realizada com maior potencial de qualidade, apesar dos elevados valores de amplitude, o que reflete em elevada variação do conjunto de dados, porém a porcentagem de gemas viáveis é superior em aproximadamente 10%.

Para as variáveis massa, comprimento, diâmetro, número total de gemas e número de gemas viáveis rebolo⁻¹, coletadas na parte superior da plantadora a fim de analisar os danos causados à qualidade das mudas pela operação de carregamento e transporte das mudas até a área de plantio, apresentaram distribuição de frequência simétrica do conjunto de dados, de acordo com o teste de normalidade de Anderson-Darling (Tabela 8).

TABELA 8. Análise da estatística descritiva para caracterização das mudas coletadas na parte superior da plantadora de cana-de-açúcar.

| Variável | \bar{X} | σ | M | A | CV | Cs | Ck | AD |
|---------------------|-----------|----------|-------|-------|------|-------|-------|----|
| Massa (g) | 207,0 | 66,9 | 205,0 | 269,0 | 35,7 | 1,18 | 0,35 | N |
| Comprimento (cm) | 36,7 | 8,5 | 31,0 | 34,0 | 26,1 | 0,76 | 1,60 | N |
| Diâmetro (mm) | 26,7 | 2,8 | 27,0 | 10,0 | 10,7 | -0,39 | -0,61 | N |
| NTG m ⁻¹ | 2,9 | 0,8 | 3,0 | 2,0 | 29,4 | 0,33 | -1,49 | N |
| NGV m ⁻¹ | 2,4 | 1,1 | 2,5 | 4,0 | 45,9 | -0,23 | -0,73 | A |
| GV (%) | 83,8 | 25,9 | 100,0 | 100,0 | 30,9 | -1,57 | 2,15 | A |

\bar{X} - Média; σ - Desvio padrão; M - mediana; A - Amplitude total; CV (%) - Coeficiente de variação; Cs - Coeficiente de assimetria; Ck - Coeficiente de curtose; AD - Teste de normalidade de Anderson-Darling (N: distribuição normal - $p > 0,05$; A: distribuição Assimétrica - $p < 0,05$); NTG - número total de gemas; NGV - número de gemas viáveis; GV (%) - porcentagem de gemas viáveis.

Observa-se ainda que, de maneira análoga ao número de gemas viáveis e a porcentagem de gemas viáveis das mudas localizadas na parte superior do transbordo, estas também apresentam distribuição assimétricas. Tal assimetria se mostra mais acentuada para a porcentagem de gemas viáveis, apresentando média menor que a mediana, refletindo em coeficiente de assimetria negativo, o que indica a concentração de dados acima da média e curva de distribuição mais alongada a esquerda e, também, devido ao elevado valor do coeficiente de curtose caracterizando uma curva com maior grau de afilamento, denominada de leptocúrtica. Bai e Ng (2005), relataram que existe associação entre os coeficientes

curtose e assimetria para prever o comportamento de dados que são monitorados ao longo do tempo, podendo inferir na variabilidade e/ou distribuição dos resultados lógicos de determinado processo ou operação.

Ao se analisar o número de gemas viáveis e a porcentagem de gemas viáveis encontradas na parte superior da plantadora de cana-de-açúcar, verifica-se redução de aproximadamente 8 e 9%, respectivamente, em relação às mudas coletadas na parte superior do transbordo, fato este que evidencia a existência de danos mecânicos na operação de carregamento (conjunto colhedora-transbordo) devido ao impacto dos rebolos no interior do transbordo quando descarregados pelo elevador da colhedora bem como pelo fato da possível ocorrência de atrito entre os rebolos e com o depósito metálico de mudas do transbordo durante o transporte até a área de plantio. Esta redução do número de gemas viáveis e da porcentagem de gemas viáveis se torna interessante para comprovar a elevada variabilidade existente entre as diversas etapas durante o ciclo das variedades de cana-de-açúcar que são aptas para a operação do plantio mecanizado.

Cebim (2007) estudando a biometria das mudas de cana-de-açúcar para o plantio mecanizado da variedade SP80-3250, avaliando o corte das mudas pelo mecanismo picador da própria plantadora e de um mecanismo picador de mudas estacionário, apresentou resultados semelhantes aos encontrados na coleta de mudas na parte superior da plantadora do presente trabalho para a porcentagem de gemas viáveis, com valor oscilando entre 60 a 80%, respectivamente. Porém, também foi verificado menor número médio de gemas viáveis rebolo⁻¹ fato este em que também se pode verificar outro tipo de fator intrínseco à operação, provocando elevada variabilidade das mudas de cana-de-açúcar provocando danos às gemas e diminuindo sua qualidade para o plantio.

As variáveis número de rebolos, número de gemas totais, número de gemas viáveis, porcentagem de gemas viáveis e consumo de mudas apresentam distribuição de frequência normal do conjunto de dados para o sulco direito da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar nos turnos diurno e noturno da operação (Tabela 9).

Observa-se ainda que, as variáveis que apresentaram distribuição assimétrica do grupo de dados foram o número de rebolos, número de gemas totais e número

de rebolo, número total gemas m^{-1} e número de gemas viáveis m^{-1} para os turnos diurno e noturno da operação, respectivamente, ambas no sulco esquerdo de plantio. Esta assimetria foi constatada em virtude das sucessivas frequências de valores iguais e/ou repetidos, sendo que desta maneira não se consegue obter um ajuste da distribuição que acompanhe a reta de probabilidade. Entretanto, isso não reflete necessariamente em situação na qual, a operação esteja sendo efetuada de maneira insatisfatória, sendo necessário para esta informação, outros tipos de análise.

Segundo Léon et al. (2005), a análise do comportamento de um conjunto de dados de determinados parâmetros de avaliação de operações quando associada aos parâmetros da estatística descritiva, serve para dar uma visão geral sobre a distribuição dos resultados de determinada variável, podendo-se verificar a variabilidade da amostra e, por fim, detectar eventuais situações insatisfatórias.

Ao se analisar a porcentagem de gemas viáveis, verifica-se que o coeficiente de variação foi considerado como moderado de acordo com Pimentel-Gomes e Garcia (2002), enquanto que, para as demais variáveis avaliadas, este pode ser considerado alto e/ou muito alto para ambos os turnos da operação. A variabilidade existente para todas as variáveis analisadas pode ser explicada em função da elevada dispersão do conjunto de dados, que também pode ser observada pela amplitude e pelos desvios padrão para os sulcos esquerdos e direitos nos dois turnos de operação.

Nota-se também que, quando se compara os valores médios das gemas viáveis avaliadas nos sulcos de plantio (65%), com as médias obtidas após a passagem e distribuição realizada pela plantadora de cana-de-açúcar, verifica-se que houve redução média de aproximadamente 20% para os turnos diurno e noturno da operação, quando comparada com as mudas localizadas na parte superior da plantadora.

Essa redução acentuada observada na porcentagem de gemas viáveis após o plantio mecanizado retrata a grande variação existente na quantificação dos danos mecânicos causados às mudas durante as etapas mecanizadas que envolvem o ciclo de produção da cana-de-açúcar (colheita, carregamento, transporte, descarga das mudas pelo transbordo no interior da plantadora e os atritos existentes dentro da

plantadora provocados pela esteira distribuidora de mudas e de mais atritos até as mesmas chegarem aos sulcos de plantio). Soma-se a isso também os possíveis efeitos negativos proporcionados pelas condições climáticas e fisiológicas, dentre outros, da planta que às vezes podem não ser facilmente perceptíveis no momento das avaliações, situação esta que também pode contribuir para o aumento do consumo de mudas ($t\ ha^{-1}$), refletindo em elevados valores no custo de produção da operação, sendo notável a redução da porcentagem das gemas viáveis até as mesmas serem dispostas nos sulcos de plantio.

TABELA 9. Estatística descritiva para as variáveis número de rebolos (NR), número de gemas totais (NGT), número de gemas viáveis (NGV), % gemas viáveis (GV) e consumo de mudas (CM) avaliadas após o plantio mecanizado de cana-de-açúcar nos turnos diurno e noturno.

| Variável | Turno diurno | | | | | | | | | |
|---------------------|--------------|------|----------|------|-----------|------|--------|------|----|----|
| | Média | | σ | | Amplitude | | CV (%) | | AD | |
| | SE | SD | SE | SD | SE | SD | SE | SD | SE | SD |
| NR m^{-1} | 16,3 | 15,0 | 5,1 | 4,7 | 21,7 | 22,2 | 31,3 | 31,4 | A | N |
| NGT m^{-1} | 38,4 | 35,7 | 11,1 | 10,3 | 49,2 | 41,5 | 28,9 | 28,9 | A | N |
| NGV m^{-1} | 23,9 | 23,3 | 6,9 | 7,8 | 28,5 | 31,0 | 29,1 | 33,4 | N | N |
| GV (%) | 62,8 | 64,9 | 8,5 | 8,7 | 32,5 | 34,7 | 13,5 | 13,5 | N | N |
| CM ($t\ ha^{-1}$) | 24,9 | 23,1 | 7,8 | 8,2 | 33,2 | 22,1 | 31,3 | 35,3 | N | N |
| Turno noturno | | | | | | | | | | |
| NR m^{-1} | 15,2 | 15,1 | 6,0 | 4,5 | 31,2 | 17,0 | 39,7 | 30,2 | A | N |
| NGT m^{-1} | 35,6 | 34,3 | 15,0 | 9,8 | 80,7 | 41,5 | 42,2 | 28,7 | A | N |
| NGV m^{-1} | 23,8 | 22,8 | 11,3 | 8,1 | 59,7 | 35,0 | 47,1 | 35,5 | A | N |
| GV (%) | 66,0 | 65,8 | 3,3 | 9,8 | 42,9 | 44,4 | 14,1 | 14,9 | N | N |
| CM ($t\ ha^{-1}$) | 23,2 | 23,2 | 9,2 | 7,0 | 47,7 | 25,9 | 39,7 | 30,2 | N | N |

σ – Desvio padrão; CV – Coeficiente de variação; AD – Teste de normalidade de Anderson-Darling (N: distribuição normal – $p > 0,05$; A: distribuição Assimétrica – $p < 0,05$).

1.4 Análise de variância

Para as variáveis avaliadas no sulco de plantio após o plantio não foram verificadas influência dos fatores turno (diurno e noturno) e sulcos (esquerdo e direito), bem como para a interação entre eles (Tabela 10).

TABELA 10. Análise de variância e teste de médias para número de rebolos (NR), número de gemas totais (NGT), número de gemas viáveis (NGV), % gemas viáveis (GV) e consumo de mudas (CM) avaliados no plantio mecanizado de cana-de-açúcar nos turnos diurno e noturno de operação.

| FATORES | NR m ⁻¹ | NGT m ⁻¹ | NGV m ⁻¹ | %GV | CM (t ha ⁻¹) |
|-------------------|--------------------|---------------------|---------------------|--------------------|--------------------------|
| Turno (T) | | | | | |
| Diurno | 15,7 | 35,0 | 23,6 | 63,9 | 23,2 |
| Noturno | 15,2 | 37,0 | 23,3 | 65,9 | 23,2 |
| Sulcos (S) | | | | | |
| Esquerdo | 15,7 | 37,0 | 23,8 | 65,4 | 24,1 |
| Direito | 15,1 | 35,0 | 23,1 | 65,4 | 23,1 |
| Teste F | | | | | |
| T | 0,35 ^{ns} | 1,07 ^{ns} | 0,06 ^{ns} | 3,95 ^{ns} | 0,37 ^{ns} |
| S | 0,73 ^{ns} | 1,33 ^{ns} | 0,29 ^{ns} | 0,31 ^{ns} | 0,65 ^{ns} |
| T x S | 0,64 ^{ns} | 0,15 ^{ns} | 0,03 ^{ns} | 0,45 ^{ns} | 0,56 ^{ns} |
| DMS | | | | | |
| T | 1,70 | 4,00 | 2,62 | 2,08 | 2,46 |
| S | 1,53 | 4,00 | 3,38 | 3,48 | 2,44 |
| CV (%) | 35,11 | 35,28 | 35,52 | 10,22 | 33,39 |

Em cada coluna, para cada fator, a ausência de letras indica a não diferença entre si, pelo teste de Tukey a $p < 0,05$ de probabilidade. ^{ns}Não significativo a $p > 0,05$; *Significativo a $p < 0,05$ de probabilidade, pelo teste de F; CV: coeficiente de variação, DMS: Diferença mínima significativa entre os fatores pelo teste de Tukey a $p = 0,05$.

Observa-se também que os coeficientes de variação, com exceção da porcentagem de gemas viáveis, podem ser considerados elevados ou muito altos (PIMENTEL-GOMES e GARCIA, 2002). Esta situação pode causar certa instabilidade aos valores devido à elevada variabilidade encontrada para tal condição de campo. Porém, quando se analisa a diferença mínima significativa

(DMS) para cada variável, verifica-se que as médias atendem ao requisito de serem iguais, uma vez que o valor absoluto da diferença entre elas foram menores que a DMS (Vieira et al., 1989) o que, conseqüentemente, condiciona maior segurança e confiabilidade dos resultados.

A não significância das variáveis, tanto para os fatores quanto para a interação entre eles, pode ser explicada em virtude da regulação adequada da plantadora de cana-de-açúcar, especificamente da rotação da esteira distribuidora e/ou dosadora de rebolos, bem como pela adequação da velocidade de trabalho do conjunto mecanizado em relação à distribuição de rebolos. Outro motivo que também pode ser citado é a qualidade das mudas de cana-de-açúcar, sendo verificado pela porcentagem de gemas viáveis que, apesar de apresentarem percentual abaixo de 70%, o que não deixa de ser uma potencial situação de risco ao desenvolvimento da cultura, pode-se evidenciar que, em média, o plantio mecanizado ocorreu de maneira uniforme em ambos os turnos de operação, atendendo às quantidades requeridas para cada variável dispostas nos sulcos de plantio.

Cebim (2008), avaliando o desempenho da operação de plantio mecanizado e semi-mecanizado de cana-de-açúcar durante o período diurno, utilizando a variedade SP 80 - 3280 para o plantio mecanizado e uma plantadora de cana picada da marca Santal modelo PCP2, relatou que a porcentagem média de gemas viáveis (dos sulcos esquerdo e direito) foi de 60% após a passagem do conjunto trator-plantadora, valor este inferior ao encontrado no presente trabalho.

Por outro lado, o consumo médio de mudas encontrado neste trabalho (23 Mg ha^{-1} para ambos os turnos) pode ser considerado elevado de acordo com Beuclair e Scarpari (2006) que afirmam que em média para o plantio mecanizado de cana-de-açúcar é comum uma quantidade em torno de 10 Mg ha^{-1} obtendo como 12 o número médio de rebolos m^{-1} no plantio. Entretanto, Nogueira e Alonso (2007) descrevem que o consumo de mudas de cana-de-açúcar pode chegar até 15 Mg ha^{-1} dependendo do comprimento dos rebolos, número de internódios dos colmos e principalmente pelo número de gemas viáveis no momento do plantio. Oliveira (2012) afirma que em virtude da colheita mecanizada, o plantio mecanizado pode chegar ao consumo médio de mudas de aproximadamente 20 Mg ha^{-1} .

Conforme descrito por Janine (2007) o número médio de gemas viáveis e totais m^{-1} na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, ocorrida no mês de outubro durante o período diurno da operação, resultou em valores de 12,5 e 17,5 (sulco esquerdo e direito), respectivamente, utilizando em média 10 rebolos m^{-1} , o que evidenciou consumo médio de mudas de 13,2 $Mg\ ha^{-1}$. Situação muito diferente da encontrada no presente trabalho, pois essas mesmas variáveis apresentaram valores de aproximadamente 25 a 50% superiores. Este fato, pode ser explicado como medida preventiva da unidade produtora para se obter a qualidade desejada no plantio, em virtude do clima e dos demais fatores externos não serem apropriados à brotação nesta época de plantio para o desenvolvimento da variedade em relação às condições de plantio realizadas em outros períodos e situações.

Vale ressaltar também que, as variedades utilizadas para ambos os plantios são diferentes. Portanto, as mesmas expressam diferentes comportamentos conforme descrito por Gomes (2003) e que a época do ano para a região em que ocorreu o plantio de cana-de-açúcar, para o presente trabalho, já não é mais propriamente adequada, apesar de ainda ser considerado como plantio de cana de ano e meio conforme descrito por Coleti e Stupielo (2006). No mês de março em que o plantio mecanizado de cana-de-açúcar foi realizado, para esta região produtora, não é comum utilizar-se uma quantidade abaixo de 16 gemas viáveis m^{-1} de sulco, uma vez que, logo em seguida, entra a estação de outono e inverno, que podem comprometer a brotação da cana-de-açúcar por motivo de queda de temperatura e ausência de chuvas podendo colocar o plantio em risco como pode ser observado pelo climograma (Figura 2), situações estas potencialmente interferiram no desenvolvimento inicial da cultura. Ressalta-se, que estas condições variam de acordo com as mudanças climáticas ano após ano e devem ser monitoradas e analisadas no momento de cada operação de plantio.

Para o plantio de cana-de-açúcar potencialmente ser mais seguro nesta época do ano, o mesmo deveria atender alguns requisitos recomendados para as épocas de transição do período das águas para as épocas mais secas do ano, tais como: irrigação, irrigação por vinhaça, uso de torta de filtro ou o uso de compostagem no momento do plantio conforme descrito por Beuclair e Scarpari (2006), situações estas que não ocorreram. No presente trabalho, portanto,

a elevada quantidade de mudas utilizada e, conseqüentemente, os elevados valores das demais variáveis, confirmam a medida preventiva adotada para se assegurar a qualidade plantio (brotação das mudas), em relação àquelas realizadas em outra época de plantio.

Ao se analisar a contagem do número de perfilhos m^{-1} , o que reflete a brotação da cana-de-açúcar nos sulcos aos 30, 60, 90 e 120 dias após o plantio (DAP), constata-se que a quantificação dos mesmos não apresentou influência entre os fatores turnos (diurno e noturno) e entre os sulcos (esquerdo e direito), o que também ocorreu para a quantificação do número de falhas m^{-1} de sulco aos 90 e 120 DAP (Tabela 11).

TABELA 11. Análise de variância e teste de médias para o perfilhamento aos 30, 60, 90 e 120 DAP e as falhas da brotação aos 90 e 120 DAP na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar nos turnos diurno e noturno de operação.

| FATORES | Perfilhos m^{-1} | | | | Falhas m^{-1} | |
|-------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | P30 | P60 | P90 | P120 | F90 | F120 |
| Turno (T) | | | | | | |
| Diurno | 0,80 | 1,75 | 2,75 | 6,70 | 0,69 | 0,57 |
| Noturno | 0,62 | 1,75 | 3,25 | 5,76 | 0,76 | 0,64 |
| Sulcos (S) | | | | | | |
| Esquerdo | 0,60 | 1,72 | 2,93 | 6,21 | 0,72 | 0,58 |
| Direito | 0,82 | 1,77 | 3,06 | 6,25 | 0,73 | 0,64 |
| Teste de F | | | | | | |
| T | 0,72 ^{ns} | 0,00 ^{ns} | 0,92 ^{ns} | 0,66 ^{ns} | 1,85 ^{ns} | 1,30 ^{ns} |
| S | 2,83 ^{ns} | 0,04 ^{ns} | 0,16 ^{ns} | 0,00 ^{ns} | 0,17 ^{ns} | 2,85 ^{ns} |
| T x S | 4,89* | 5,62* | 4,91* | 10,76* | 4,25* | 2,25 ^{ns} |
| DMS | | | | | | |
| T | 0,42 | 0,80 | 1,03 | 2,29 | 0,10 | 0,12 |
| S | 0,25 | 0,45 | 0,64 | 1,31 | 0,06 | 0,06 |
| CV (%) | 189,84 | 145,52 | 109,77 | 116,95 | 47,64 | 62,64 |

Em cada coluna, para cada fator, a ausência de letras indica a não diferença entre si, pelo teste de Tukey a $p < 0,05$ de probabilidade. ^{ns}Não significativo $p > 0,05$, *Significativo a $p < 0,05$ de probabilidade, pelo teste de F; CV: coeficiente de variação, DMS: Diferença mínima significativa entre os fatores pelo teste de Tukey a $p = 0,05$. DAP: Dias após o plantio.

Observa-se também elevados valores do coeficiente de variação conforme descrito por Pimentel-Gomes e Garcia (2002), situação esta que apresenta elevada dispersão do conjunto de dados. Por outro lado, foi verificada interação entre os fatores turno e sulcos para o perfilhamento aos 30, 60, 90 e 120 (DAP) e para a quantificação do número de falhas aos 90 (DAP). Observando-se a Tabela 12, podemos verificar que para P30 e P60 o sulco direito possui maior número de perfilhos em relação ao esquerdo para o período diurno da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar. O P90 apresenta maior número de perfilhos no sulco esquerdo no período noturno em relação ao mesmo sulco no período diurno da operação. Fato este que pode ser explicado em virtude da elevada variabilidade existente nas propriedades físicas e químicas do solo, condições climáticas envolvendo temperatura e capacidade de água disponível do solo, radiação solar, dentre outros, e por fim a qualidade fisiológica das próprias mudas.

TABELA 12. Desdobramento da interação do fator turno (diurno e noturno) dentro de cada sulco (esquerdo e direito) para perfilhamento aos 30 dias após o plantio (DAP) (P30), 60 DAP (P60), 90 DAP (P90), 120 DAP (P120), falhas 90 DAP (F90) e 120 DAP (F120) na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar.

| Variáveis | Turno | Sulcos | |
|-----------|---------|----------|---------|
| | | Esquerdo | Direito |
| P30 | Diurno | 0,55 Ba | 1,05 Aa |
| | Noturno | 0,65 Aa | 0,58 Aa |
| P60 | Diurno | 1,45 Ba | 2,04 Aa |
| | Noturno | 2,00 Aa | 1,50 Aa |
| P90 | Diurno | 3,67 Aa | 2,82 Aa |
| | Noturno | 2,45 Ab | 3,04 Aa |
| P120 | Diurno | 5,60 Ba | 7,80 Aa |
| | Noturno | 6,83 Aa | 4,70 Bb |
| F90 | Diurno | 0,73 Aa | 0,80 Aa |
| | Noturno | 0,71 Aa | 0,66 Ab |

Em cada coluna, para cada fator, letras minúsculas iguais indicam a não diferença entre si; e para cada linha letras maiúsculas iguais indica a não diferença entre si pelo teste de Tukey a $p < 0,05$.

Por outro lado, as falhas aos 90 (DAP) são maiores para o sulco direito no período diurno em relação ao noturno da operação de plantio mecanizado. A provável explicação possui a mesma analogia para o perfilhamento aos 30, 60, 90 e 120 (DAP), pois, o baixo número de perfilhos possui influência direta e inversamente proporcional na quantificação das falhas na brotação da cana-de-açúcar.

Oliveira et al. (2011) descrevem o comportamento da variedade RB85-5453 sob diferentes lâminas de irrigação no estado de Minas Gerais e relataram que na menor quantidade de água disponibilizada para a planta a mesma obteve um número de perfilhos m^{-1} próximos ao encontrados no presente trabalho 120 (DAP). Por outro lado Janine (2007) estudando a operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar no período diurno da operação realizada no mês de outubro, utilizando a variedade SP80-3250 encontrou valor para o número médio de perfilhos m^{-1} aos 90 DAP de aproximadamente 50% maior em relação ao presente estudo.

As médias para os fatores turno (diurno e noturno) e sulcos (esquerdo e direito), terem sido influenciadas de forma aleatória, podem ser explicadas em virtude do número de perfilho inferior e, conseqüentemente, a maior quantificação de falhas de acordo com o Janine (2007) e Cebim (2008) na qual avaliaram o perfilhamento aos 30 e 60 (DAP) em virtude de o plantio mecanizado ocorrer em uma época do ano favorável à brotação. Situação semelhante à destes autores e que também pode ser considerada como potencial fator para o baixo número de perfilhos e maiores valores de falhas verificados no presente trabalho é descrito por Rocha (1984), na qual, avaliando a brotação de três variedades de cana-de-açúcar em diferentes épocas do ano no estado de São Paulo, relatou que o plantio realizado no final de março, ou início do outono, possuem menor perfilhamento em sua fase inicial devido à falta de condições hídricas e de temperatura menores. Em afirmação a esta explicação Suguitani e Matsuoka (2001) relatam que os primeiros meses após o plantio o perfilhamento é lento, havendo maior intensidade em função da melhoria das condições climáticas devido ao aumento da atividade enzimática da planta (temperatura, teor de água no solo e radiação solar).

Outra explicação que pode ser mencionada é o baixo teor de água no solo no momento da operação do plantio mecanizado e que perdurou nos meses seguintes. Segundo Casagrandi (1991) o autor relata que para que ocorra brotação e/ou

perfilhamento adequado, o teor de água do solo deve estar entre 15 a 25%, situação esta que não ocorreu para o presente trabalho. Vale ressaltar também que a variedade utilizada neste trabalho foi a RB83-5054, sendo alocada em ambiente de produção C, e que conforme descrito por Embrapa (2013), a mesma apresenta como característica intrínseca dificuldades para o perfilhamento e posterior fechamento entre as fileiras de plantio. Portanto, um conjunto de fatores internos e externos ligados à planta podem ter influenciado o perfilhamento e as falhas da brotação, porém ressalta-se que a mesma possui resistência à seca.

Segundo Stolf (1986) o autor sugere que falhas da brotação acima de 0,50 m em quantidade acima de 50% do total de falhas avaliadas deve ser realizada a operação de reforma do canavial. Mas, conforme descrito acima, existe uma série de fatores que pode ter limitado o crescimento e/ou perfilhamento inicial da cana-de-açúcar nesse período. Entretanto, uma tomada de decisão precipitada dessa magnitude pode acarretar em sérios custos decorrentes da operação de plantio mecanizado, porém, o monitoramento do número de perfilhos e falhas devem ser monitorados em um maior período de tempo nesta época do ano.

Observando a Figura 19, pode-se verificar correlações que podem ser consideradas como adequadas para a contagem do número de perfilhos m^{-1} em relação aos 30, 60, 90 e 120 DAP tanto para os turnos (diurno e noturno) de operação quanto para os sulcos (esquerdo e direito). Todavia, os elevados valores dos coeficientes de correlação (r), retratando à forte relação entre as variáveis número de perfilho e período de avaliação, e de determinação (R^2), explicando e quantificando o ajuste dos pontos a reta, podem ser explicados como uma medida normal, uma vez que o número de perfilhos tende a aumentar de maneira direta o número de perfilhos ao longo do tempo dos períodos de avaliação, evidenciando o crescimento contínuo, porém lento da variedade utilizada no presente trabalho.

Teixeira et al. (2012), ao estudarem o efeito de diferentes manejos de cobertura do solo no perfilhamento inicial da variedade RB86-7515 de cana-de-açúcar, alocada em ambiente de produção e realizando a operação de plantio mecanizado no mês de abril, relataram valores de perfilhamento inicial superior ao presente trabalho de aproximadamente 70 e 85% aos 30 e 60 DAP.

Felipe (2008) estudando o perfilhamento inicial da cana-de-açúcar variedade SP79-1011 em diferentes épocas de plantio e doses de adubo na região do Nordeste relatou que nos meses de maior precipitação pluviométrica o número de perfilhos é maior em relação aos meses de menor intensidade pluviométrica, porém, em ambas as épocas de plantio o número de perfilhos m^{-1} encontrado pelo autor foi superior ao do presente trabalho.

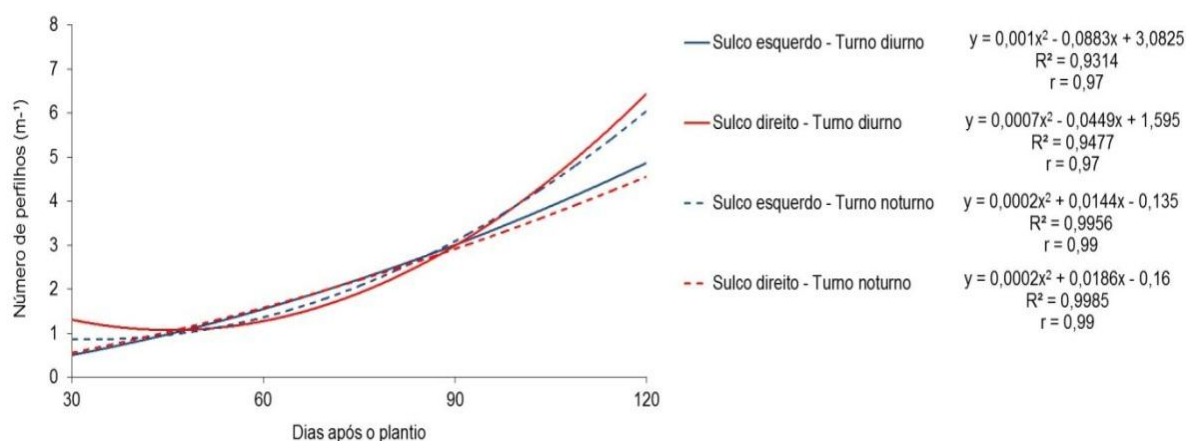


FIGURA 19. Análise de correlação e regressão ao nível de significância $p < 0,05$ entre o número de perfilhos m^{-1} e o período de observação após o plantio mecanizado de cana-de-açúcar em dois turnos de operação.

2 Controle estatístico de qualidade

2.1 Desempenho do conjunto trator-plantadora de cana-de-açúcar

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.

A correta interpretação destes valores padrões pode considerar um processo considerado estável por meio das cartas de controle tanto de valores individuais como para as de amplitudes móveis, como instável devido ao deslocamento ou concentração dos valores acima ou abaixo da média. Dependendo dos níveis de qualidade exigidos para determinadas situações, a interpretação destes padrões pode ser fundamental para se executar tarefas a fim de melhorar a qualidade dos itens produzidos. Esse comportamento é apresentado pelos gráficos sequenciais sendo estes específicos para detectar tipos de não-aleatoriedade.

As associações destes padrões com o comportamento dos valores ou observações nas cartas de controle (individuais) podem explicar possíveis instabilidades do processo, caso os mesmos acusam ocorrências de causas não aleatórias no decorrer do processo. Com isso, pode-se chegar à conclusão de que houve influência destes padrões nos valores individuais, fazendo com que os mesmos extrapolassem os limites de controle.

Estas análises de padrões guardam certa semelhança com os gráficos de controle de valores individuais, e possuem maior precisão em relação aos gráficos da variação do processo (amplitudes móveis), em virtude de os mesmos apresentarem a variação existente entre as amostras ao longo do tempo, em determinados desvios da média, enquanto as cartas de amplitude móvel apresentam a variação existente dentro da amostra em um dado instante de tempo.

Como situação ilustrativa ao uso dos gráficos sequenciais, pode-se refletir sobre o seguinte exemplo: um operador de máquina, no caso de tratores agrícolas, tem que trabalhar em uma velocidade de trabalho X qualquer, durante seu turno de trabalho que possui 10 horas diárias. No início da operação ele consegue atingir um padrão regular da referida velocidade de deslocamento do trator. À medida que o tempo passa o operador, pode sofrer fadiga e começar a variar a velocidade de deslocamento, podendo, tanto aumentá-la como diminuí-la sucessivas vezes (sendo detectados padrões nos gráficos sequenciais de valores individuais, que no caso, se referem à tendência e se a variação em relação à média for menor, pode representar oscilação), o que pode refletir em ganho e perda da capacidade de campo

operacional, respectivamente. Consequentemente, isso terá reflexos na qualidade da operação que o mesmo está desempenhando, dependendo dos padrões de qualidade exigidos pela equipe de gerenciamento. Por outro lado, se tentássemos detectar eventuais padrões na carta de amplitudes móveis, esses padrões não seriam precisos devido à mesma não acompanhar, passo a passo, todo o tempo da jornada de trabalho.

Na Tabela 13 verificam-se os valores padrões de aleatoriedade detectados pelas análises dos gráficos sequenciais para os indicadores de qualidade rotação do motor e consumo horário e efetivo de combustível para os turnos diurno e noturno da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar.

TABELA 13. Valores padrões de probabilidade dos gráficos sequenciais para o conjunto trator-plantadora no plantio mecanizado de cana-de-açúcar em função dos turnos de operação.

| Indicadores de qualidade | Tratamentos | Padrões | | | |
|--|-------------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | A** | M | T | O |
| Velocidade (km h ⁻¹) | Diurno | 1,00 ^{ns} | 0,00* | 0,00* | 0,99 ^{ns} |
| | Noturno | 0,60 ^{ns} | 0,39 ^{ns} | 0,00* | 0,99 ^{ns} |
| Rotação do motor (rpm) | Diurno | 0,91 ^{ns} | 0,08 ^{ns} | 0,18 ^{ns} | 0,81 ^{ns} |
| | Noturno | 0,76 ^{ns} | 0,23 ^{ns} | 0,84 ^{ns} | 0,15 ^{ns} |
| Pressão do óleo do motor (kPa) | Diurno | 0,00* | 1,00 ^{ns} | 0,00* | 0,99 ^{ns} |
| | Noturno | 0,69 ^{ns} | 0,30 ^{ns} | 0,60 ^{ns} | 0,39 ^{ns} |
| Temperatura da água do motor (°C) | Diurno | 0,00* | 1,00 ^{ns} | 0,10 ^{ns} | 0,90 ^{ns} |
| | Noturno | 0,00* | 1,00 ^{ns} | 0,00* | 0,99 ^{ns} |
| Erro de alinhamento do trator (cm) | Diurno | 0,01* | 0,98 ^{ns} | 0,10 ^{ns} | 0,90 ^{ns} |
| | Noturno | 0,06 ^{ns} | 0,94 ^{ns} | 0,00* | 1,00 ^{ns} |
| Capacidade de campo efetiva (ha h ⁻¹) | Diurno | 1,00 ^{ns} | 0,00* | 0,00* | 0,99 ^{ns} |
| | Noturno | 0,60 ^{ns} | 0,39 ^{ns} | 0,00* | 0,99 ^{ns} |
| Consumo horário de combustível (L ha ⁻¹) | Diurno | 0,73 ^{ns} | 0,26 ^{ns} | 0,18 ^{ns} | 0,81 ^{ns} |
| | Noturno | 0,73 ^{ns} | 0,26 ^{ns} | 0,73 ^{ns} | 0,26 ^{ns} |
| Consumo efetivo de combustível (L ha ⁻¹) | Diurno | 0,73 ^{ns} | 0,29 ^{ns} | 0,44 ^{ns} | 0,55 ^{ns} |
| | Noturno | 0,50 ^{ns} | 0,50 ^{ns} | 0,44 ^{ns} | 0,55 ^{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 $p > 0,05$.

Tal aleatoriedade ou causas naturais dos valores padrões retratam que para esses indicadores de qualidade os mesmos 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. Por outro lado, os indicadores de qualidade velocidade, pressão do óleo do motor, temperatura da água do motor, erro de alinhamento do trator e a capacidade de campo efetiva apresentaram comportamento não-aleatório ou a ocorrência de padrões da distribuição dos valores individuais ao longo tempo e/ou no espaço.

Observa-se ainda que não houve diagnóstico do padrão de oscilação para todas as variáveis de desempenho da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, podendo indicar que sob a óptica deste resultado, os indicadores de qualidade não sofreram alternância dos valores individuais ao redor da média repetidas vezes, sistematicamente, durante os turnos de operação.

A análise dos gráficos sequenciais pode ser complementada quando utilizada conjuntamente com as cartas de controle de valores individuais, pois a distribuição dos pontos ou repetições ao longo do processo são 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.

Para o indicador de qualidade velocidade de deslocamento (Figura 21a e 21b), tanto a operação no período diurno quanto para o noturno, foram constatados pontos fora dos limites inferior e superior de controle, respectivamente, evidenciando a ocorrência de causas especiais, tanto nas cartas de valores individuais quanto para a variação do processo (amplitude móvel).

A média da velocidade de deslocamento foi de $5,3 \text{ km h}^{-1}$ nos períodos diurno e noturno da operação, com concentração dos valores individuais (análise de gráficos sequenciais), apresentando padrões de mistura e tendência para o período

diurno e de tendência para o período noturno (Tabela 13). Tais valores padrões indicam que existe um comportamento não natural da amostra ao longo do tempo, sendo que o padrão de mistura retrata o leve afastamento dos grupos de valores da linha central podendo indicar uma distribuição binominal para o período diurno da operação. Apesar da existência de tendência, este padrão não está nítido na carta de controle de valores individuais, provavelmente, devido a pequena variação dos valores, alternando acima e abaixo da média e se concentrando na zona C (1σ) (Figura 7).

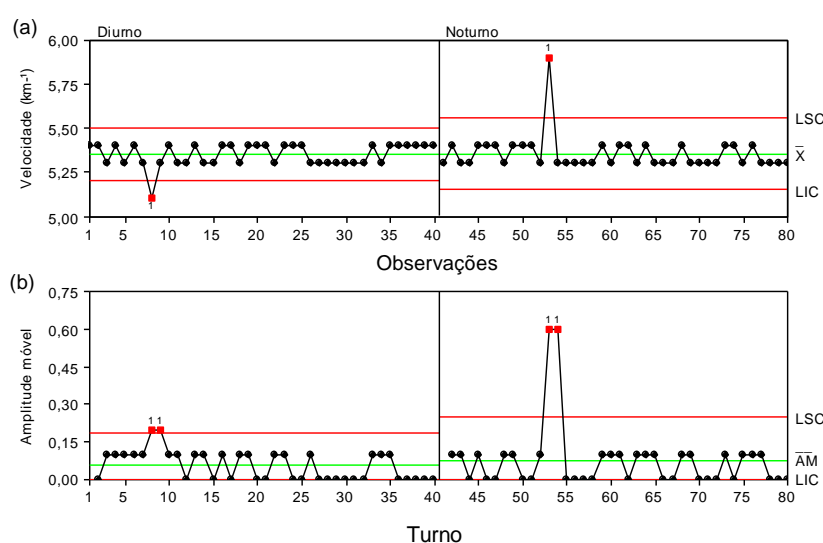


FIGURA 20. Cartas de controle para a velocidade de deslocamento do conjunto trator-plantadora no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel.
LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média dos valores individuais. \bar{AM} : Média da amplitude móvel.

Entretanto, Vishwanathan et al. (2005) e Kichler et al. (2007) relataram que, a velocidade de trabalho dos conjuntos mecanizados, quando monitoradas em tempo real, utilizando sensores, e controladores de bordo, possuem pequenas margens de erros podendo representar a velocidade real a campo.

Os baixos valores de desvios padrão resultaram em LSC e LIC reduzidos, porém, para a operação noturna esses limites se apresentaram mais distantes da média, devido ao maior valor de velocidade encontrado no ponto (observação nº 53) acima do limite superior de controle. Na operação, diurna a existência de um ponto fora de controle (observação nº 8) levou à instabilidade do processo e da variação

do mesmo, uma vez que as amplitudes foram maiores (observações nº 7 e 8) também ultrapassando o LSC. Esta instabilidade pode ser explicada pelo fato de que a operação de plantio foi iniciada próxima à cabeceira de uma curva de nível, que pode ter havido maior compactação do solo devido ao tráfego mais intenso de máquinas para a construção da curva e maior número de manobras neste local, fazendo aumentar a demanda de potência do conjunto trator-plantadora ao encontrar maior resistência do solo, nos mecanismos sulcadores da plantadora.

Por outro lado, no turno da noite a verificação do processo instável se deu por meio da existência de um ponto fora de controle (observação nº 53), que resultou em maior amplitude móvel entre as observações 52-53 e 53-54, resultando em instabilidade e maior variabilidade, como evidenciado na carta de variação do processo. Uma explicação possível para estas instabilidades pode ser dada pelo declive do talhão neste ponto, onde a máquina obteve ganho de velocidade extrapolando o LSC. Apesar de o processo ser considerado instável de acordo com a óptica do controle estatístico de processo, este possui 97,5% dos pontos sob controle, tanto para operação diurna quanto para noturna, mostrando que a operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em função desta variável pode obter ainda elevada qualidade.

Para o indicador de qualidade rotação do motor na operação diurna, os resultados apresentaram elevada variabilidade (Figura 22a e 22b), incorrendo em causas não aleatórias no decorrer do processo sendo verificado nos pontos abaixo do limite inferior de controle (observações nº 8 e 26), refletindo também na carta de amplitude móvel (observações nº 8 e 27).

Tal situação pode ser relacionada à carta de controle de velocidade deslocamento para a operação diurna, pois nesse mesmo ponto (observação nº 8) houve redução de velocidade, que pode ser associada à queda de rotação do motor indicando que realmente o conjunto trator-plantadora encontrou maior resistência no solo neste local de amostragem, fazendo com que aumentasse a demanda de potência do motor.

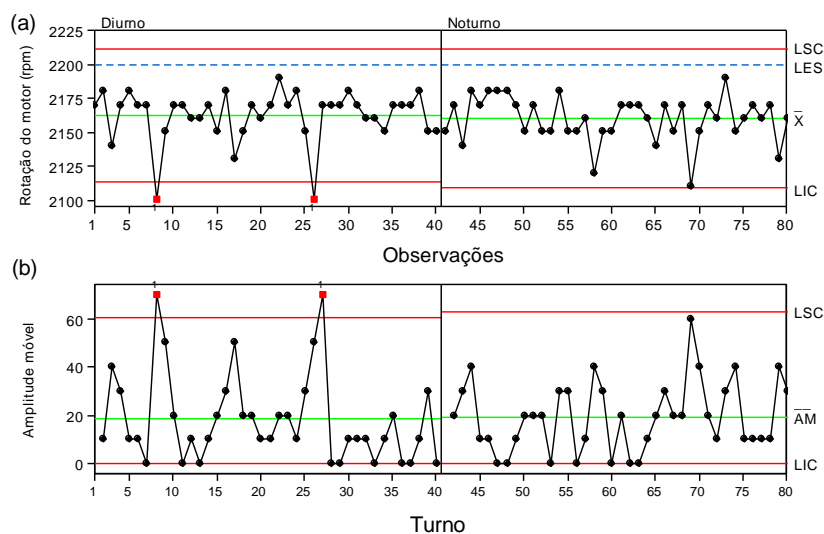


FIGURA 21. Cartas de controle para a rotação do motor do trator na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel.

LSC: Limite superior de controle. LES: Limite específico inferior. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média dos valores individuais. \bar{AM} : Média da amplitude móvel.

Em contraste com esta situação Yadav et al. (2004) relataram que, para um conjunto trator-plantadora de cana-de-açúcar na Índia, com espaçamento entre fileiras de 0,90 m, a velocidade de trabalho variou entre 1,77 a 3,27 km h⁻¹, ou seja, com menor capacidade de campo efetiva do conjunto mecanizado quando comparado a este trabalho. Ressalva-se ainda que o trator utilizado para essa operação não possuía elevada potência disponível no motor, sendo 4x2, com tração nos rodados traseiros, impossibilitando tracionar implementos de maiores dimensões. Já a plantadora possuía menor massa em relação à utilizada neste trabalho não exigindo elevada demanda de potência do trator ao contrário da presente situação em que a potência máxima do motor (LES) foi praticamente totalmente utilizada. Para maiores explicações de como é o processo de plantio mecanizado na Índia recomenda-se a leitura de Patil, Dave e Yadav (2004); Singh et al. (2011).

Por outro lado, o próximo ponto fora dos limites de controle do processo (observação nº 26) pode ser atribuído à resistência do solo e também ao carregamento de rebolos na plantadora no momento de plantio, mas que foi superado pela potência do conjunto, com queda acentuada somente na rotação do motor. Na operação noturna o processo se manteve estável e/ou somente com

variação de causas naturais, sendo os pontos coletados considerados 100% representativos na qualidade da operação, apesar da elevada variabilidade demonstrada na carta de variação do processo (amplitude móvel) e pelo alto valor de desvio padrão, que refletiu em limites de controle muito afastados da média.

Há de se observar que a variação da rotação do motor entre 2100 e 2200 rpm, com média de 2150 rpm, se manteve muito próxima da rotação do ponto de potência máxima do motor do trator (2200 rpm) ilustrada pelo LES. Neste ponto, tem-se maior consumo horário de combustível e o menor torque. Porém, para esta operação a plantadora de cana-de-açúcar demanda maior potência para poder ser tracionada e, desta forma, o conjunto trator-plantadora trabalha próximo às condições ideais de funcionamento do motor.

De acordo com Kim, kim e Kim (2011), quando os tratores estão trabalhando em suas máximas rotações do motor, o consumo de combustível é elevado, porém o trator está trabalhando com toda a sua potência disponível. Resultados semelhantes foram encontrados por Ali, Hanna e Borg (1996), que estudaram o comportamento de uma curva característica de um motor Cummins, devido à variação da rotação do motor, com diferentes proporções de óleo diesel e Rípoli e Rípoli (2010) que estudando o desempenho da operação de plantio mecanizado de cana de açúcar no Brasil também encontraram resultados semelhantes ao do presente trabalho.

Para o indicador de qualidade pressão do óleo do motor (Figura 22a) a operação diurna apresenta padrões (Tabela 13) de agrupamento, com a concentração de pontos próximos à média e aos limites de controle, e tendência, verificada pelos valores sequenciais em determinadas zonas do gráfico, podendo indicar a instabilidade decorrente do processo, que posteriormente foi comprovada devido à presença de um ponto ultrapassando o LSC nas cartas de valores individuais (observação nº 38) e nas cartas de variação do processo (observação nº 32) (Figura 22b).

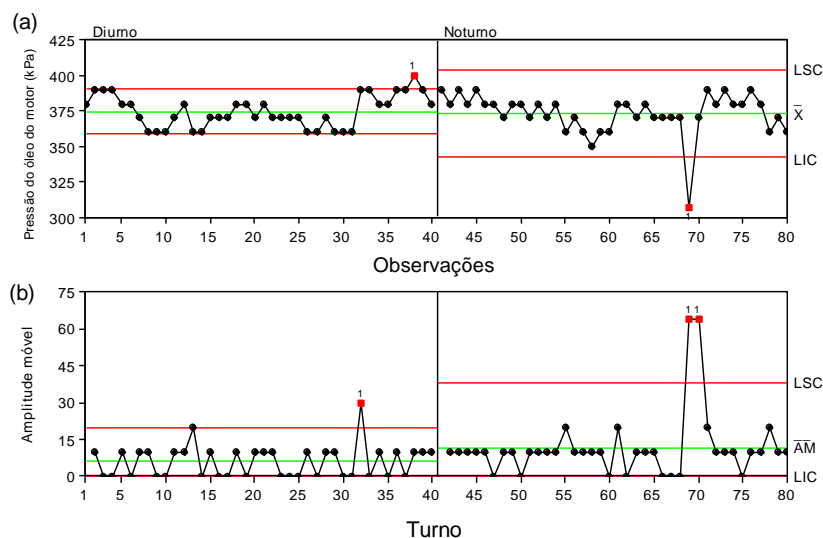


FIGURA 22. Cartas de controle para a pressão do óleo do motor do trator na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{x} : Média dos valores individuais. \bar{AM} : Média da amplitude móvel.

Esta instabilidade pode ser explicada pelo fato de o filtro de óleo (filtro microscópico) não conseguir filtrar toda a quantidade de óleo enviada pela bomba injetora ou pelo fato de a válvula reguladora de pressão do óleo ter parado na posição fechada por mais tempo que o necessário, causando aumento na pressão.

A operação noturna, apesar de apresentar maior valor de desvio padrão, também apresentou instabilidade do processo, devido à ocorrência de um ponto fora de controle, abaixo do limite inferior, (observação nº 69), resultando em dois pontos fora de controle na carta de amplitude móvel (observações nº 69 e 70) em virtude da elevada variabilidade constatada pelo baixo valor de pressão. Tal situação pode ser explicada por vários motivos, dentre os quais: o maior tempo de abertura da válvula reguladora de pressão, impedindo que a bomba de óleo direcionasse o fluxo para o motor, ou seja, a maior parte do óleo retorna ao cárter; baixo nível de óleo do cárter; e tubo de retorno entupido devido ao excesso de contaminação. Karra e Fernando (2005) relatam que o monitoramento da pressão do óleo do motor, bem como a sua temperatura, são parâmetros essenciais para que se ocorra lubrificação de qualidade no motor, diminuindo assim, o atrito e geração de calor das suas partes constituintes, que podem afetar diretamente a sua viscosidade e poder de lubrificação.

Schumacher, Frisby e Hires (1991), explicam a importância da manutenção preventiva realizada em filtros de óleo, mangueiras e na válvula reguladora de pressão, dentre outros, que ajuda a reduzir as variações na pressão do óleo, para a realização de melhor lubrificação do motor.

A temperatura da água do motor (Figura 23) durante o turno do dia apresentou maior desvio padrão em relação à operação noturna, o que pode ser evidenciado pelos limites superior e inferior de controle nas cartas de valores individuais (Figura 23a), sendo que a variabilidade do processo também foi maior, podendo ser verificada na carta de amplitude móvel (Figura 23b).

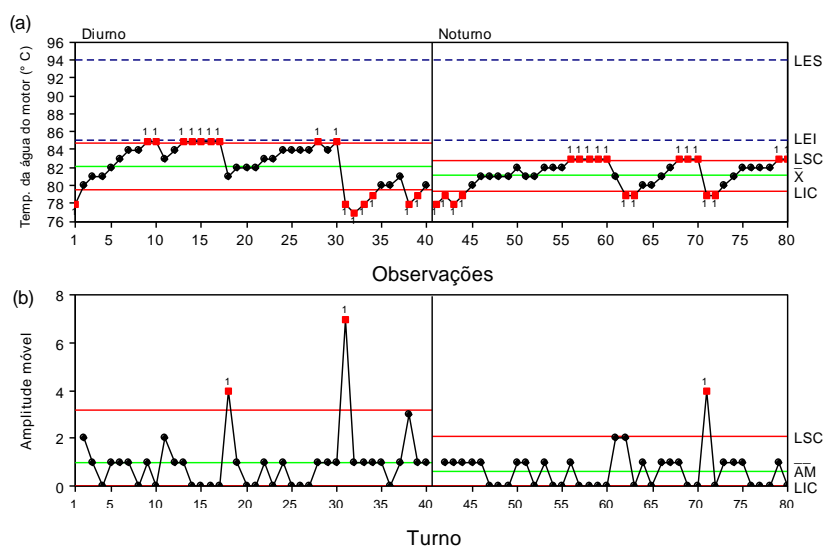


FIGURA 23. Cartas de controle para a temperatura da água do motor do trator na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle.

LSE: Máxima temperatura da água motor. LEI: Mínima temperatura da água do motor. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média dos valores individuais. \overline{AM} : Média da amplitude móvel.

Para a operação diurna foram diagnosticados valores padrão (Tabela 13) de agrupamento para a temperatura da água motor, devido ao número de observações que formam grupos de pontos ao redor da linha central, podendo ser evidenciado pelas cartas de controle valores individuais. Para o turno da noite pode ser observado o padrão de agrupamento e tendência dos valores, sendo este último mais evidente devido aos aumentos e diminuição da temperatura da água do motor,

mas que de certa forma não influenciam a diminuição a qualidade desta variável, pois reflete a função do sistema de arrefecimento do motor. Bennett (2009), estudando o monitoramento da temperatura da água do motor de tratores, operando com óleo diesel, encontrou valores médios da temperatura da água do motor próximos aos valores encontrados no presente estudo.

Este indicador de qualidade apresentou causas especiais extrínsecas ao processo, tanto no período diurno como no período noturno. Essas causas especiais poderiam ser explicadas devido à ocorrência de um ou mais dos fatores “6 M’s” (matéria-prima, mão de obra, método, máquina, medição e meio ambiente), mas para esta situação em específico, os pontos fora dos limites de controle (superior e inferior) podem indicar o perfeito funcionamento do sistema de arrefecimento do motor, pois a válvula termostática se abre quando a temperatura do motor se encontra entre 85 a 94 °C (CEMAGREF, 1986) fazendo com que a água percorra todo o sistema de arrefecimento, para que a mesma faça a dissipação de calor, a fim de que a temperatura diminua evitando danos ao funcionamento da máquina.

Nota-se ainda que, com auxílio visual dos LES e LEI os mesmos nos ajudam a termos a visão de que o processo ocorre no limite mínimo requerido para a abertura da válvula termostática, indicando o correto e eficaz funcionamento do sistema de arrefecimento do motor. Para que ocorra o correto funcionamento do motor, como o sistema de arrefecimento funcionando perfeitamente Pripps (2004) recomenda valores de temperatura adequados estando entre 85 a 94°C.

Analisando ainda a Figura 23, pode-se observar, nas cartas de valores individuais, que as temperaturas tiveram incrementos, levando à abertura da válvula termostática, e que, após essa abertura, o resfriamento do motor foi realizado com sucesso promovendo a queda de temperatura. As cartas de amplitudes móveis também apresentaram pontos fora dos limites de controle que podem ser justificados pela queda da temperatura da água do motor, sendo a maior variabilidade encontrada no período diurno da operação, quando a válvula termostática se abriu causando maiores variações nos valores de amplitudes, fato este que é a favor da lógica de funcionamento deste sistema.

Neste contexto, Grisso et al. (2008) estudaram tratores com potências diferentes em diversas condições de utilização da potência do motor (várias rotações

do motor), e relataram que, quando os tratores operam em maior velocidade de rotação do motor, independente de potência, o arrefecimento do motor não deve exceder temperatura média de 88 °C. Shin, Kim e Kim (2012) monitorando a temperatura da água do motor encontraram situação semelhante à do presente trabalho.

O erro de alinhamento do trator na operação diurna e noturna (Figura 24a e 24b) apresentou a maioria dos pontos em torno da média. Porém, foi identificada a ocorrência de padrões de agrupamento e de tendência deste conjunto de dados, respectivamente, sendo que estes indicam a presença de variação não aleatória decorrente da variação do processo (Tabela 13). O agrupamento de pontos ao redor da média nesta situação em específico pode induzir a um menor erro de alinhamento médio do trator, dependendo das especificações da unidade produtora, ao passo que a tendência detectada pode refletir tanto em diminuição quanto em aumento deste erro de alinhamento ao longo do processo, sendo então necessários maiores cuidados no período noturno da operação.

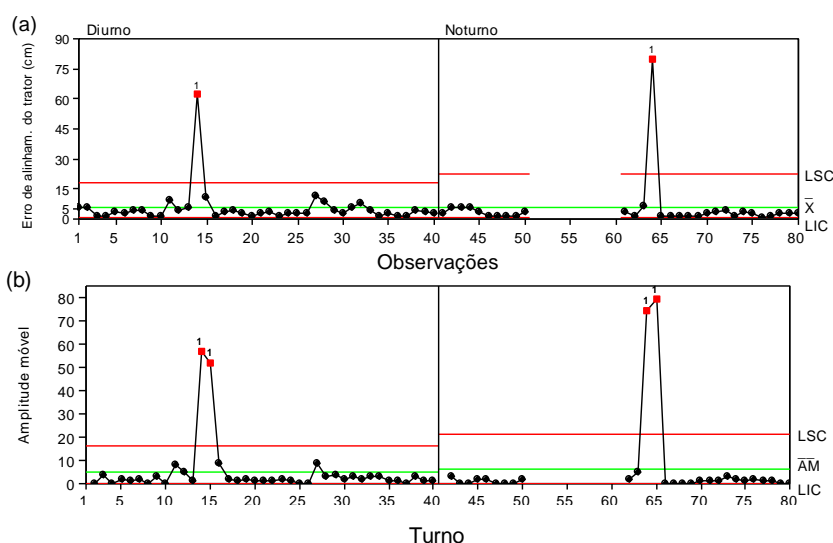


FIGURA 24. Cartas de controle para o erro do alinhamento do trator na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel.
LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média dos valores individuais. \bar{AM} : Média da amplitude móvel.

Os turnos diurno e noturno de operação apresentaram único ponto de fora de controle nas cartas de valores individuais (observações nº 14 e 64,

respectivamente), refletindo em pontos acima do LSC nas cartas de amplitudes móveis (observações nº 14 e 15; 64 e 65, respectivamente) (Figura 24b).

A não aleatoriedade ou a instabilidade do processo pode ser justificada por esses pontos fora dos limites de controle serem considerados como pontos atípicos ou discrepantes também conhecidos como “*outliers*”. Estes “*outliers*” são pontos incomuns que se apresentam distantes das demais observações, afastados da média, podendo estar acima ou abaixo da mesma, sendo, potencialmente considerados como valores que não representam o verdadeiro comportamento do conjunto de dados, mas que ocorreram no processo e devem ser investigados. Considerando-se os fatores “6 M’s”, a ocorrência desses valores atípicos pode estar relacionada, possivelmente, à medição e ao método utilizados na coleta de dados. Pode ter ocorrido, por exemplo, atraso no recebimento de sinal pelo sistema de autodirecionamento automático, estando este fato relacionado com o método utilizado para avaliar este indicador de qualidade, e desta forma, o valor analisado pode não corresponder ao ponto amostrado.

Baio (2012) relata que para a operação da colheita mecanizada de cana-de-açúcar obter a máxima qualidade possível de desempenho operacional quanto evitar o pisoteio das soqueiras e se atendo ao controle de tráfego na área, é necessário utilizar o piloto automático no momento do plantio mecanizado e os erros de alinhamento devem ser os menores possíveis para a futura utilização destas linhas de referência no momento da colheita.

Em especial, a operação realizada no período noturno apresentou falhas no recebimento do sinal (observações nº 49 a 60) que seriam enviados pelos satélites e recebidos na antena móvel (*rover*) localizada no trator, conforme indicado na carta de valores individuais e de amplitude móvel pela falta de sequência das observações. Destaca-se que a perda de sinal pode gerar possíveis erros de alinhamento, representando, dessa forma, erros grosseiros no espaçamento entre as fileiras de cana-de-açúcar e, conseqüentemente, estes erros podem comprometer todas as demais operações mecanizadas no ciclo da cultura, principalmente, a colheita.

A perda de sinal ocorrida no período noturno da operação pode ter influenciado na maior variabilidade em relação ao período diurno (carta de variação

do processo), fato este que pode indicar que existe frequente oscilação do sinal recebido pela antena móvel durante a operação de plantio neste turno. Com velocidade de deslocamento próxima à utilizada no presente trabalho, Baio e Moratelli (2011) relataram que o erro de alinhamento para a operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, apresentou acurácia de 0,0330 m para o período diurno da operação, porém o erro de alinhamento aqui encontrado é de 0,0488 e 0,0480 m, para as operações diurna e noturna, respectivamente.

Por outro lado, o uso do piloto automático em operações agrícolas para diminuir o erro de alinhamento entre as linhas de operação tem sido assunto de estudos por vários pesquisadores, sendo que este sistema de aquisição de dados nem sempre é possível conseguir atingir a precisão máxima prevista. Quando isso acontece, pode causar a perda qualidade das operações futuras em qualquer fase do ciclo da cultura, tal como descrito em detalhes por Heraud e Lange (2009) e, quando utilizado de maneira correta e mais eficiente pode trazer reduções significativas nos custos de produção acordo com o relatório feito por (BATTE e EHSANI, 2006).

A capacidade de campo efetiva foi considerada como instável para os dois turnos da operação, pois além de apresentarem a ocorrência de padrões de mistura e tendência para o período diurno e tendência para o turno da noite (Tabela 13), não sendo considerados como limitantes do desempenho da qualidade para este indicador, também apresentaram pontos fora dos limites de controle. A maior variabilidade foi verificada na operação noturna, uma vez que os limites de controle estão mais afastados da média, podendo ser evidenciado nas cartas de variação do processo, apesar de os valores individuais se distribuírem próximos à média (Figura 25a e 25b).

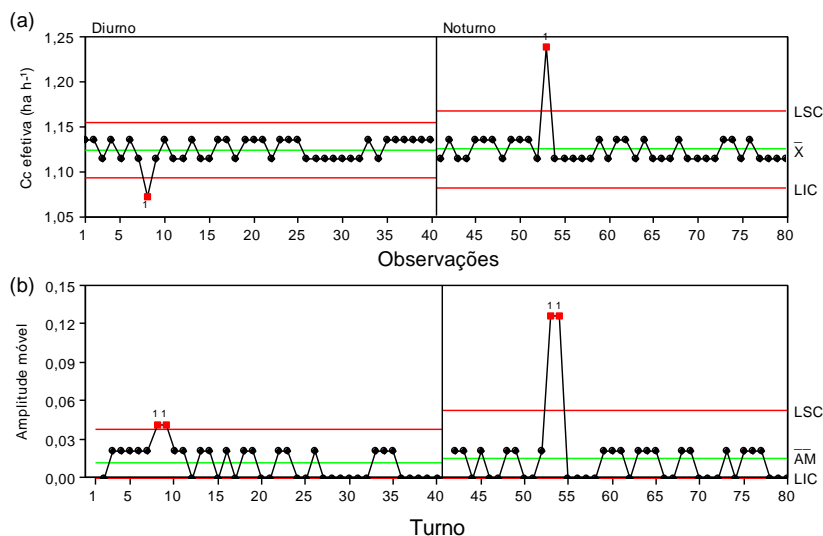


FIGURA 25. Cartas de controle para a capacidade de campo efetiva do conjunto trator-plantadora na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média dos valores individuais. \bar{AM} : Média da amplitude móvel.

A possível explicação para os pontos fora dos limites de controle, que culminou na caracterização do processo como instável, havendo presença de causas especiais, pode ser associada à velocidade média de deslocamento do conjunto trator-plantadora, uma vez que os pontos fora dos limites de controle presentes nesta carta são os mesmos presentes na carta de controle para a variável velocidade de deslocamento e também ao gerenciamento da operação como um todo. A maioria dos fatores que constituem os 6 M's (máquina, meio ambiente, medição, método, matéria prima e mão-de-obra) pode, de certa forma, ter influenciado na operacionalidade do conjunto mecanizado, necessitando de amplo conhecimento do processo para a correta análise dos resultados.

Tanto no período diurno quanto noturno, a capacidade de campo efetiva do conjunto mecanizado foi semelhante, podendo indicar que apesar das elevadas variações existentes ao longo da operação, estas não influenciaram negativamente o processo como um todo. Estudando o plantio mecanizado de cana-de-açúcar na Índia Kumar e Singh (2012) relataram que a capacidade de campo efetiva da máquina foi de apenas $0,38 \text{ ha}^{-1}$ com velocidade de trabalho de $1,8$ a $2,5 \text{ km h}^{-1}$, valor este muito inferior à velocidade de deslocamento do conjunto mecanizado

utilizado no presente trabalho devido às fileiras de plantio possuir espaçamento de 0,90 m.

Por outro lado, Zacharias, Santos e Jesus (2011) estudando os custos dos sistemas de plantio em cana-de-açúcar no Brasil relataram que a capacidade de campo operacional da operação de plantio mecanizado foi de $0,66 \text{ ha h}^{-1}$, valor este que pode ser considerado aceitável para este sistema de plantio, uma vez que os impropérios durante este ciclo de operações podem diminuir a operacionalidade da operação drasticamente. Portanto, o valor da capacidade de campo efetiva apresentado neste trabalho, de certa forma, enquadra-se no perfil da mecanização desta operação.

O indicador de qualidade consumo horário de combustível (Figura 26a) apresentou os limites de controle (LSC e LIC) distantes da média (cartas de valores individuais) em função do elevado desvio padrão, sendo esta elevada variabilidade do processo podendo também ser observada nas cartas de amplitudes móveis (variação do processo) (Figura 26b).

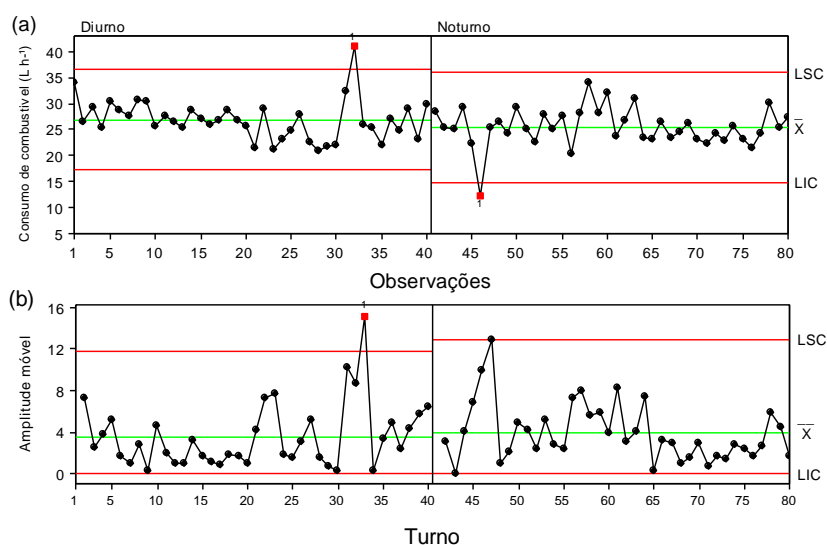


FIGURA 26. Cartas de controle para consumo horário de combustível do conjunto trator-plantadora na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média dos valores individuais. \bar{AM} : Média da amplitude móvel.

Sob a óptica deste indicador, o processo foi considerado como instável tanto para o turno diurno quanto para o noturno (observações n° 32 e 46,

respectivamente). A ocorrência de pontos fora dos limites de controle indica a presença de causas especiais durante a operação. A instabilidade do processo em decorrência destas causas especiais, verificada durante o período diurno, pode ser explicada pelo momento em que o transbordo carrega a plantadora com os rebolos, podendo ter sido submetida a uma carga maior que a suportável, implicando em maior consumo horário de combustível até que a rotação do motor se estabilizasse e a operação voltasse ao normal. Por outro lado, a operação noturna apresentou um ponto abaixo do LIC, que pode ser explicado pela menor quantidade de mudas dentro da plantadora, refletindo em menor força de tração pelo conjunto mecanizado e, conseqüentemente, em menor consumo horário de combustível.

Apesar de apresentar velocidade média de deslocamento de 5,34 e 5,35 km h⁻¹ e consumo horário de combustível de 26,86 e 25,46 L h⁻¹, nos turnos diurnos e noturnos de operação, respectivamente, os resultados aqui encontrados diferem dos observados por Ripoli e Ripoli (2010), que relataram que a média de consumo horário de combustível na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar foi de aproximadamente 37,80 e 39,60 L h⁻¹ para o modelo de plantadora PCP2 e PCP 5000, respectivamente, com os tratores operando à velocidade de aproximadamente 5,0 km h⁻¹. Esta diferença se deve provavelmente ao fato de que neste trabalho os autores utilizaram tratores de maior potência no motor (162 kW), em relação ao utilizado neste experimento (134 kW).

O consumo horário de combustível pode variar em função da quantidade do número de rebolos a serem depositados no interior do reservatório da plantadora de cana picada, sendo que em condições de maior massa de rebolos pode haver aumento do consumo de combustível na operação, sendo também afetada pela velocidade de trabalho, rotação e marcha de trabalho, dentre outros, conforme descrito por Matsuoka (2006).

O consumo horário de combustível é elevado quando o trator trabalha em alta rotação do motor, seja com carga maior e/ou menor, independente da potência do motor (GRISSE, KOCHER e VAUGHAN, 2004). Por outro lado Grisso, Vaughan, Roberson (2008) relataram que, tal previsão de consumo de combustível e potência no motor em diversas operações se torna muito importante, pois as mesmas podem refletir nos custos de produção e também inferir na classificação dos tratores

designando-os para a operação em que o mesmo possa ser melhor aproveitado (GIL-SIERRA et al, 2007; SHIN et al, 2012), refletindo conseqüentemente nos dimensionamentos das operações.

O consumo efetivo de combustível apresentou comportamento semelhante ao consumo horário de combustível o que pode ser verificado pelas cartas de valores individuais e de amplitudes móveis (Figura 27a e 27b), respectivamente.

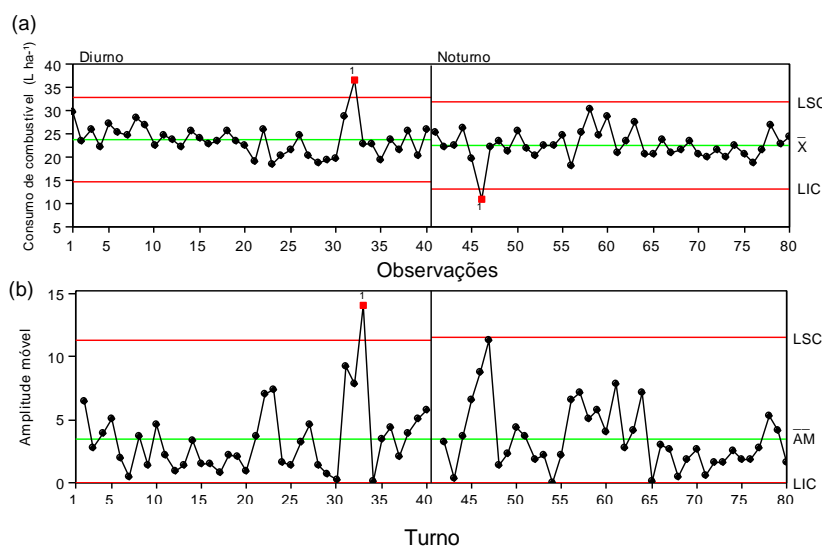


FIGURA 27. Cartas de controle para consumo efetivo de combustível do conjunto trator-plantadora na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média dos valores individuais. \bar{AM} : Média da amplitude móvel.

A operação diurna apresentou um ponto acima do LSC, que possivelmente pode ser associado ao menor desempenho efetivo do conjunto mecanizado, sendo influenciado pelo valor mínimo da velocidade de deslocamento e/ou pelo maior consumo horário de combustível. Para o período noturno também houve um ponto fora dos limites de controle, cuja explicação pode ser o inverso da anterior. Rípoli e Rípoli (2007) encontraram valores de consumo efetivo de combustível para o plantio mecanizado de cana-de-açúcar próximos aos valores encontrados no presente trabalho, utilizando tratores também com potência de 136 kW, somente na condição do período diurno de avaliação.

Por outro lado, ao se analisar as cartas de variação do processo, observa-se que houve menor variabilidade dos valores na operação diurna devido ao consumo

efetivo de combustível apresentar distribuição mais homogênea ao redor da média ao longo da operação. O consumo efetivo médio de combustível foi suavemente menor durante o período noturno, pois o conjunto trator-plantadora apresentou maior operacionalidade em comparação à operação realizada durante o período diurno.

Yadav, Yadav e Terja (2003) relataram que é essencial o monitoramento do consumo efetivo de combustível para a avaliação do desempenho da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, porque pode refletir diretamente na melhoria dos custos de produção por meio de gestão adequada de todo o ciclo das operações que envolvem o plantio mecanizado, desde o escalonamento da área para ser realizada a colheita mecanizada das mudas, logística e até o local do plantio propriamente dito.

2.2 Avaliação da qualidade da operação do plantio mecanizado

Para os indicadores de qualidade número de rebolos m^{-1} e consumo de mudas ($Mg\ ha^{-1}$) não foram encontrados padrões de causas não naturais ou de origem não aleatória para o período diurno da operação em ambos os sulcos (esquerdo e direito) (Tabela 14), bem como para no número total de gemas para o sulco direito. 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 prejuízos ao processo, uma vez que essa variação aleatória comum ao mesmo. Há de se notar ainda que não foi detectado nenhum valor padrão de oscilação para todos os indicadores de qualidade relacionados ao plantio, o que torna mais segura a potencial afirmação da concentração de dados se comportando de maneira aleatória em torno da linha central.

TABELA 14. Valores padrões de probabilidade dos gráficos sequenciais para os indicadores de qualidade avaliados no plantio mecanizado de cana-de-açúcar no período diurno da operação.

| | | Turno diurno | | | |
|---|---------------|---------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Indicadores de qualidade | Sulcos | Padrões | | | |
| | | A** | M | T | O |
| Número de rebolos m ⁻¹ | Esquerdo | 0,17 ^{ns} | 0,82 ^{ns} | 0,10 ^{ns} | 0,90 ^{ns} |
| | Direito | 0,50 ^{ns} | 0,50 ^{ns} | 0,92 ^{ns} | 0,08 ^{ns} |
| Número total de gemas m ⁻¹ | Esquerdo | 0,37 ^{ns} | 0,62 ^{ns} | 0,02* | 0,98 ^{ns} |
| | Direito | 0,73 ^{ns} | 0,26 ^{ns} | 0,92 ^{ns} | 0,08 ^{ns} |
| Número de gemas viáveis m ⁻¹ | Esquerdo | 0,06 ^{ns} | 0,94 ^{ns} | 0,02* | 0,98 ^{ns} |
| | Direito | 0,00* | 0,99 ^{ns} | 0,18 ^{ns} | 0,81 ^{ns} |
| Gemas viáveis (%) | Esquerdo | 0,01* | 0,98 ^{ns} | 0,44 ^{ns} | 0,55 ^{ns} |
| | Direito | 0,00* | 0,99 ^{ns} | 0,02* | 0,98 ^{ns} |
| Consumo de mudas (t ha ⁻¹) | Esquerdo | 0,17 ^{ns} | 0,82 ^{ns} | 0,10 ^{ns} | 0,90 ^{ns} |
| | Direito | 0,50 ^{ns} | 0,50 ^{ns} | 0,92 ^{ns} | 0,08 ^{ns} |
| Perfilhamento 30 (DAP) | Esquerdo | 0,00* | 0,99 ^{ns} | 0,02* | 0,98 ^{ns} |
| | Direito | 0,00* | 1,00 ^{ns} | 0,00* | 0,99 ^{ns} |
| Perfilhamento 60 (DAP) | Esquerdo | 0,01* | 0,98 ^{ns} | 0,84 ^{ns} | 0,15 ^{ns} |
| | Direito | 0,00* | 1,00 ^{ns} | 0,00* | 1,00 ^{ns} |
| Perfilhamento 90 (DAP) | Esquerdo | 0,00* | 0,99 ^{ns} | 0,18 ^{ns} | 0,81 ^{ns} |
| | Direito | 0,03* | 0,97 ^{ns} | 0,02* | 0,98 ^{ns} |
| Perfilhamento 120 (DAP) | Esquerdo | 0,00* | 1,00 ^{ns} | 0,10 ^{ns} | 0,90 ^{ns} |
| | Direito | 0,00* | 1,00 ^{ns} | 0,44 ^{ns} | 0,55 ^{ns} |
| Falhas 90 (DAP) | Esquerdo | 0,00* | 0,99 ^{ns} | 0,00* | 0,99 ^{ns} |
| | Direito | 1,00 ^{ns} | 0,00* | 0,00* | 1,00 ^{ns} |
| Falhas 120 (DAP) | Esquerdo | 0,00* | 0,99 ^{ns} | 0,00* | 0,99 ^{ns} |
| | Direito | 0,00* | 1,00 ^{ns} | 0,02* | 0,98 ^{ns} |

**A – Agrupamento; M – Mistura; T – Tendência; O – Oscilação; DAP – Dias após o plantio; *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.

A porcentagem de gemas viáveis, perfilhamento aos (30, 60, 90 e 120 DAP) e as falhas aos 120 DAP apresentaram padrão de agrupamento dos valores ao redor

da média, situando-se também afastados da mesma (próximo aos limites de controle) para ambos os sulcos (esquerdo e direito) de plantio no período diurno da operação, bem como o número de gemas viáveis e falhas aos 90 DAP para os sulcos direito e esquerdo, respectivamente, podendo indicar grupos de pontos próximos à média e/ou moderadamente afastados dos limites de controle.

Por outro lado o perfilhamento aos 30 DAP e as falhas aos 90 e 120 DAP apresentaram valor padrão de tendência para os sulcos direito e esquerdo, o que pode refletir no desenvolvimento da brotação da cana-de-açúcar e conseqüentemente na diminuição de falhas na brotação ao longo do tempo, respectivamente, referindo-se a uma tendência em ordem crescente. Observa-se também que existe tal padrão para o perfilhamento aos 60 e 90 DAP somente para o sulco direito da operação, que pode ser explicado em virtude da elevada variabilidade que envolve tal processo. Conforme NHS - National Services Scotland (2012) afirma que as análises das sequencias podem possuir diferentes normas e diretrizes para detectar tais valores padrões, sendo, portanto adequado cada situação, no caso operações mecanizadas, constituírem suas sequencia de pontos que serão limitantes a produção pela verificação de não-aleatoriedade.

Os valores do número de gemas totais e viáveis também apresentam o padrão de tendência, ambos nos sulcos esquerdos. Sendo medidas que, de certa forma, possuem relação direta entre si, sendo que uma variável influencia a outra, sendo este padrão suavemente decrescente ao longo do tempo, podendo ser verificado na leve diminuição das gemas ao longo do processo. Outra situação que ocorreu foi a detecção do padrão não-aleatório de mistura para as falhas aos 90 DAP, somente para o sulco esquerdo, o que pode refletir na sequencia de consecutivos pontos dentro dos potenciais limites de controle 3σ , mas que não atingem a zona 1σ . Cassia (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 e agrupamento de seus indicadores de qualidade como no presente trabalho.

No período noturno da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, os indicadores de qualidade número de rebolos m^{-1} , número total de gemas m^{-1} , consumo de mudas $Mg\ ha^{-1}$ e perfilhamento aos 120 DAP apresentaram

comportamento natural ou aleatório de seus conjuntos de dados, sob a óptica dos valores padrões de variabilidade (Tabela 15).

TABELA 15. Valores padrões de probabilidade dos gráficos sequenciais para os indicadores de qualidade avaliados no plantio mecanizado de cana-de-açúcar no período noturno da operação.

| | | Turno noturno | | | |
|---|---------------|----------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| Indicadores de qualidade | Sulcos | Padrões | | | |
| | | A** | M | T | O |
| Número de rebolos m ⁻¹ | Esquerdo | 0,38 ^{ns} | 0,62 ^{ns} | 0,10 ^{ns} | 0,90 ^{ns} |
| | Direito | 0,63 ^{ns} | 0,36 ^{ns} | 0,60 ^{ns} | 0,39 ^{ns} |
| Número total de gemas m ⁻¹ | Esquerdo | 0,06 ^{ns} | 0,94 ^{ns} | 0,30 ^{ns} | 0,69 ^{ns} |
| | Direito | 0,37 ^{ns} | 0,62 ^{ns} | 0,30 ^{ns} | 0,69 ^{ns} |
| Número de gemas viáveis m ⁻¹ | Esquerdo | 0,06 ^{ns} | 0,94 ^{ns} | 0,04* | 0,95 ^{ns} |
| | Direito | 0,06 ^{ns} | 0,94 ^{ns} | 0,30 ^{ns} | 0,69 ^{ns} |
| Gemas viáveis (%) | Esquerdo | 0,00* | 1,00 ^{ns} | 0,73 ^{ns} | 0,26 ^{ns} |
| | Direito | 0,02* | 0,97 ^{ns} | 0,18 ^{ns} | 0,81 ^{ns} |
| Consumo de mudas (t ha ⁻¹) | Esquerdo | 0,38 ^{ns} | 0,62 ^{ns} | 0,10 ^{ns} | 0,90 ^{ns} |
| | Direito | 0,63 ^{ns} | 0,36 ^{ns} | 0,60 ^{ns} | 0,39 ^{ns} |
| Perfilhamento 30 (DAP) | Esquerdo | 0,76 ^{ns} | 0,23 | 0,18 ^{ns} | 0,81 ^{ns} |
| | Direito | 0,99 ^{ns} | 0,01* | 0,99 ^{ns} | 0,00* |
| Perfilhamento 60 (DAP) | Esquerdo | 0,50 ^{ns} | 0,49 ^{ns} | 0,02* | 0,98 ^{ns} |
| | Direito | 0,85 ^{ns} | 0,15 ^{ns} | 0,60 ^{ns} | 0,39 ^{ns} |
| Perfilhamento 90 (DAP) | Esquerdo | 0,98 ^{ns} | 0,01* | 0,96 ^{ns} | 0,03* |
| | Direito | 0,73 ^{ns} | 0,26 ^{ns} | 0,30 ^{ns} | 0,69 ^{ns} |
| Perfilhamento 120 (DAP) | Esquerdo | 0,73 ^{ns} | 0,26 ^{ns} | 0,10 ^{ns} | 0,90 ^{ns} |
| | Direito | 0,38 ^{ns} | 0,62 ^{ns} | 0,84 ^{ns} | 0,15 ^{ns} |
| Falhas 90 (DAP) | Esquerdo | 0,99 ^{ns} | 0,00* | 0,96 ^{ns} | 0,03* |
| | Direito | 0,78 ^{ns} | 0,21 ^{ns} | 0,30 ^{ns} | 0,69 ^{ns} |
| Falhas 120 (DAP) | Esquerdo | 0,50 ^{ns} | 0,49 ^{ns} | 0,96 ^{ns} | 0,03* |
| | Direito | 0,98 ^{ns} | 0,01* | 0,96 ^{ns} | 0,03* |

**A – Agrupamento; M – Mistura; T – Tendência; O – Oscilação; DAP – Dias após o plantio; *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.

O indicador de qualidade porcentagem de gemas viáveis apresentou padrão de agrupamento de pontos afastados dos limites de controle. Porém, se as concentrações dos mesmos fossem em maior parte próxima ao valor do limite superior de controle, potencialmente haveria maior porcentagem de gemas viáveis m^{-1} , o que, conseqüentemente, elevaria a média geral, podendo ser considerado como fator de diminuição de riscos nas falhas na brotação.

O padrão de mistura diagnosticado pelos gráficos sequenciais para o sulco esquerdo no perfilhamento e falhas aos 90 DAP e para o sulco direito no perfilhamento e falhas aos 30 e 120 DAP, respectivamente, apresentaram elevada variação dos valores existentes dentro de cada indicador de qualidade, sendo representada por distribuições distintas, podendo ser consideradas binomiais, com concentração de pontos concentradas hora acima e hora abaixo da média, repetidamente, caracterizando o processo como não previsível.

Por outro lado, o padrão de oscilação detectado para as falhas aos 120 DAP, em ambos os sulcos, perfilhamento e falhas aos 90 DAP para o sulco esquerdo e perfilhamento aos 30 DAP somente para o sulco direito, apresentaram valores que alternam repetidas vezes ao redor da média, podendo ser chamado também de padrão sistemático do processo, fato este que resulta em elevada variabilidade dos valores encontrados. Segundo NHS - National Services Scotland (2012a) a análise dos gráficos sequenciais é muito importante para determinar as fontes de variação externas, mas a necessidade de se estudar as razões pelas quais ocorrem são ainda maiores.

Para o indicador de qualidade número de rebolos m^{-1} para o período diurno da operação constatou-se que o processo está fora dos limites de controle para ambos os sulcos, direito e esquerdo, tanto para a carta de valores individuais quanto para a de amplitudes móveis (Figura 28a e 28b). Analisando-se ainda esta mesma variável, nota-se que, para o período noturno da operação, houve a verificação da instabilidade do processo somente para o sulco esquerdo, enquanto que para o direito o mesmo permanece dentro dos limites de controle, para as cartas de valores individuais e de variação do processo, respectivamente.

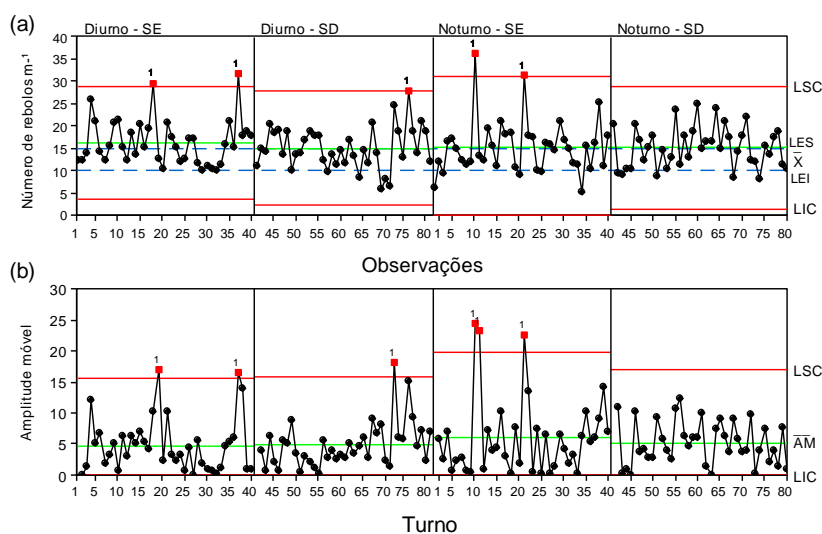


FIGURA 28. Cartas de controle para o número de rebolos distribuídos pela plantadora na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. SD: sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média dos valores individuais. \bar{AM} : Média da amplitude móvel

Por outro lado, a variabilidade decorrente do processo para o período diurno e noturno, de maneira geral, foi próxima para ambos os sulcos de plantio, e maior para o sulco esquerdo em relação ao direito no período noturno da operação, respectivamente. Tal variação pode ser atribuída às causas não assinaláveis que ocorrem de maneira extrínseca ao processo e que devem ser detectadas e, posteriormente, eliminadas para que o processo atinja a qualidade esperada. Noronha (2011) estudando o plantio mecanizado de cana-de-açúcar relatou índices médios de rebolos de aproximadamente 50% a menos em relação ao presente trabalho (15 rebolos m⁻¹), situação esta bem contrastante com este trabalho, e que, em virtude dos danos potenciais às gemas podem prejudicar o perfilhamento inicial da cultura.

As fontes de variações externas ao processo devem ser atribuídas aos chamados fatores “6 M’s” (mão-de-obra, matéria prima, meio ambiente, máquina, método e medição). Neste caso, podemos associar ao fato de que o operador da cabine da plantadora (mão-de-obra), que controla a regulagem da esteira distribuidora de mudas, em alguns momentos perdeu o controle desta regulagem, o que refletiu em pontos acima dos limites superiores de controle, com maiores

quantidades de rebolos m^{-1} , e também ao fato de a máquina não possuir um mecanismo dosador específico para a distribuição dos rebolos nos sulcos de plantio. A ausência desse mecanismo, aliada à grande aleatoriedade de que os rebolos se encontram arranjados no interior da plantadora e também pelas suas dimensões faz com que, por meio da rotação da esteira distribuidora estes sejam coletados em diferentes quantidades e direcionados aos sulcos, podendo esse evento casual ter ocorrido nos referidos pontos fora dos limites de controle.

Silva, Moraes e Molin (2010) estudaram o padrão tecnológico da agricultura de precisão no estado de São Paulo e constataram que o uso de sensores, de maneira geral, é pouco utilizado para a área canavieira e que, com a utilização destes recursos seria possível se obter melhoria na produtividade e na redução dos custos de produção bem com as operações serem desempenhadas com maior qualidade. Associando esta situação ao presente trabalho, é notável que a presença de um sensor capaz de quantificar a distribuição de rebolos no plantio mecanizado, em função das regulagens da rotação da esteira, seria uma solução valiosa para a diminuição da variabilidade da distribuição ao longo das jornadas de trabalho, independentemente do turno de operação, o que potencialmente, diminuiria as fontes de erros externos causada pela fadiga da mão-de-obra ao longo do tempo.

De maneira geral, o processo de distribuição de rebolos manteve-se com a concentração de valores acima do LES o que reflete diretamente na operação em que o operador da cabine da plantadora está realizando, que neste caso, está acima das especificações o que pode influenciar aumento do consumo de mudas $Mg\ ha^{-1}$. Os limites específicos (LES e LEI) são utilizados nas cartas de valores individuais para apresentarem como o processo se comporta ao longo do tempo, e se existe a necessidade de se realizar alterações no mesmo para que se possa atingir à qualidade exigida pelos gerenciadores.

Pela análise das cartas de controle, para valores individuais e de amplitudes móveis (Figura 29a e 29b), o número de gemas totais m^{-1} para o sulco direito no período noturno da operação sofre influência apenas de causas comuns, com todos os pontos alocados dentro dos limites superior e inferior de controle (Figura 29a). Outra consideração importante a ser exposta, é que para o sulco direito no período diurno da operação, há presença de causas não comuns somente na carta de

variação do processo (Figura 29b) e, quando esta situação ocorre, independentemente do comportamento da carta de valores individuais, o processo é considerado instável em virtude da elevada amplitude neste ponto (observação nº 72). A solução para este problema é o monitoramento contínuo do processo a fim de diminuir tal variação, pois se este ponto não existisse, a variabilidade potencialmente seria menor.

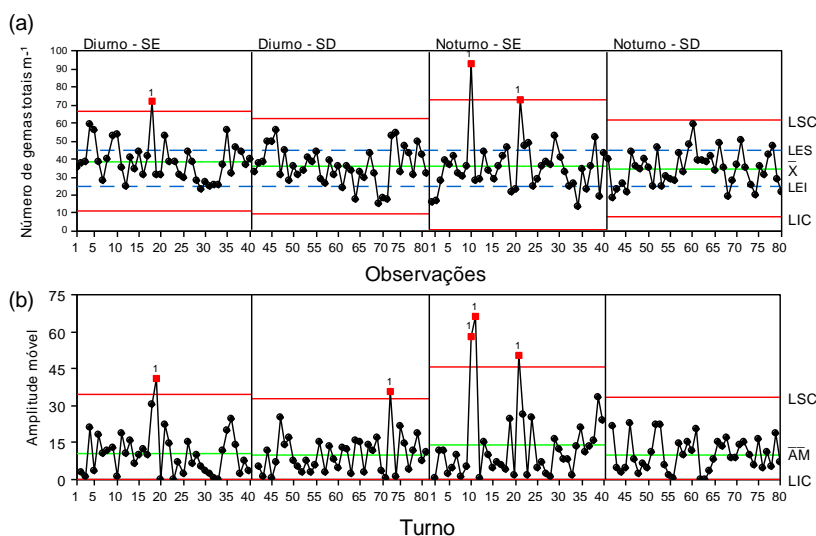


FIGURA 29. Cartas de controle para o número de gemas totais distribuídas pela plantadora na operação no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. SD: Sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média dos valores individuais. \bar{AM} : Média da amplitude móvel.

De maneira análoga à situação exposta para o número de rebolos, alguns dos pontos acima dos limites de controle constatados para o número de gemas totais para o sulco esquerdo, tanto no período diurno quanto noturno da operação, são os mesmos para as duas variáveis, sendo para as cartas de valores individuais e de amplitude móvel no período diurno (observações nº 10 e 21), apresentando padrão não aleatório (Tabela 14) de tendência devido às sequenciais de pontos crescente e decrescente (sulco esquerdo) retratando a variação de causas não comuns existente no processo. Para o período noturno (observações nº 10, 21 e 10,11 e 21), respectivamente. Este fato pode ser explicado em virtude do número total de gemas m^{-1} ser influenciado diretamente pela quantidade de rebolos

distribuída nos sulcos de plantio, pois essas variáveis possuem certa correlação (CEBIM, 2007), portanto, potenciais aumentos da distribuição de rebolos poderão influenciar a quantidade total de gemas nos sulcos de plantio.

Observa-se ainda que os limites específicos (LES e LEI), de modo geral, possuem a maior concentração de pontos dentro de suas especificações para o turno diurno, com aproximadamente 73,8% e, para o noturno 65,0% dos pontos, havendo diferença de aproximadamente 8% dos pontos fora dos limites específicos entre os turnos, o que retrata a diminuição da qualidade da operação noturna devido à quantidade maior de pontos fora das especificações. Vieira (2011) relatou que, no sistema Meiose de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, realizado com distribuidora de mudas, com espaçamento de plantio de 1,50 m entre fileiras foi utilizada a quantidade total média de 25 gemas m^{-1} nos sulcos de plantio, sendo este valor inferior ao valor médio encontrado no presente trabalho.

Segundo Orgeron et al. (2007) a qualidade do plantio de cana-de-açúcar com mudas provenientes da colheita mecanizada, pode ser reduzida devido à quantidade de gemas alocadas nos sulcos de plantio, não havendo resposta significativa na produtividade, podendo esta situação ocorrer para o presente trabalho se o monitoramento contínuo do plantio não for realizado criteriosamente, pois existem alguns valores acima do LES.

A variabilidade decorrente da operação para esta variável, de maneira geral, é maior para o período noturno da operação em relação ao período diurno, considerando esta que, potencialmente, indica que neste turno de operação o processo tenha acentuada diminuição da qualidade. Deve ser ressaltado ainda que, esta análise dos LES e LEI inferior nas cartas de controle não possui total precisão sobre a capacidade do processo, sendo somente uma maneira de apresentar o comportamento do conjunto de dados ao longo do processo. Montgomery (2004) relata que a análise de capacidade deve ser realizada com bases em outros padrões estatísticos para haver maior precisão e compreensão da magnitude do processo.

Para o número de gemas viáveis m^{-1} nas cartas de valores individuais (Figura 30a) observa-se que para os períodos diurno e noturno da operação, nos sulcos direito e esquerdo, respectivamente, (ambos apresentaram padrões de causas não assinaláveis de tendência, podendo ser verificado nas Tabelas 14 e 15,

respectivamente), com pontos que extrapolaram o limite superior de controle, com exceção do sulco esquerdo no período diurno, sendo também refletida na elevada variabilidade entre as observações situação esta que implica a não estabilidade do processo para as cartas de amplitudes móveis (Figura 30b).

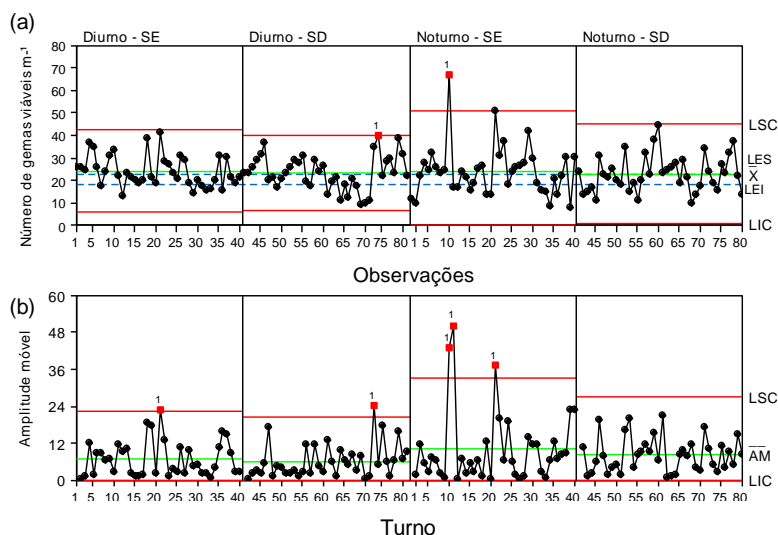


FIGURA 30. Cartas de controle para o número de gemas viáveis distribuídas pela plantadora na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. SD: sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. LES: Limite específico superior. LEI: Limite específico inferior. \bar{X} : Média dos valores individuais. \overline{AM} : Média da amplitude móvel.

Por outro lado, para o período diurno da operação o sulco esquerdo de plantio apresentou apenas um ponto acima do limite de controle superior na carta de variação do processo, o que determina o processo instável devido à grande variabilidade entre as observações nº 20 e 21, nas cartas de valores individuais, sendo também constatado padrão de agrupamento dos pontos quando os mesmos se concentram próximos à média e ao LEI. Apenas no turno noturno da operação, somente para o sulco direito, o processo se manteve dentro dos limites de controle (LSC e LIC), confirmando que o processo está sob controle.

Zhang, Ou e Mou (2009) realizando testes por meio de modelagem dos divisores de linhas de cana-de-açúcar na colheita mecanizada, relataram que a inclinação dos colmos a serem levantados por este sistema não deve ser inferior a

15º para não haver danos aos colmos e, conseqüentemente, nas gemas o que acarretaria na diminuição da sua viabilidade, a serem levantados e direcionados ao mecanismo de corte, podendo influenciar o desenvolvimento inicial da cultura. Outros autores também descreveram mais detalhadamente sobre o tema (SONG et al. 2010; SONG, OU e LIU 2011; XIE, OU e LIU 2011).

De maneira geral o período noturno da operação de plantio mecanizado apresentou maior variabilidade para o número de gemas viáveis o que, conseqüentemente, diminui a qualidade, sendo as fontes de variabilidade existentes definidas em função dos chamados fatores “6 M’s” (mão-de-obra, máquina, matéria-prima, método, medição e meio ambiente). A possível explicação para esse aumento da variabilidade é devido ao fator máquina que provavelmente afetou negativamente (por meio dos danos causados às gemas) o número de gemas viáveis, devido à colheita mecanizada de mudas, sendo associados também aos demais danos e/ou atritos causados pelo carregamento e transporte das mudas até área de plantio, apesar das observações serem em maior quantidade acima dos limites específicos de controle.

Lai et al. (2011) estudaram simulações de irregularidades do terreno no momento da colheita mecanizada e relataram que, quanto maior a frequência de vibração da máquina, maiores são os impactos causados às gemas da cana-de-açúcar no mecanismo de corte basal o que, posteriormente acelera sua deterioração. Situação esta que, de certa forma, pode vir a explicar os pontos que extrapolaram os limites de controle no presente trabalho, uma vez que no período noturno de operação a variabilidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar é maior (NORONHA, 2011).

O indicador de qualidade porcentagem de gemas viáveis apresentou estabilidade do processo somente para o sulco esquerdo no período diurno da operação (Figura 31a e 31b), fato este explicado pelo elevado valor do desvio padrão retratando elevada dispersão dos valores. Houve também, para ambos os sulcos neste período da operação a verificação do padrão de agrupamento (Tabela 14), sendo evidenciado pela proximidade das observações nas cartas de valores individuais e somente para o sulco direito foi diagnosticado não aleatoriedade do

processo podendo ser representada pelo padrão de tendência devido aos aumentos e diminuições sucessivas de pontos ao longo da operação.

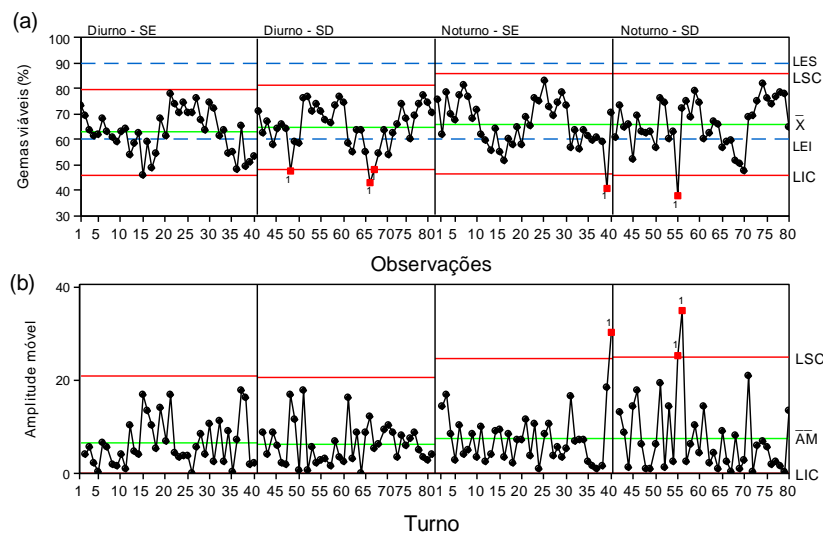


FIGURA 31. Cartas de controle para a porcentagem de gemas viáveis distribuídas pela plantadora na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. SD: sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. LES: Limite específico superior. LEI: Limite específico inferior. \bar{X} : Média dos valores individuais. \bar{AM} : Média da amplitude móvel.

Para o período noturno da operação de plantio o processo foi relatado com a presença de causas especiais extrínsecas ao mesmo, pelos pontos fora do limite inferior de controle para a carta de valores individuais, sendo também observado padrão de agrupamento em ambos os sulcos (Tabela 15), e devido à elevada magnitude de variação destes valores, a carta de amplitude móvel do processo também foi comprometida pela instabilidade.

De acordo com Lai et al. (2009), por meio de simulação, constataram que, para haver menores índices de danos às mudas na colheita mecanizada, é necessário utilizar nova concepção do mecanismo de sustentação do corte basal que proporcione maior qualidade à operação. Os autores ainda relatam que a colheita mecanizada é a maior causa de diminuição da porcentagem de gemas viáveis designadas à operação de plantio de cana-de-açúcar.

Observa-se ainda que todos os pontos fora do limite inferior de controle, tanto para as cartas de valores individuais quanto para a de variação do processo (amplitude móvel), possuem proporcionalidade para variável número de gemas viáveis e, conseqüentemente, seus menores valores influenciam a porcentagem de gemas viáveis, fato este comprovado pela maior variabilidade encontrada no período noturno da operação (Figura 32b). Esta variação também pode ser associada à colheita mecanizada de mudas em função do desgaste das facas de corte do mecanismo basal, oscilações do terreno, inabilidade do operador em controlar a máquina, pouca visibilidade do operador da colhedora durante a operação, bem como ao carregamento e transporte das mudas até área de plantio.

Mou et al. (2012) estudando os danos causados às mudas de cana-de-açúcar no momento de ação do mecanismo dos extratores das colhedoras por meio de fotografias de alta velocidade, relataram que os resultados dos modelos avaliados comprovam a existência de danificações à planta em função do teor de água das folhas e, quanto menor este teor mais fácil é a separação folha-planta, podendo causar, conseqüentemente, maiores danos às gemas por elas ficarem desprotegidas e de maneira inversa a maior quantidade de folhas pode atrapalhar a brotação.

Lin et al. (2012) estudaram técnicas de controle e automação com base na engenharia das colhedoras de cana-de-açúcar e propuseram novo sistema de despalha de modo a retirar o excesso de palhas, para uma potencial melhor condições de brotação das gemas, com o cuidado de evitar ao máximo a diminuição da porcentagem das gemas viáveis provenientes da colheita. Os autores relatam que, quanto menores os danos à gemas no momento da colheita, maior poderá ser a qualidade do canavial, pois, o ciclo de operações de envolvem o plantio também acarreta em diminuição da porcentagem de gemas até a disposição das mesmas nos sulcos de plantio.

Para o consumo de mudas $Mg\ ha^{-1}$ o processo pode ser considerado como estável somente para o sulco direito da operação no período noturno (Figura 32a), podendo ser explicado em função dos menores valores de variação das observações encontrados ao longo do tempo, indicando a concentração ao redor da média.

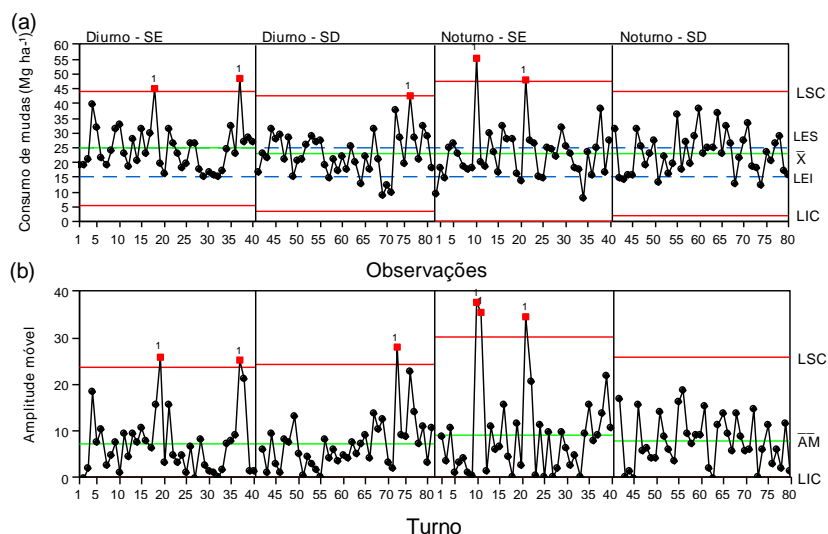


FIGURA 32. Cartas de controle para consumo de mudas no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. SD: sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média dos valores individuais. \overline{AM} : Média da amplitude móvel.

De maneira análoga à variável número de rebolos m^{-1} o consumo de mudas segue certa proporção em função do mesmo, sendo os mesmos pontos fora do limite superior de controle para ambas as cartas. Nota-se ainda que a variabilidade para o período diurno da operação (sulcos esquerdo e direito) foi muito próxima (Figura 32b), sendo também semelhante à do sulco direito no período noturno. A diferença de variação entre os sulcos esquerdo e direito durante o turno da noite pode ser explicada em virtude de as observações nº 10 e 21 encontradas no sulco esquerdo na carta de valores individuais, terem apresentado valores elevados, o que, conseqüentemente, aumentou a variação dos valores, sendo refletida na instabilidade observada na carta de controle para a amplitude móvel.

Realizando simulações sobre logística e gerenciamento do plantio e da colheita de mudas, ambos mecanizados, de cana-de-açúcar, Yu, Yang e Ou (2007) descreveram que a predição de eventuais problemas que podem ocorrer durante os ciclos das operações é essencial para evitar a falta de mudas a serem utilizadas durante o plantio, pois o escalonamento de todo maquinário disponível o que influência diretamente na capacidade de campo operacional do plantio mecanizado.

Interpretando estas cartas de controle de outra forma, caso estas duas observações fossem eliminadas ou ainda se elas estivessem abaixo do limite

superior de controle, possivelmente, a variabilidade entre os dois turnos de operação para esta variável, bem como para o número de rebolos m^{-1} e o número total gemas m^{-1} seria aproximadamente semelhantes. Tal proximidade para a variabilidade existente entre estas variáveis em ambos os turnos de avaliação, era esperada uma vez que estas dependem exclusivamente da regulagem fixa da esteira distribuidora de mudas da plantadora (fator máquina) e do controle da esteira pelo operador na cabine da plantadora (fator mão-de-obra).

Salassi, Breaux e Hoy (2004) estudaram o plantio mecanizado e semi-mecanizado de cana-de-açúcar, por meio de rebolos e cana inteira, respectivamente, no estado da Louisiana, EUA, e relataram que o volume de rebolos utilizados, pode chegar a ser até quatro vezes maior em relação à utilização da cana inteira, o que, certamente, é um fator impactante nos custos de produção. Esta situação pode ser associada ao presente trabalho, no qual o consumo de mudas no plantio foi elevado, situando-se bem acima dos valores apresentados como adequados por Campanelli (2013) para o sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar na região de Bebedouro, SP, em que, o consumo médio de mudas foi $15 t ha^{-1}$.

Para o número de perfilhos aos 30 DAP, para o período diurno da operação foram detectados padrões de agrupamento e tendência (Tabela 14), sendo o primeiro visualizado pela proximidade dos pontos próximos ao limite inferior de controle e o segundo devido aos elevados valores encontrados nas observações nº 26 a 40 e 24 a 40 para os sulcos esquerdo e direito, respectivamente (Figura 33a). Por outro lado, no período noturno somente para o sulco direito foram detectados padrões de mistura e oscilação dos valores (Tabela 15), podendo ser explicados pela concentração de pontos abaixo e acima da média, bem como pela oscilação entre a mesma.

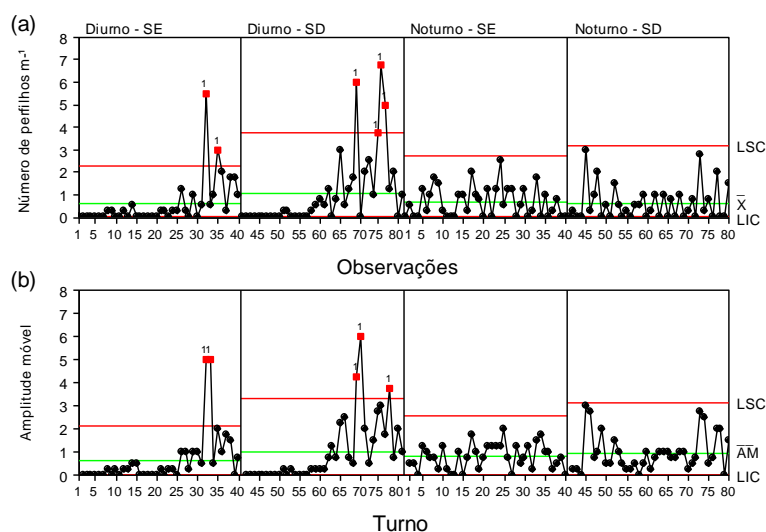


FIGURA 33. Cartas de controle para o número de perfilhos aos 30 (DAP) no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. SD: sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel.

LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média dos valores individuais. \bar{AM} : Média da amplitude móvel.

Tais padrões encontrados no período diurno de plantio podem ter influenciado o processo, a ser considerado como instável para ambos os sulcos de plantio. Esta instabilidade do processo pode ser explicada em função da elevada variabilidade do teor de água do solo e temperatura ambiental, quantidade de fertilizantes distribuídos na área de plantio e a qualidade intrínseca das mudas utilizadas, relacionando-se aos fatores meio-ambiente, máquina, mão-de-obra e matéria-prima.

Outra consideração que pode ser feita é que a abertura dos sulcos em “V” (base estreita) pode ter sido um fator potencial para o atraso da brotação, devido à acomodação das mudas nos sulcos de plantio, conforme descrito por Casagrandi (1991). Porém, em contraste com a situação Johnson, Viator e Richard Jr. (2011) estudaram diferentes maneiras de disposições dos rebolos, em relação às gemas, dentro dos sulcos de plantio no estado da Louisiana, EUA, e descreveram que não houve reduções significativas na produtividade para a variedade LCP 85-384 avaliada.

Apesar de, no período noturno, da operação terem sido detectados padrões de não aleatoriedade, para o sulco direito, a operação de plantio tanto deste sulco quanto o esquerdo foram diagnosticados como estáveis, com todos os valores

dentro dos limites superior e inferior de controle, tanto para as cartas de valores individuais quanto para as de amplitudes móveis (Figura 33a e 33b).

O número de perfilhos aos 60 DAP apresentou padrões de agrupamento, para ambos os sulcos, e tendência, somente para o sulco direito, podendo ser observado pela concentração de pontos próximos ao limite inferior de controle e pelos sucessivos aumentos e diminuições desta variável (observações nº 65 a 80) (Figura 34a) para o turno diurno (Tabela 14). Para o sulco esquerdo no período noturno foi diagnosticado padrão de tendência, podendo ser observado nas sequências de sucessivos aumentos diminuições do número de perfilhos ao longo das observações (Tabela 15).

O processo foi considerado como instável e estável para os períodos diurno e noturno, para ambos os sulcos, respectivamente, tanto para as cartas de controle para valores individuais quanto para as de amplitude móvel (Figura 34a e 34b), independentemente do valor padrão de não aleatoriedade encontrado para o sulco esquerdo de plantio.

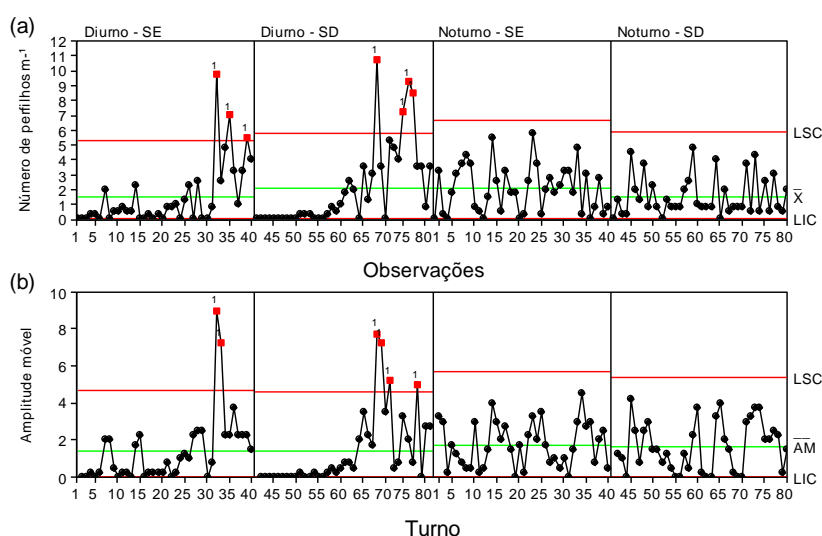


FIGURA 34. Cartas de controle para o número de perfilhos aos 60 (DAP) no plantio mecanizado de cana-de-açúcar (a) Carta de valores individuais. SD: sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média dos valores individuais. \bar{AM} : Média da amplitude móvel.

Este fato intensifica a ideia de que nem sempre quando ocorre a detecção de padrão de não-aleatoriedade durante o processo, o mesmo venha a ser instável,

sendo o inverso também verdadeiro, fortalecendo o argumento de que os gráficos sequenciais são melhores interpretados quando associados às cartas de controle, pois, juntos, proporcionam melhor magnitude das ocorrências de variações intrínsecas e extrínsecas ao processo como um todo.

Observa-se ainda que, em comparação com o perfilhamento aos 30 DAP, ocorre pequeno incremento na média geral no número de perfilhos nos dois períodos de operação, condição esta que ainda é incipiente quando comparada ao plantio realizado em época mais chuvosa do ano (Figura 2). Portanto, o não aumento acentuado do número de perfilhos tonou-se limitado pela condição climática imposta na área, que no caso se refere à baixa temperatura média e a quantidade de chuva, sendo que este último fator pode interferir diretamente no teor de água no solo, no referido período.

O indicador de qualidade número de perfilhos aos 90 DAP apresentou padrões de agrupamento, em ambos os sulcos de plantio, e tendência somente para o sulco direito para o período diurno (Tabela 14) da operação, enquanto que, para o turno da noite, foram verificados padrões de mistura e oscilação (Tabela 15), somente para o sulco esquerdo de plantio (Figura 35a).

De maneira análoga ao registrado para o perfilhamento aos 30 e 60 DAP, o perfilhamento aos 90 DAP também apresentou, em ambos os sulcos, instabilidade do processo para o período diurno e estabilidade do mesmo para o período noturno tanto nas cartas de controle (Figura 35a e 35b). Nota-se ainda que ocorreu o aumento da média do número de perfilhos, em relação às demais épocas de avaliações já comentadas, sendo comprovada essa ideia também pelo aumento da variabilidade entre os períodos de diurno e noturno no decorrer do tempo.

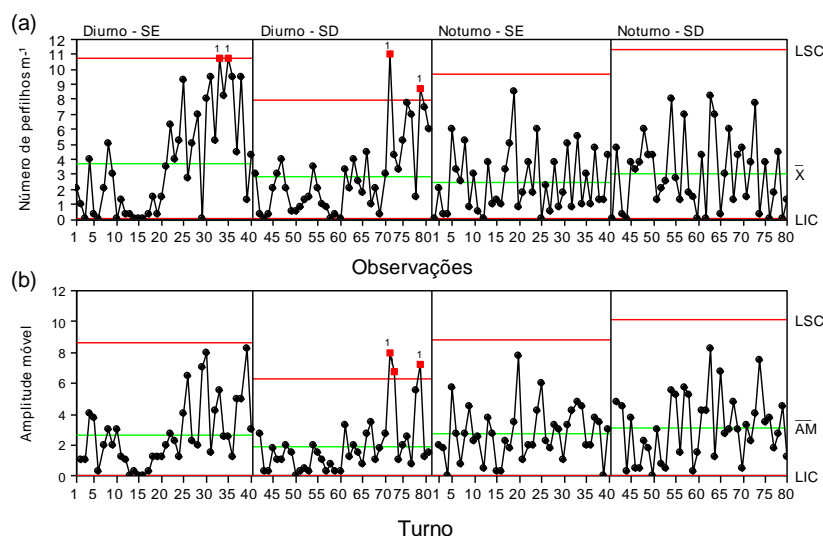


FIGURA 35. Cartas de controle o número de perfilhos aos 90 (DAP) no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. SD: sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média dos valores individuais. \bar{AM} : Média da amplitude móvel.

Apesar do incremento da precipitação (Figura 2) durante as épocas de avaliação, o incremento no número de perfilhos ainda não foi substancial, o que pode estar associado ao fator meio ambiente, principalmente, devido à queda de temperatura ocorrida, o que pode ter influenciado na brotação da cana-de-açúcar. Segundo Donaldson et al. (2008) a cana-de-açúcar sofre um fenômeno na qual há uma desaceleração do crescimento e/ou perfilhamento em virtude da diminuição da temperatura e do teor de água do solo, persistindo no período outono-inverno, e o crescimento volta a ser acelerado quando as condições climáticas se tornam propícias. Situação esta que pode retratar a condição do presente trabalho, pois durante o período de avaliação potencialmente este fenômeno tenha ocorrido e, portanto o monitoramento por um maior período de tempo é necessário para haver maior precisão na estimativa do perfilhamento da área. Van Heerden et al. (2010) relataram que o estudo sobre este comportamento fisiológico da cana-de-açúcar é extremamente complexo e que pesquisas visando melhorar ou amenizar tal efeito são necessárias.

Para o perfilhamento aos 120 DAP foi detectado padrão de agrupamento, em determinadas concentrações de pontos para os sulcos esquerdo e direito de plantio,

podendo ser observado pela análise das cartas de valores individuais para o período diurno e noturno da operação (Tabela 14 e 15), respectivamente (Figura 36a).

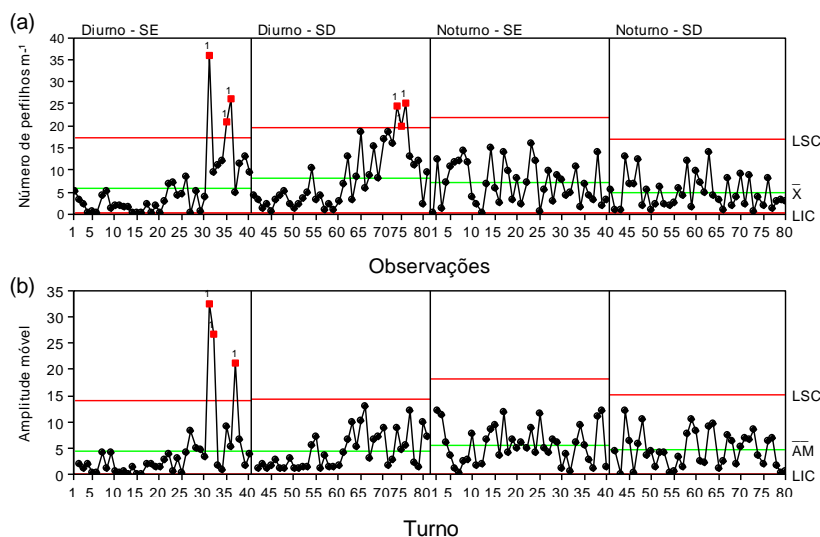


FIGURA 36. Cartas de controle para o número de perfilhos aos 120 (DAP) no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. SD: sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel.

LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média dos valores individuais. \bar{AM} : Média da amplitude móvel.

De maneira análoga à análise do comportamento do processo para o perfilhamento aos 30, 60 e 90 DAP, o perfilhamento aos 120 DAP também apresentou instabilidade do processo para o período diurno, em ambos os sulcos de plantio, e estabilidade para o período noturno da operação para os sulcos esquerdo e direito, em ambas as cartas de controle (Figura 36a e 36b), sendo que a média do número de perfilhos encontrada nesta avaliação possui mínima diferença do valor encontrado para o perfilhamento aos 90 DAP, mas que por outro lado houve maior variabilidade encontrada tanto para a carta de valores individuais (em função do desvio padrão) como para as de amplitude móvel (variação pontual do processo), sendo indicativo de que há desenvolvimento gradativo e limitado dos perfilhos, pelas condições climáticas precipitação e temperatura, de maneira não homogênea na área.

Analisando a variável perfilhamento ao longo do tempo, nos períodos de operação, pode-se também refletir sobre a condição do gerenciamento da operação,

pois na época em que foi realizado o plantio, era uma transição verão para outono, na qual, o regime de chuva e a temperatura já se encontravam em declínio e, portanto, os gerenciadores poderiam ter utilizado como possíveis ações para melhorar o máximo possível o desenvolvimento da cultura, e poderiam ter utilizado pré-plantio torta de filtro ou composto orgânico, de modo que estes dois resíduos agregassem nutrientes e, principalmente, conseguissem ajudar na retenção de água, o que possivelmente favoreceria a brotação, soluções estas que, entretanto, não foram utilizadas. Outra possível opção seria fazer uso de vinhaça na área como fonte alternativa de água e nutrientes, dando suporte auxiliar ao desenvolvimento da brotação da cana-de-açúcar.

Outra possível explicação para a concentração de pontos concentradas próximos a zero para o perfilhamento aos 30, 60, 90 e 120 DAP nas observações de nº 1 a 10 e 40 a 50, para o período diurno da operação nos sulcos esquerdo e direito, pode ser dada em função do excesso do tráfego de máquinas naquela parte da área amostral, em virtude da construção da curva de nível, o que provavelmente, aumentou a compactação do solo uma vez que o preparo para o plantio mecanizado não foi realizado após a colheita da soja. Este fato, conseqüentemente associado às demais condições já discutidas, é mais um fator que poder ter influenciado o perfilhamento nestes sulcos de plantio, fato este que também pode ser observado nas cartas de controle para as falhas aos 90 e 120 DAP, evidências estas que não são constatadas para o período noturno da operação. Segundo Usaborisut e Niyamapa (2010) a compactação do solo em áreas canavieiras é maior com o aumento do número de passadas das máquinas no mesmo local e isso, conseqüentemente, afeta o perfilhamento inicial e a produtividade final do canavial.

Levando-se ainda em conta o aspecto da compactação do solo, que possui correlação com o teor de água do solo, Kumar, Saini e Bhatnagar (2012) relataram incrementos na produtividade quando a camada compactada é rompida por meio de subsolagem, simples ou cruzada, previamente ao plantio mecanizado de cana-de-açúcar.

Para a quantificação das falhas na brotação aos 90 DAP houve padrões de agrupamento e tendência para o sulco esquerdo, e mistura e tendência para o sulco direito de plantio, para o período diurno da operação (Tabela 14). Para o sulco o

agrupamento foi constatado pela maior concentração de pontos acima da média e pela sucessão de pontos próximos à observação nº 40; a tendência foi detectada em função do contraste de pontos acima e abaixo da média e pelos sucessivos pontos diminuindo e aumentando próximo à observação nº 75 (Figura 37a). Já para o turno da noite somente o sulco esquerdo apresentou padrões de mistura e oscilação ao redor da mediana central (Tabela 15).

Observa-se também a instabilidade do processo verificada, de maneira geral, para o período diurno da operação. Em contrapartida, o período noturno, também de maneira geral, apresentou o processo sob controle. Porém, os valores dos desvios padrão são maiores, o que amplia a área de atuação dos limites de controle, sendo a maior variabilidade também encontrada neste turno de operação (Figura 37a e 37b).

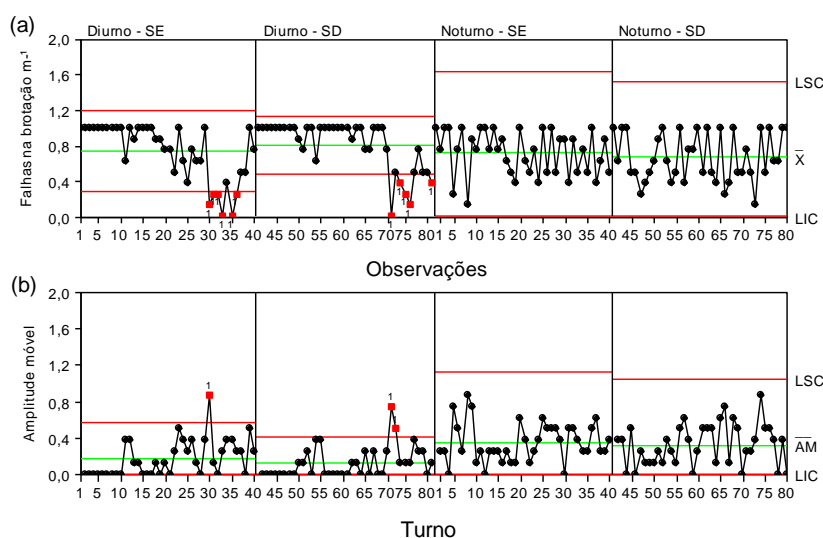


FIGURA 37. Cartas de controle para as falhas da brotação aos 90 (DAP) no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. SD: Sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média dos valores individuais. \overline{AM} : Média da amplitude móvel.

Bramley (2009) fazendo relatos sobre agricultura de precisão nos últimos anos fez perspectivas de futuras melhorias em áreas de produção canavieira, como realização do monitoramento de falhas pós-plantio por meio de imagens aéreas, podem ser utilizadas como meio de uma nova metodologia alternativa para quantificar a qualidade do plantio, para esta variável que influencia a produtividade

final dos canaviais. Neste contexto, Silva et al. (2011) relataram que o uso de imagens aéreas no estado de São Paulo, com foco na agricultura de precisão vem sendo amplamente utilizado, e esta tecnologia pode ser associada à detecção de falhas pós-plantio nos canaviais e ser utilizadas como tomada de decisão para o replantio ou não da área.

As falhas quantificadas aos 120 DAP apresentam padrões de agrupamento e tendência para o período diurno da operação (Tabela 14), para ambos os sulcos de plantio. O agrupamento pode ser verificado pela concentração de pontos acima da linha central ou média e a tendência pela diminuição dos valores de falhas ao longo das observações (Figura 38a e 38b). Este padrão de tendência o pode ser interpretado com um fator positivo à lógica do processo, pois retrata uma situação em que as falhas diminuem na área de plantio em virtude do perfilhamento da cana-de-açúcar, situação esta favorável ao processo.

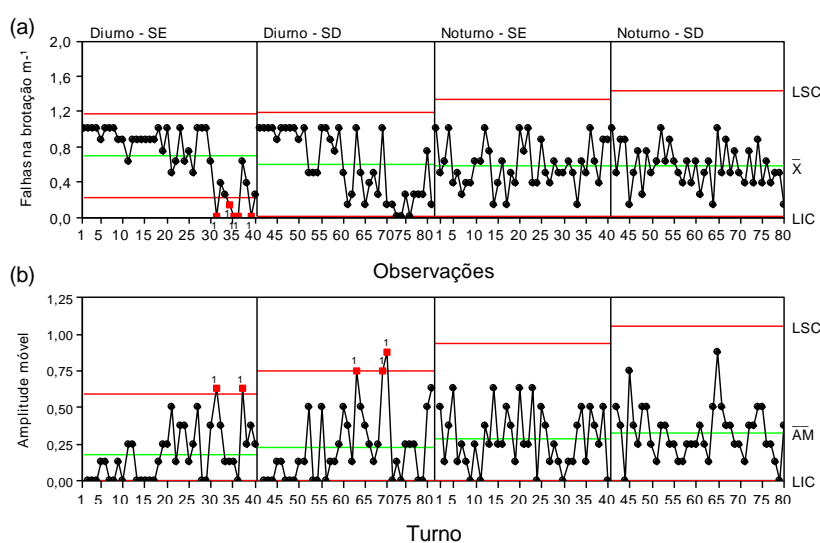


FIGURA 38. Cartas de controle para as falhas da brotação aos 120 (DAP) no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. SD: sulco direito; SE: Sulco esquerdo. (b) Carta de amplitude móvel.

LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média dos valores individuais. \bar{AM} : Média da amplitude móvel.

Neste caso, a presença de padrão de não aleatoriedade (tendência) do processo torna-se interessante devido à interpretação e também do que se espera do mesmo, refletindo como este padrão pode influenciar ou expor uma condição

favorável ao processo, pois as falhas tendem a diminuir, independentemente da instabilidade encontrada para o período diurno da operação.

Apesar de o processo ser considerado sob controle para o período noturno, para ambos os sulcos, o sulco esquerdo apresentou padrão de causas não comuns ao processo somente de oscilação e o direito mistura e oscilação. Tais padrões também podem ser úteis na melhoria do índice de falhas, uma vez que os mesmos possuem alternância acima e abaixo da média e este comportamento pode indicar eventuais diminuições das falhas ao longo das observações. Ressalta-se ainda que, a maior variabilidade da quantificação de falhas é encontrada para o período noturno da operação, sendo esta levemente superior para o sulco direito de plantio, podendo esta explicação ser utilizada para o período diurno em virtude dos atributos químicos e físicos do solo, bem como ao teor de água e características ambientais que prejudicaram a diminuição das falhas.

Conforme relataram Naik et al. (2013) em estudo realizado na Índia, uma solução alternativa aos métodos tradicionais de plantio mecanizado de cana-de-açúcar é a utilização de um sistema semi-mecanizado no qual as mudas são transplantadas (3 a 5 folhas) diretamente no solo preparado, relatando economia (custos e tempos) e qualidade das plantas pós-plantio. Associando tal situação ao presente trabalho, pode-se sugerir que, depois de as falhas serem identificadas e quantificadas por meio de um VANT (veículo aéreo não tripulado), seria interessante utilizar tal sistema de plantio para realizar o replantio, se necessário, nesses locais, como maneira de incrementar a produtividade final.

Tanto para o perfilhamento como para as falhas na brotação os intervalos de tempo avaliados podem ter sido insuficientes para a determinação exata das mesmas, em virtude do aumento das chuvas e da temperatura média nos meses subsequentes, o que, conseqüentemente, pode ter influenciado positivamente na brotação da cana-de-açúcar. Porém, a maneira de como o plantio foi realizado, associado ao estudo do gerenciamento da operação como um todo, sem a utilização de compostos orgânicos, bem como vinhaça (fertiirrigação), pode também ter afetado estas variáveis nos meses iniciais após o plantio mecanizado. Portanto, as avaliações realizadas nesse período foram escolhidas em virtude da operação do

plantio mecanizado com um todo e não em longo prazo, pois à medida que o tempo passa existe riscos de mais fatores externos afetarem o desenvolvimento da cultura.

2.3 Capabilidade do processo de plantio mecanizado de cana-de-açúcar

Os indicadores de qualidade na operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, utilizados para a realização da análise da capabilidade do processo foram definidos em virtude destes atenderem a suposição de distribuição normal de probabilidade do conjunto de dados (Figura 39). Em função do teste de densidade de probabilidade proposto por Anderson-Darling, pode-se afirmar que os indicadores de qualidade número de rebolos, número total de gemas, número de gemas viáveis, porcentagem de gemas viáveis m^{-1} e o consumo de mudas ($Mg\ ha^{-1}$) para os períodos diurno e noturno da operação seguem distribuição normal de probabilidade em um intervalo de confiança de $p = 0,95$.

Observa-se ainda que, em ambos os turno de operação, o número de gemas totais e o número de rebolo m^{-1} possuem os maiores e os menores desvios padrão, situação esta que indica elevada e moderada dispersão para o primeiro e o segundo indicadores de qualidade, respectivamente. Pode-se ressaltar ainda que, o número de gemas viáveis e a porcentagem de gemas viáveis m^{-1} para o período noturno apresentou maiores valores em relação ao desvio padrão verificado no turno diurno, fato este que, se analisado desta maneira, pode indicar maior variabilidade do período noturno, em virtude de o plantio mecanizado de cana-de-açúcar apresentar elevadas fontes de variação intrínsecas (variedades apta à colheita e ao plantio mecanizado, número de gemas rebolo⁻¹, dentre outros) e extrínsecas ao processo (mão-de-obra, meio ambiente, colheita, transporte de mudas, carregamento, frequência e método de monitoramento do processo, dentre outros).

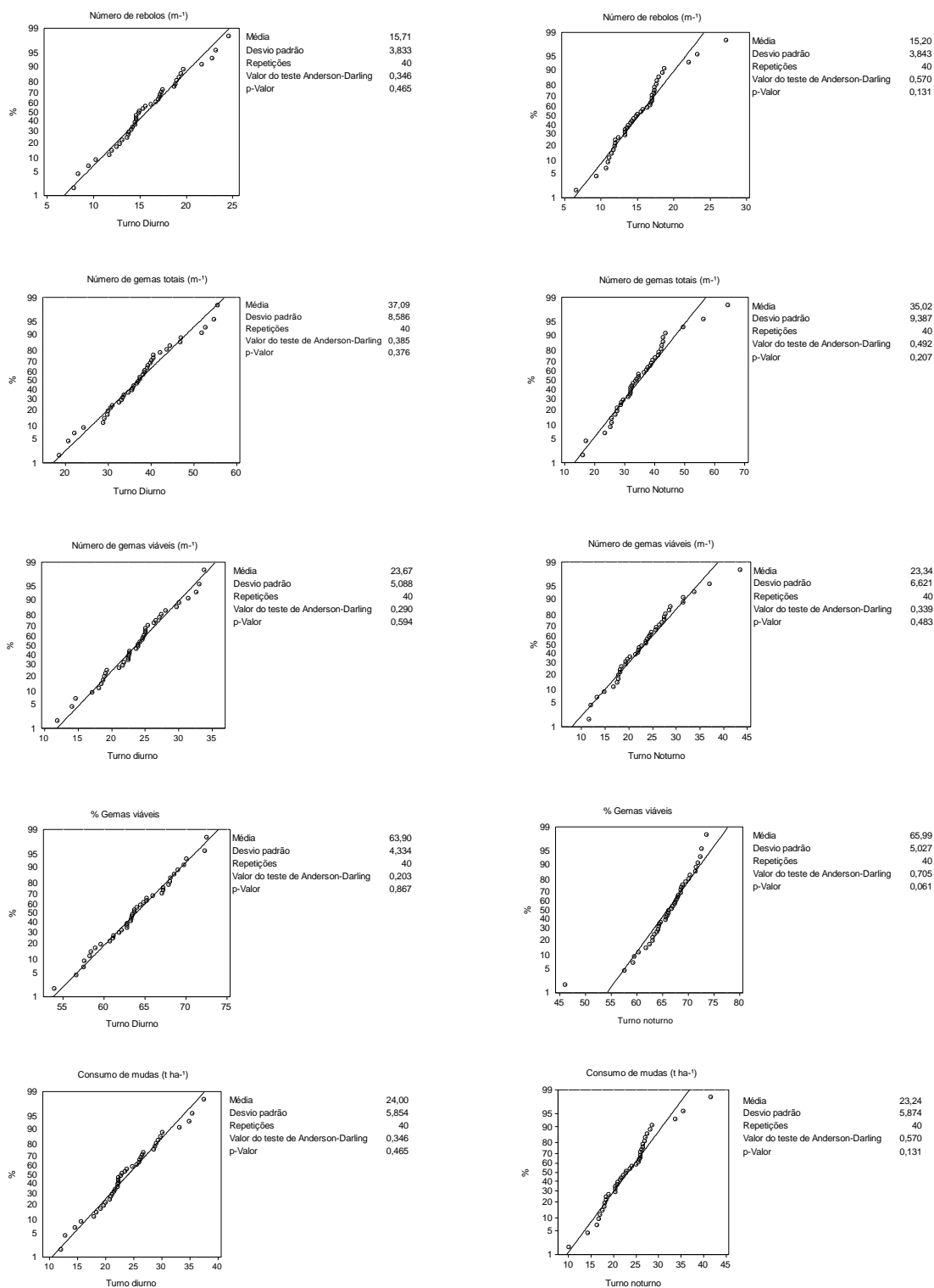


FIGURA 39. Gráficos de distribuição normal de probabilidade ($p > 0,05$) e parâmetros da estatística descritiva para a operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em função dos turnos de operação.

Bakir (2012) relata que, para que a análise da capacidade do processo tenha a melhor precisão possível, os conjuntos de dados devem apresentar a distribuição normal de seus valores. Para maiores informações sobre estudos de normalidade para a utilização das demais ferramentas do controle estatístico consultar Chakraborti (2006) e Zhou e Tsung (2010).

Na Figura 40a e 40b, verifica-se as cartas de controle para os valores individuais e de amplitude móvel, respectivamente, para o número médio de rebolos em que se verifica a estabilidade do processo para os turnos diurno e noturno da operação.

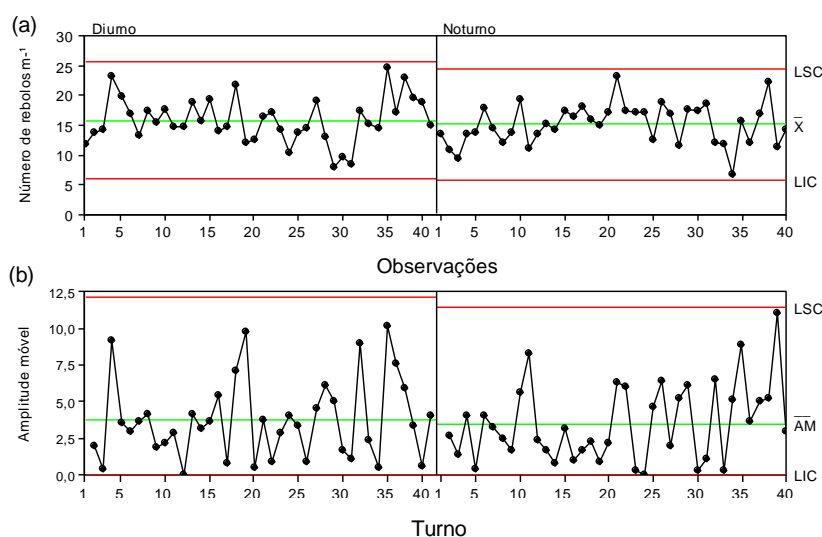


FIGURA 40. Cartas de controle para o número médio de rebolos no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel.

LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média dos valores individuais. \overline{AM} : Média da amplitude móvel.

Tal estabilidade é condizente uma vez que todas as observações situaram-se dentro dos limites inferior e superior de controle, para ambas as cartas, não sendo detectado nenhum dos quatro tipos de erros avaliados, havendo, portanto apenas causas naturais atuando no decorrer do processo. Observa-se ainda que, a maior variabilidade deste indicador de qualidade é encontrada de maneira não substancial para o período diurno.

Para o indicador de qualidade número médio de gemas totais, o processo encontra-se dentro dos limites superior e inferior de controle, ou seja, é denominado com estável, tanto para a carta de valores individuais quanto para a de amplitudes móveis, para ambos os turnos de operação (Figura 41a e 41b).

A presença de causas aleatórias verificada pode ser descrita com um indicativo de que os valores e/ou observações alternaram em torno da média por meio de causas comuns de variabilidade intrínsecas ao processo. Em relação à variação do processo (Figura 41b), o maior valor ocorre para o turno noturno da operação, opostamente a encontrada para o indicador de qualidade número médio de rebolos.

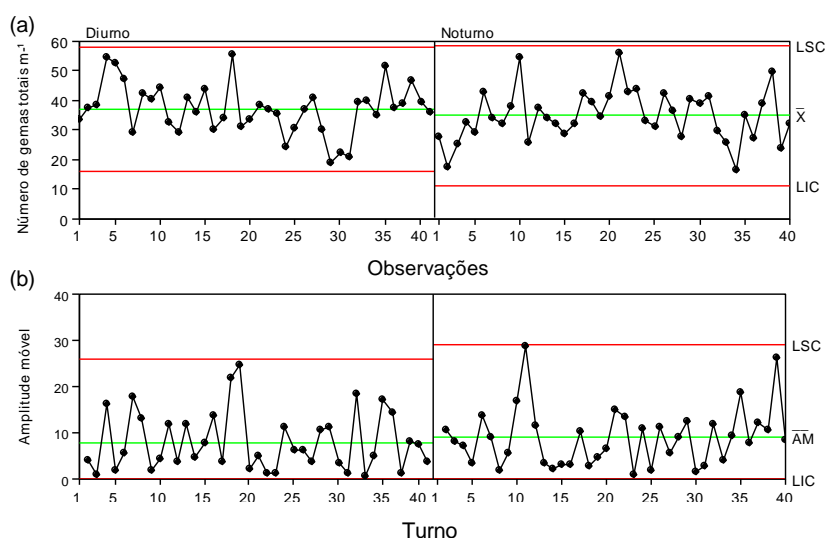


FIGURA 41. Cartas de controle para o número médio de gemas totais na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel.

LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média dos valores individuais. \bar{AM} : Média da amplitude móvel.

Para o número médio de gemas viáveis foi detectado somente a presença de causas assinaláveis que são comuns ao processo no decorrer do tempo, com as observações não variando afastadas da média geral e da média da amplitude móvel (Figura 42a e 42b), respectivamente.

Nota-se ainda que, de maneira análoga ao número médio de gemas totais, este indicador de qualidade também apresentou a maior variabilidade da operação no período noturno.

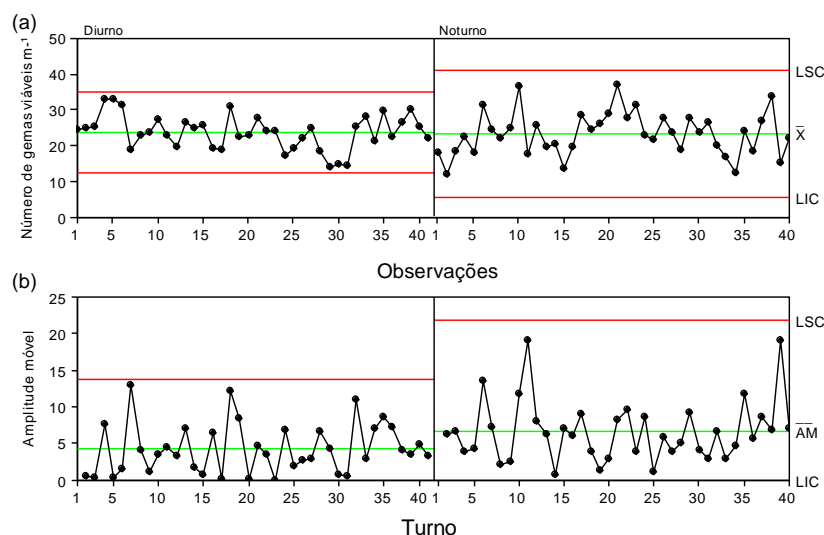


FIGURA 42. Cartas de controle para o número médio de gemas viáveis no plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel.
LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média dos valores individuais. \overline{AM} : Média da amplitude móvel.

Para o valor médio da porcentagem de gemas viáveis, não foi detectado a presença de causas especiais extrínsecas ao processo, devido à variabilidade comum intrínseca ao mesmo, sendo evidenciada pelas cartas de valores individuais e de amplitudes móveis (Figura 43a e 43b), respectivamente.

Tal variabilidade comum atribuída a este indicador de qualidade é maior para o período diurno em relação ao noturno (Figura 43a), devido aos maiores valores dos desvios padrão calculados, indicando, nesta situação, maior dispersão dos valores, refletindo então em maiores afastamentos dos limites superior e inferior de controle da carta de valores individuais em relação à média geral.

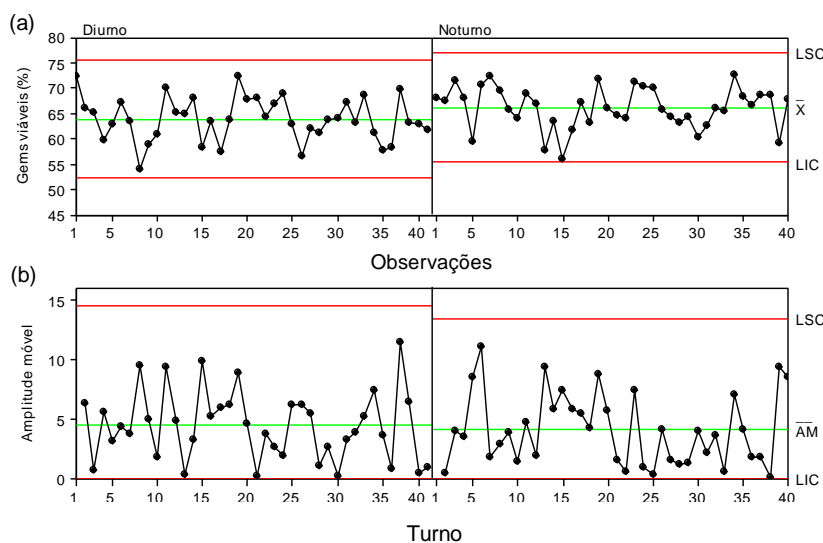


FIGURA 43. Cartas de controle para o valor médio da % de gemas viáveis na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel.

LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média dos valores individuais. \bar{AM} : Média da amplitude móvel.

Ressalta-se ainda que, a variação dos dados em relação aos limites de controle da carta de valores individuais é calculada em função do desvio padrão da média e que, portanto, se somente utilizarmos esse parâmetro de afirmação para a real variabilidade do processo estaríamos incorrendo em erros na interpretação destes resultados o que, conseqüentemente, prejudicaria no momento da tomada de decisão gerencial. Então a solução é sempre utilizar e interpretar as cartas de amplitude móveis, pois seus desvios são calculados em função da média do somatório das diferenças das observações individuais, tornando-se assim uma medida mais precisa.

Para o indicador de qualidade consumo de mudas, em ambos os turnos de operação, o mesmo apresentou somente variação de naturezas comuns ou aleatórias para as cartas de valores individuais e de amplitude móvel (Figura 44a e 44b), respectivamente, observando-se ainda uma suave variação dos limites de controle, em ambas as cartas, sendo maior para o período diurno da operação.

De maneira geral, estes indicadores de qualidade possuem alternância entre a maior e a menor variabilidade em decorrência dos turnos diurno e noturno da operação. Entretanto, tais alternâncias podem, de certa maneira, influenciar o

processo e fazer com que diminua seu nível de qualidade pré-determinado, mesmo que de maneira sucinta.

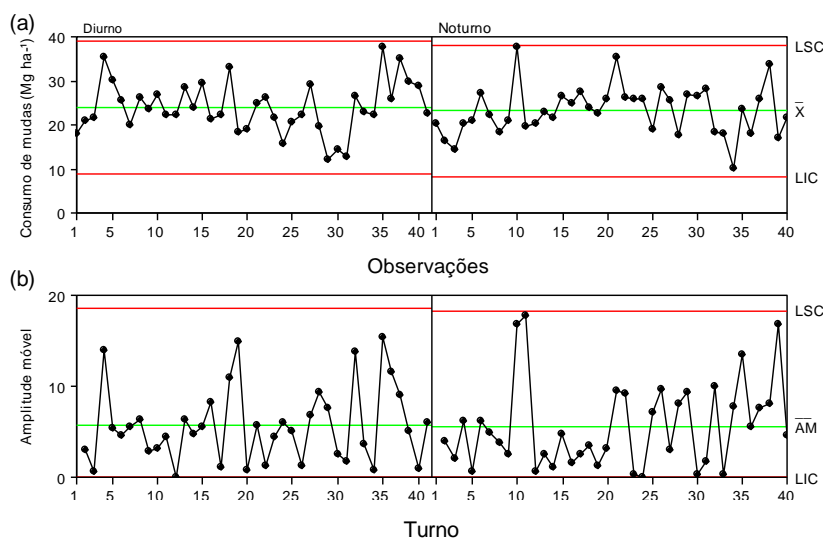


FIGURA 44. Cartas de controle para o número médio do consumo de mudas na operação do plantio mecanizado de cana-de-açúcar. (a) Carta de valores individuais. (b) Carta de amplitude móvel. LSC: Limite superior de controle. LIC: Limite inferior de controle. \bar{X} : Média dos valores individuais. \bar{AM} : Média da amplitude móvel.

A solução para eventuais aumentos da qualidade e também para que o processo possa produzir em itens ou produtos em larga escala, de maneira a não deixar de atender as especificações, o monitoramento é essencial em virtude de aumentar o número de amostras em intervalo mais longos e/ou diminuindo o tempo de avaliação das variáveis e realizando, assim, maior número de amostras em menor período de tempo.

Toledo (2008) estudando a qualidade da operação da semeadura mecanizada de amendoim na região de Jaboticabal, SP, fez uso das cartas de controle na qual algumas delas foram consideradas estáveis ou indicando que o processo é previsível para compor a posterior análise da capacidade do processo.

Como ferramenta adicional às regras ou requisitos determinados para a realização da análise de capacidade do processo, utilizou também os valores padrões detectados pelos gráficos sequenciais, sendo que com seu auxílio pode-se tomar maiores cuidados na interpretação dos resultados ao longo do tempo, bem como obter um diagnóstico do processo com maior eficácia e precisão (Tabela 16).

TABELA 16. Valores padrões de probabilidade dos gráficos sequenciais para os indicadores de qualidade para análise da capacidade do processo.

| Indicadores de qualidade | Turno | Padrões | | | |
|---|---------|--------------------|--------------------|--------------------|--------------------|
| | | A** | M | T | O |
| Número de rebolos m ⁻¹ | Diurno | 0,10 ^{ns} | 0,90 ^{ns} | 0,18 ^{ns} | 0,81 ^{ns} |
| | Noturno | 0,02* | 0,97 ^{ns} | 0,18 ^{ns} | 0,81 ^{ns} |
| Número total de gemas m ⁻¹ | Diurno | 0,26 ^{ns} | 0,73 ^{ns} | 0,18 ^{ns} | 0,81 ^{ns} |
| | Noturno | 0,10 ^{ns} | 0,90 ^{ns} | 0,44 ^{ns} | 0,55 ^{ns} |
| Número de gemas viáveis m ⁻¹ | Diurno | 0,17 ^{ns} | 0,82 ^{ns} | 0,04* | 0,95 ^{ns} |
| | Noturno | 0,10 ^{ns} | 0,90 ^{ns} | 0,73 ^{ns} | 0,26 ^{ns} |
| Gemas viáveis (%) | Diurno | 0,01* | 0,98 ^{ns} | 0,10 ^{ns} | 0,90 ^{ns} |
| | Noturno | 0,02* | 0,97 ^{ns} | 0,18 ^{ns} | 0,81 ^{ns} |
| Consumo de mudas (Mg ha ⁻¹) | Diurno | 0,10 ^{ns} | 0,90 ^{ns} | 0,18 ^{ns} | 0,81 ^{ns} |
| | Noturno | 0,26 ^{ns} | 0,73 ^{ns} | 0,18 ^{ns} | 0,81 ^{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 $p > 0,05$.

Para o número total de gemas e o consumo de mudas, em ambos os turnos de operação, e para o número de rebolos no período diurno e número de gemas viáveis no período noturno, não foram detectados padrões de não-aleatoriedade decorrentes do processo, indicando somente a presença de causas comuns de variação. Observa-se ainda que, para todas as variáveis não foi detectado nenhum padrão de oscilação, situação esta que indica dispersão dos valores, moderadamente acima e abaixo da média.

Entretanto, a porcentagem de gemas viáveis, em ambos os turnos de operação, e o número de rebolos no período noturno, apresentou padrão de agrupamento, enquanto que o número de gemas viáveis para o turno diurno apresentou padrão de tendência dos valores ao longo do processo analisado. Depois de evidenciada a presença de padrões de natureza não aleatória ocorrendo no decorrer do processo, situações estas, que de fato, podem futuramente levar o mesmo a se tornar instável, não que isto exatamente irá acontecer, extrapolando os limites superior e inferior de controle das cartas de valores individuais, podendo refletir também na variação do processo (carta de amplitude móvel).

No entanto, o monitoramento contínuo e melhoria do processo quando necessárias são as melhores soluções para evitar incorrer em tais situações delicadas. Estes padrões aqui apresentados não foram considerados como forte fator de variação do processo que poderia prejudicá-lo. No entanto, após discussão em grupo com os funcionários da unidade produtora, os mesmos foram então desconsiderados para maiores detalhamento do processo de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, pois, caso contrário, se estes padrões estivessem influenciando negativamente a operação, poderia não ser realizada análise da capacidade do processo.

Em resumo, os indicadores de qualidade número de rebolos, número total de gemas, número de gemas viáveis, porcentagem de gemas viáveis m^{-1} e o consumo de mudas $Mg\ ha^{-1}$ para os períodos diurno e noturno da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, atenderam à todas observações estarem dentro dos limites superior e inferior de controle para as cartas de valores individuais e também para as cartas de amplitudes móveis.

Portanto, em função dessas duas análises (distribuição normal de probabilidade e cartas de controle), foi realizada a determinação da capacidade do processo, verificando se a operação é ou não capaz de manter os itens de produção do plantio mecanizado de cana-de-açúcar, dentro dos LES e LEI a curto e em longo prazo.

2.3.1 Análise da capacidade potencial e geral do plantio mecanizado de cana-de-açúcar

Os indicadores de qualidade velocidade de trabalho, rotação, pressão do óleo e temperatura da água do motor, erro de alinhamento do trator, consumo horário e efetivo de combustível e a capacidade de campo efetiva, bem como o perfilhamento aos 30, 60, 90 e 120 DAP, e ainda as falhas aos 90 e 120 DAP, 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 $Dp_{\text{potencial}} = \text{desvio padrão potencial}$ e que $Dp_{\text{geral}} = \text{desvio padrão geral}$.

Para o indicador de qualidade número de rebolos m^{-1} no período diurno da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, o considerável afastamento das curvas de distribuição potencial e geral, pode indicar que o processo não está centrado na meta, sendo evidenciado pela diferença existente entre o índice Cp (índice de capacidade potencial) e os índices Cpk (índice de capacidade potencial mínimo) e Cpm (índice de capacidade em relação à meta) (Figura 45).

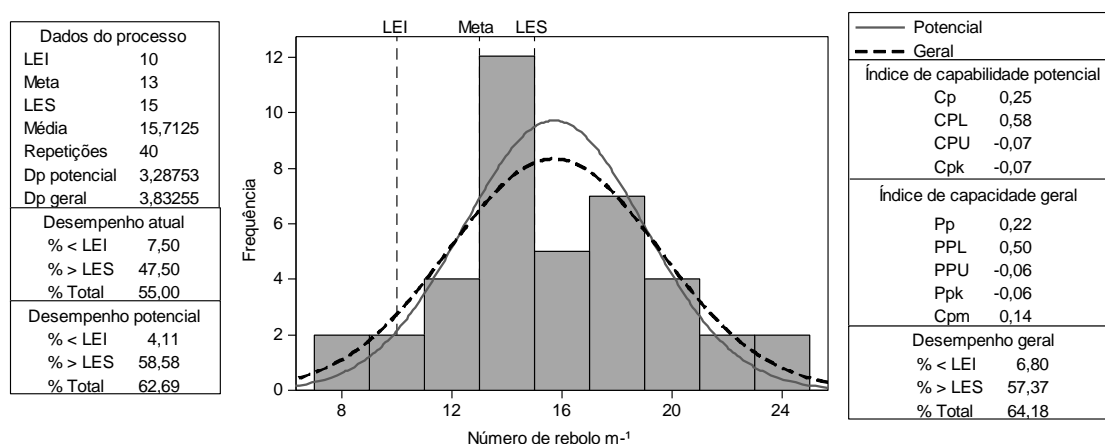


FIGURA 45. Análise da capacidade do processo para o número de rebolos m^{-1} para o período diurno no plantio mecanizado de cana-de-açúcar.

Pode-se observar ainda, pelo desempenho atual do processo que houve a produção de itens ou observações fora dos limites especificados (LES e LEI) refletindo que apenas 45% dos valores atendem aos limites das especificações. Entretanto, os índices de capacidade (Cp) e (Cpk e Cpm) 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 Cp e Cpm (0,25 e 0,14, respectivamente), podem ser considerados próximos entre si, porém, o valor de Cpk (-0,07) é inferior, sendo confirmada a descentralização de todo o processo, bem como sua incapacidade. Este valor Cpk negativo é um indicativo de que a média geral (15,71) está fora das especificações, ou seja, no presente caso, encontra-se acima do LES.

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 (-0,06) e CPU (-0,07), respectivamente, apresentando ambos os valores negativos, indicando que a média está mais próxima do LES em relação ao LEI, refletindo em índice de capacidade cada vez menor em relação ao lado direito do histograma. Por fim, isso ocorre devido aos índices Ppk e Cpk serem calculados em função deste menor índice como precaução há queremos utilizar somente os melhores valores (SAMOHYL, 2009).

Por outro lado, o desempenho geral do processo produz 64,18% 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 62,69% de observações fora das especificações (valor também elevado), não sendo, portanto, totalmente viável a investigação sobre estas causas.

De maneira análoga o que ocorreu para o período diurno, ocorreu também para o período noturno do plantio mecanizado de cana-de-açúcar também para a variável número de rebolos m^{-1} . Assim, o processo é considerado incapaz para atender às especificações tanto a longo Pp (0,24) quanto a curto prazo Cp (0,28), (independentemente da proximidade do índice Cpm), devido à descentralização do processo, evidenciada pelo afastamentos destes índices em relação ao menor valor do índice Cpk (Figura 46).

Em relação ao desempenho atual, o processo produz 50% dos itens fora dos limites de especificação, sendo a previsão determinada pela análise do desempenho geral de 56,03%. Assim, se eliminarmos do processo as variações não comuns à redução do percentual de itens fora das especificações não terá substanciais alterações (52,74%).

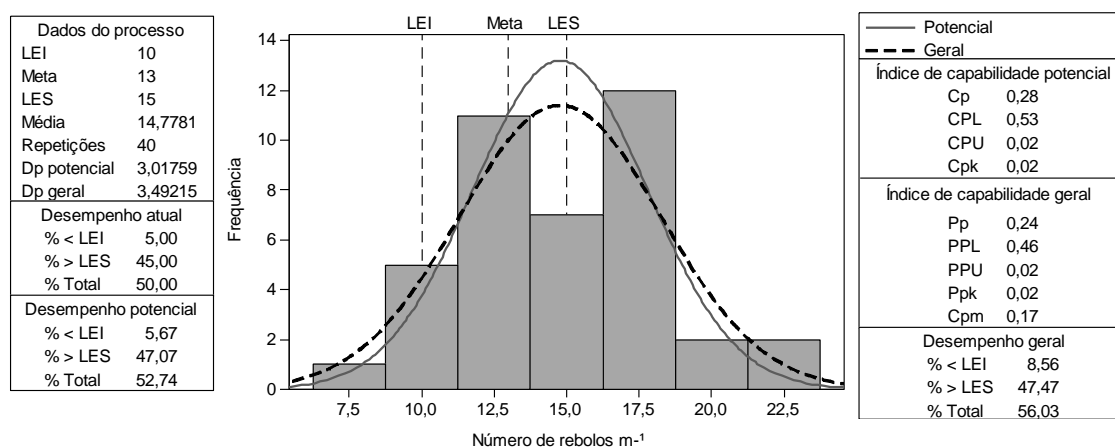


FIGURA 46. Análise da capacidade do processo para o número de rebolos m^{-1} para o período noturno no plantio mecanizado de cana-de-açúcar.

Gonçalez e Werner (2009) relataram a essencialidade da distribuição normal para a determinação na capacidade do processo para a produção de itens conformes, pois, se a mesma não for normal o processo pode se subestimado não retratando a real situação e, caso a análise queira ser realizada, medidas de transformações dos dados tem que ser realizadas. Para maiores informações sobre o efeito da não-normalidade para a análise da capacidade do processo consultar Somerville e Montgomery (1996) e Abbasi (2009).

Para o número total de gemas m^{-1} no período diurno da operação, 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 (independentemente da proximidade dos índices Cpm e Cpk) (Figura 47).

Pela verificação do desempenho geral do processo constata-se que 25,81% da distribuição 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 pode atingir até 82,54% das observações dentro dos limites específicos de acordo com o desempenho potencial do processo, situação esta que pode não torná-lo capaz de atender os limites de especificação. Por outro lado, 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.

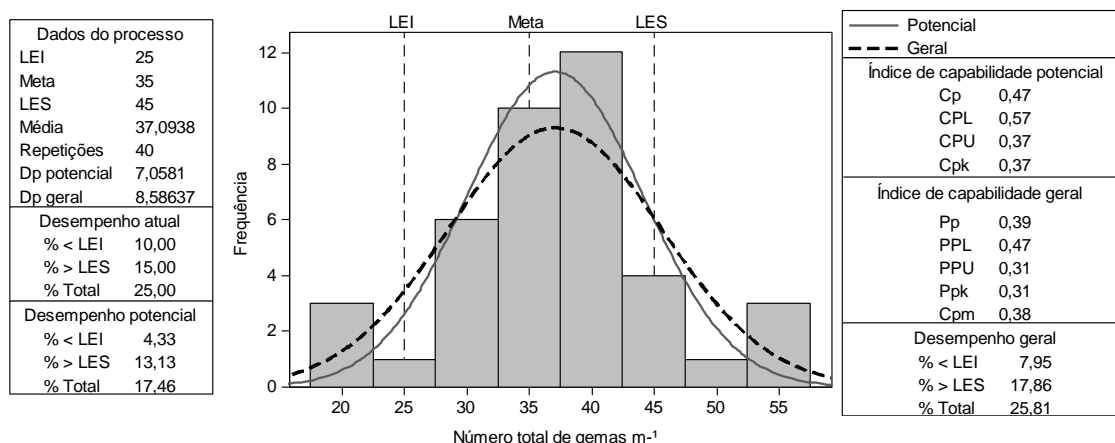


FIGURA 47. Análise da capacidade do processo para o número total de gemas m^{-1} para o período diurno no plantio mecanizado de cana-de-açúcar.

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, independentemente da centralização do processo na meta. 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 realizada para que o processo se torne capaz, situação esta bem diferente da encontrada para o presente trabalho.

Pela análise da Figura 48, constata-se que, o valor do índice de capacidade potencial, no caso, Cp é levemente superior em relação ao índice Cpk, situação esta que, pela proximidade destes valores com o Cpm (0,38), o processo pode ser considerado como centralizado na meta pretendida. No entanto, estes índices continuam inferiores a 1,33 o que retrata, que o processo é incapaz de produzir resultados satisfatórios, seguindo as especificações desejadas. 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 isolado estes valores não dizem nada sobre a média entre as especificações (MONTGOMERY, 2004).

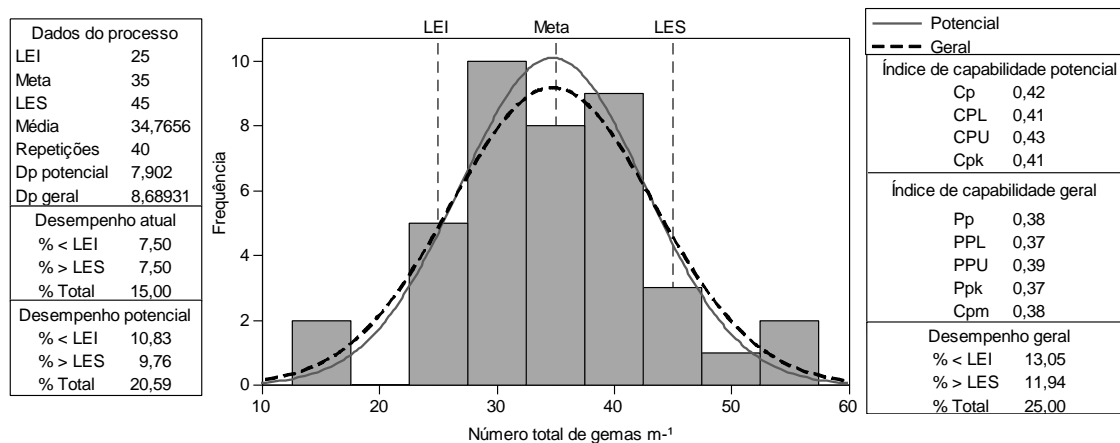


FIGURA 48. Análise da capacidade do processo para o número total de gemas m^{-1} para o período noturno no plantio mecanizado de cana-de-açúcar.

Nota-se ainda que, o desempenho do processo somente com causa de variação aleatória apresenta 20,59% (com 10,83% abaixo do LEI e 9,76% acima do LES) fora dos limites especificados. Portanto, a tomada de decisão para diagnosticar e eliminar as causas especiais decorrentes do processo que atuam com 25,00% dos itens fora das especificações deve ser criteriosa, podendo esta investigação não ser totalmente viável economicamente para esta variável no decorrer da operação.

Por meio das maneiras de como as curvas de distribuição geral e potencial se comportam, é possível identificar a descentralização do processo em relação à meta determinada para o número de gemas viáveis m^{-1} no período diurno da operação, sendo este fato também confirmado pelo afastamento dos índices Cp (0,21) e Cpk (-0,06), bem como pelo valor calculado para o índice Cpm (0,11). Desta forma o processo é determinado como incapaz de produzir resultados a curto (Cp 0,21) e longo (Pp 0,16) prazos, o que possivelmente é explicado pelo elevado valor do desempenho atual fora das especificações (65,00%) (Figura 49).

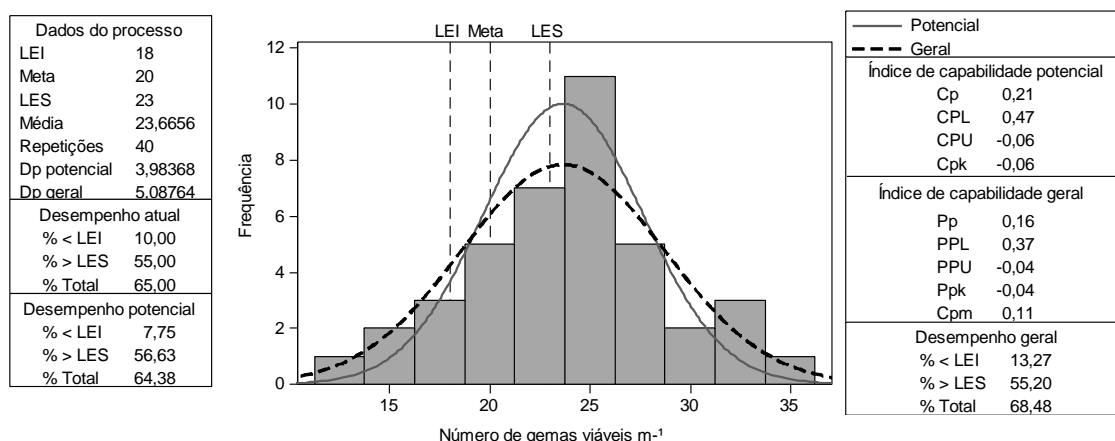


FIGURA 49. Análise da capacidade do processo para o número de gemas viáveis m^{-1} para o período diurno no plantio mecanizado de cana-de-açúcar.

Pela análise do desempenho atual do processo, verifica-se que 55,00% das observações se encontra acima do LES, fato este que pode ter influenciado no deslocamento da média do processo acima deste limite, o que pode ser comprovado pelo Cpk (-0,06) e Ppk (-0,04) negativos e também pela relação capacidade potencial e geral em relação aos limites superiores CPU (-0,06) e PPU (-0,04), respectivamente.

O desempenho geral do processo indica que apenas 31,52% dos itens produzidos são decorrentes da aleatoriedade natural e não natural do processo entre os limites de especificação e quando se faz a mesma comparação para o desempenho potencial, no qual só se considera a existência de causas naturais decorrentes da operação, o mesmo apresenta 35,62% dentro dos limites de especificação, sendo a eliminação das causas naturais potencialmente inviáveis economicamente.

Hosseinifard et al. (2009) constataram que, quanto maior a proximidade dos valores entre a meta estimada e a real (maior acurácia), menor é a variabilidade do processo diagnosticada em relação ao desvio padrão das observações (maior precisão), sendo essa interpretação importante forma de estimar a real capacidade do processo. Para o presente trabalho, caso a meta estimada fosse próxima à média geral (real) o processo teria maior potencial de manter sua capacidade.

Para o período noturno, o número de gemas viáveis m^{-1} , 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 (0,14), Pp (0,14) e Cpm (0,10) (Figura 50). 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.

Os baixos valores de Cpk e Ppk podem ser indicativo de que o processo está centrado, mas existe uma variabilidade ocorrendo além da faixa dos limites de especificação (Cpk e Ppk negativo, representam a média maior que o LES para o índice capacidade mínimo potencial e geral, respectivamente), podendo ser demonstrado pelos valores mais elevados do desempenho geral do processo, na qual, existem 70,40% das observações com influências de causas especiais e aleatórias. Esta situação representa que mesmo se estes valores possuírem distribuição normal e o processo ser estável, existirá intensa 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.

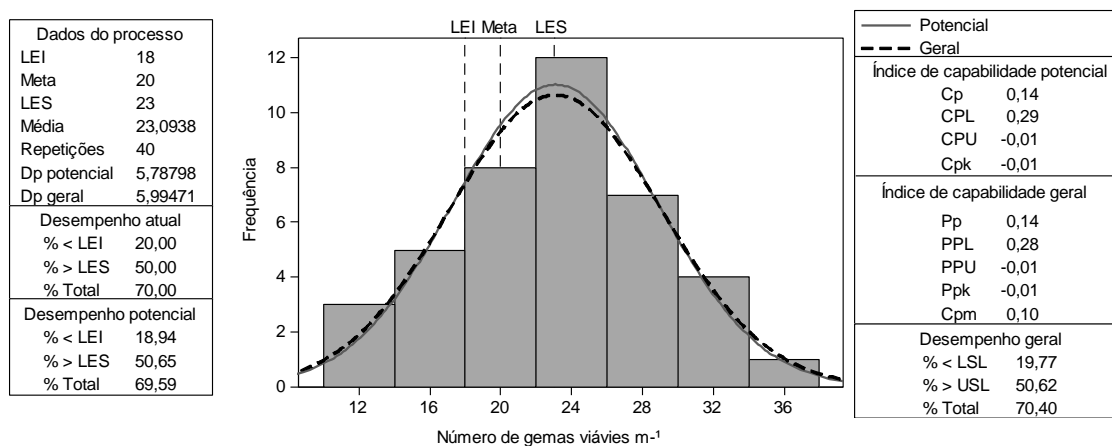


FIGURA 50. Análise da capacidade do processo para o número de gemas viáveis (m^{-1}) para o período noturno no plantio mecanizado de cana-de-açúcar.

Toledo (2008) estudando a análise de capacidade em função do desempenho das operações agrícolas na semeadura de amendoim relatou situação semelhante à do presente trabalho, na qual, o autor descreveu que 100% das observações do

processo estão acima do LES inviabilizando o mesmo de se tornar capaz em longo prazo.

No período diurno da operação, a capacidade do processo em função da porcentagem de gemas viáveis apresenta-se potencialmente capaz a atender aos limites de especificações a curto e em longo prazo. Porém, para que isso ocorra, devem ser eliminadas as fontes de variação externas ao processo (causas especiais) representadas pelo desempenho geral, e monitorar continuamente o processo para minimizar os 15,99% das causas de variação naturais do processo, melhorando assim o índice Com, pois, caso contrário, o mesmo ainda será constatado como incapaz (Figura 51).

Nota-se ainda que, a média está mais próxima ao LES, podendo ser observada pelos desempenhos geral (CPL) e potencial do processo (PPL), sendo o cálculo do índice Cpk e Ppk baseado nestes valores, respectivamente. O fato de o valor do índice Cp e Pp não terem atingindo o valor 1,33, pode ser decorrente da existência de 20% das observações do processo se localizarem abaixo do LEI (desempenho atual), indicando variação além do mesmo pelo baixo valor do Cpk (0,33) e Ppk (0,30) em relação ao Cp (1,27) e Pp (1,15), respectivamente. Ressalta-se ainda que, em virtude de Cpk ser menor que o Cp existe indicação de menor variação do processo em relação à faixa dos limites de especificação, porém a distribuição não pode ser considerada centrada na meta.

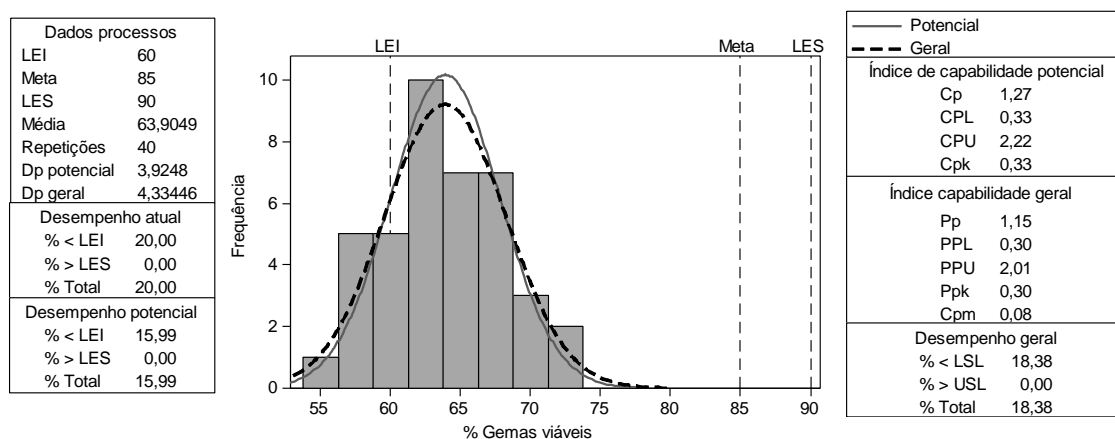


FIGURA 51. Análise da capacidade do processo para a porcentagem de gemas viáveis m^{-1} para o período diurno no plantio mecanizado de cana-de-açúcar.

Garza-Reyes et al. (2010), por meio de análise geral de medidas de determinados equipamentos na linha industrial, com base no índice de capacidade do processo, desenvolveram um índice de relação Cp/Cpk na qual chegaram a um valor mínimo para que o processo atenda aos limites de especificação, com plena capacidade de atender o mesmo a curto e a longo prazos. Para estes autores, quanto maior for à relação Cp/Cpk, melhor será o desempenho do processo. Tal situação pode ser associada ao presente trabalho, pois se um índice desta magnitude fosse criado, poderia melhorar substancialmente a qualidade do processo, por meio da rigorosidade do controle de qualidade para se atingir à meta estabelecida.

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 Cp e Pp são elevados podendo retratar menor variação entre os limites de especificação (distribuição com centralização mais próxima do LEI e não na meta), sendo que a associação destes dois fatores determinam que o processo é incapaz de atender aos resultados esperados, entre os limites de especificação em longo prazo ($P_p < 1,33$), mas que possivelmente atenderá a curto prazo ($C_p > 1,33$) para a porcentagem de gemas viáveis no período noturno da operação (Figura 52).

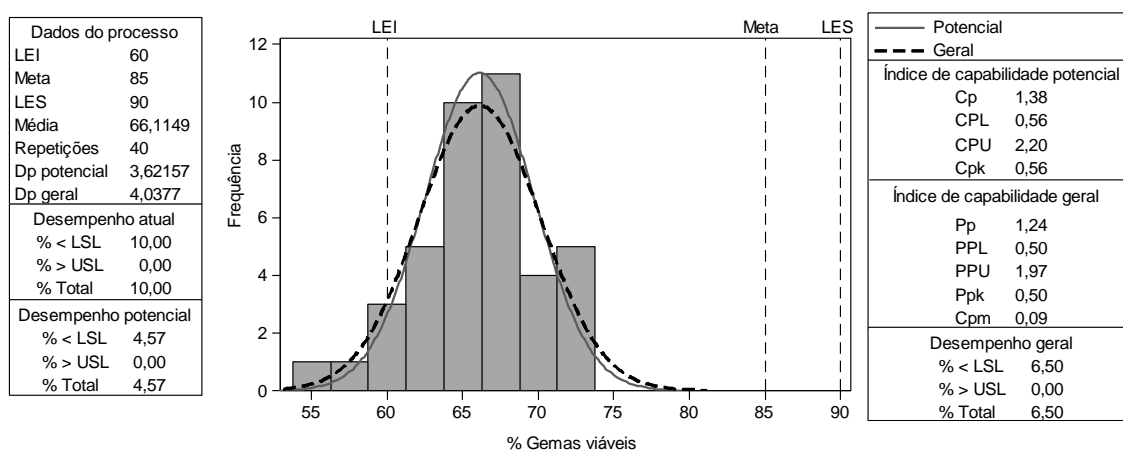


FIGURA 52. Análise da capacidade do processo para a porcentagem de gemas viáveis m^{-1} para o período noturno no plantio mecanizado de cana-de-açúcar.

Conforme relatado por Reis (2009), a análise da capacidade do processo para as perdas decorrentes da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em função dos

tipos de preparo do solo, apresentaram índices de capacidade menores que o valor mínimo requerido (1,33) demonstrando a incapacidade do processo em atender às especificações tanto em curto quanto em longo prazo. Em contraste com esta situação, a operação avaliada neste trabalho, tem potencial para atingir os limites de especificação em curto prazo e, se melhorias forem realizada para se diminuir ainda mais as fontes de variabilidade extrínsecas ao processo, o mesmo pode vir a atingir a demanda em longo prazo o que é essencial para o gerenciamento desta atividade.

A análise do desempenho potencial do processo, evidencia que se houver a eliminação das causas especiais, em relação aos fatores “6 M's” que aumentam a variabilidade do processo, e que conseqüentemente reduzem sua qualidade, restarão somente 4,57% de causas aleatórias atuando no processo, situação esta em que se pode recomendar o monitoramento mais assíduo do processo para livrá-lo destas variações melhorando-se, assim, o índice de capacidade potencial e geral do processo.

A capacidade do processo para o consumo de mudas (Mg ha^{-1}) no período diurno da operação foi determinada como incapaz tanto a curto com em longo prazo, devido aos índices de capacidade C_p (0,40), P_p (0,34), C_{pk} (0,07), P_{pk} (0,06) e C_{pm} (0,26) situarem-se distantes um do outro 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 53), sendo a média geral mais próxima do LES.

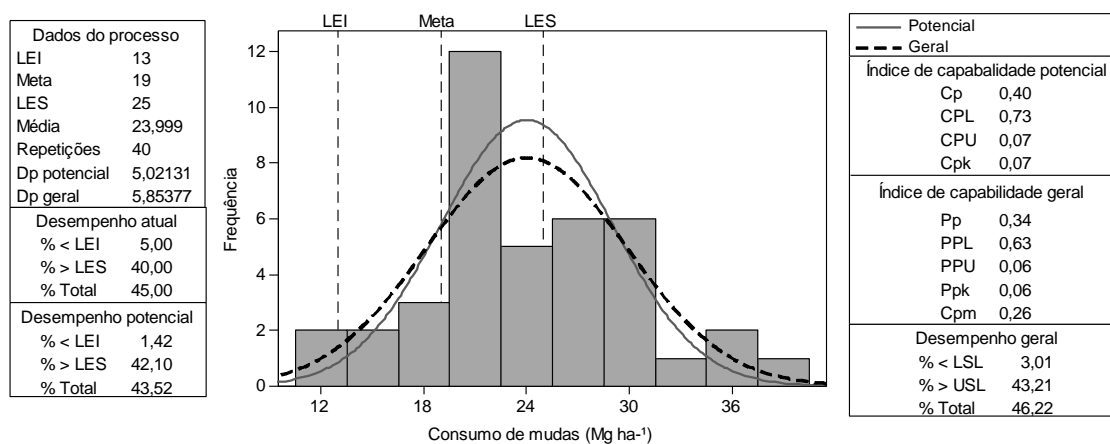


FIGURA 53. Análise da capacidade do processo para o consumo de mudas t ha^{-1} para o período diurno no plantio mecanizado de cana-de-açúcar.

Pelo valor total do desempenho geral (46,22%), constata-se que o processo produz essa quantidade de observações não conformes, por um período longo de tempo e também em curto prazo (desempenho potencial). Esse resultado representa que, tomando-se como base de cálculo a meta especificada (19 Mg ha⁻¹), aproximadamente 8,78 Mg ha⁻¹ de mudas de cana-de-açúcar estão fora das especificações mínimas requeridas (LES e LEI) sendo que 43,21% deste valor encontram-se acima do LES, ou seja, representando um consumo excessivo de mudas em relação ao padrão de qualidade ou limite de tolerância exigido pela unidade produtora. Para tal situação não é recomendável a eliminação das causas especiais decorrentes do processo e sim readequá-lo como um todo, redefinindo níveis, metas, treinamento de funcionários e padrões de qualidade e, a partir de então monitorá-lo frequentemente para que o processo se torne capaz.

De acordo com Sindhe e Katikar (2012) o uso do controle estatístico de processo para monitoramento e, conseqüentemente, elaboração de um plano de melhoria para aumentar a qualidade dos itens produzidos, são fatores essenciais para que as empresas diminuam seus custos de produção em virtude da menor produção de itens defeituosos. Levando em consideração o presente trabalho, o consumo de mudas possui relação com o custo de produção para o plantio mecanizado e se tal excesso for eliminado, maior poderá ser o retorno financeiro da atividade.

Por outro lado, no período noturno da operação, o consumo de mudas (Mg ha⁻¹) foi semelhante ao período diurno, sendo o processo também considerado com incapaz, por meio dos índices de capacidade potencial (Cp, Cpk e Cpm menores que 1,33 e afastados entre si) e pelos índices de capacidade geral (Pp, Ppk e Cpm menores que 1,33 e afastados entre si), de produzir resultados satisfatórios em curto e longo prazo (Cp e Pp, respectivamente), bem como a descentralização do mesmo (Figura 54), retratando elevada variabilidade existente, proporcionado assim uma quantidade de itens produzidos fora dos limites de especificações.

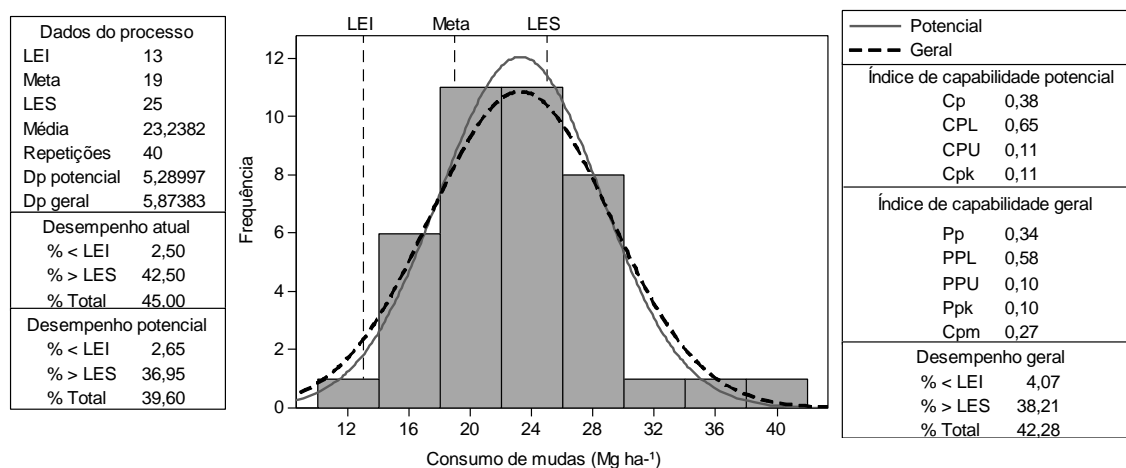


FIGURA 54. Análise da capacidade do processo para o consumo de mudas Mg ha⁻¹ para o período noturno no plantio mecanizado de cana-de-açúcar.

O desempenho atual do processo apresenta que 55,00% das observações foram distribuídas entre seus limites específicos, porém devido às fontes de variação controláveis e não controláveis o processo foi deslocado em maior parte acima do limite específico superior (desempenho atual, geral e potencial do processo), sendo a maior parte distribuição próxima ao LES (CPU e PPU próximos a zero, o que culminou em Cpk e Ppk de menores valores, respectivamente).

De maneira análoga ao período diurno, nesta situação, a readequação e revisão de todo o processo também se torna extremamente necessária para aumentar a qualidade deste indicador de qualidade, pois, apesar de o processo ser estável conforme indicado pelas cartas de controle, em virtude da elevada variabilidade inerente ao processo (desempenho potencial = 39,60%) torna-se difícil que as metas sejam atendidas somente com foco no monitoramento do processo e na redução da variabilidade.

González e Sánchez (2009) buscaram interpretar a capacidade do processo por meio de análise univariada (como no presente trabalho) e multivariada, e relataram que, quando se utiliza meios multivariados de análise de capacidade do processo, pode-se criar um índice para o estudo de cada fator independente da variação do processo com a finalidade de indicar as partes mais críticas do processo. Saghaei Mehrjoo e Amiri (2009) utilizaram técnicas de controle de qualidade, podendo associá-las a capacidade do processo, por meio de gráficos de

controle CUSUM (fase II - multivariados) para a verificação de pequenas variações no processo e relatam que os resultados satisfazem a análise para a produção de itens conformes, mas sendo necessários e viáveis mais estudos sobre o tamanho da amostra e demais bases estatísticas.

Seguindo mesma linha de raciocínio, Chen e Chen (2008) utilizando a lógica fuzzy como meio de inferir sobre métodos multivariados na análise de capacidade do processo para as cores de um monitor STN, obtiveram resultados satisfatórios, afirmando que a utilização de métodos multivariados é viável para a produção de itens satisfatórios em larga escala.

Por outro lado, Hosseinifard e Abbasi (2012) estimaram a capacidade do processo para o monitoramento de vários perfis de itens de produção por meio de métodos lineares de estimação (fase I - univariado) e relataram um bom desempenho dos índices de capacidade, utilizando como base de variação o desvio padrão estimado do grupo de dados. Por fim, Qiu et al. (2010) utilizando técnicas de modelagem estimaram as características de perfis não-paramétricos com embasamento na análise da capacidade do processo, sendo que os mesmos conseguem atender aos limites requeridos quando analisados criteriosamente.

V CONCLUSÕES

A qualidade da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar é influenciada pelos turnos diurno e noturno, sendo maior no período noturno para os indicadores de qualidade relacionados aos aspectos agronômicos da cultura e ao desempenho operacional do conjunto trator-plantadora, exceto para a temperatura da água do motor.

O processo de plantio mecanizado de cana-de-açúcar é considerado estável, no período noturno, quando considerados os indicadores de qualidade rotação do motor, perfilhamento aos 30, 60, 90 e 120 DAP e falhas da brotação aos 90 e 120 DAP.

O processo não é considerado capaz, exceto para o indicador porcentagem de gemas viáveis no período noturno de operação.

A elaboração de um plano de melhorias e de metas a serem atingidas se tornam essenciais para a operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar, quando se deseja aumentar a qualidade das operações bem como produzir e atender itens satisfatórios aos limites de especificações ao longo do tempo.

As médias da temperatura da água do motor e do erro de alinhamento do trator são maiores para o período diurno, enquanto que as demais variáveis não são influenciadas pelos turnos de operação.

O perfilhamento aos 120 e 90 DAP, respectivamente, nos sulcos direito apresentam menores valores para o período noturno.

Existe correlação significativa entre o número de perfilhos com o período de observação, para os turnos diurno e noturno.

VI REFERÊNCIAS

ABBASI, B. A neural network applied to estimate process capability of non-normal processes. **Expert Systems with Applications**, Tarrytown, v. 36, n. 2, p. 3093 – 3100, 2009.

ALFONSI, R. R.; PEDRO JÚNIOR, M. J.; BRUNINI, O.; BARBIERI, V. Condições climáticas para a cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S.B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 42-55.

ALI, Y.; HANNA, M. A.; BORG, J. E. Effect of alternative diesel fuels on heat release curves for Cummins N14-410 diesel engine. **Transaction of ASAE**, St. Joseph, v. 39, n. 2, p. 407- 414, 1996.

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.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS. ASABE. Soil cone penetrometer In: AGRICULTURAL MACHINERY MANAGEMENT. **Data ASABE S313.3: ASABE standards**. St. Joseph, 2006. p. 903-904.

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL AND BIOLOGICAL ENGINEERS (ASABE). **D497.7**. In: AGRICULTURAL MACHINERY MANAGEMENT, **ASABE standards**. St. Joseph, 2011. p. 1-8.

ARGENTON, P. E. **Influências das variáveis edafoclimáticas e de manejo no rendimento de variedades de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) na região de Piracicaba – São Paulo**. 2006. 91 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2006.

BAI, J.; NG, S. Tests for skewness, kurtosis, and normality for time series data. **Journal of Business & Economic Statistics**, Oxford, v. 23, n. 1, p. 49-60, 2005.

BAIO, F. H. R. Evaluation of an auto-guidance system operating on a sugarcane harvester. **Precision Agriculture**, New York, v. 13, n. 1, p. 141-147, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11119-011-9241-6>>.

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

BAKIR, S. T. A nonparametric Shewhart-Type quality control chart for monitoring broad changes in a process distribution. **International Journal of Quality, Statistics and Reliability**, Nasr City, v. 2012, p. 1-10, 2012. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1155/2012/147520>>.

BARBOSA, R. L.; SILVA, F. M.; SALVADOR, N.; VOLPATO, C. E. S. Desempenho comparativo de um motor de ciclo diesel utilizando diesel e misturas de biodiesel. **Ciência e Agrotecnologia**, Lavras, v. 32, n. 5, p. 1588-1593, 2008.

BARGER, E. L.; LILJEDAHL, J. B.; CARLETON, W. M.; McKIBBEN, E. G. **Tratores e seus motores**. Rio de Janeiro: USAID, 1966. 398 p.

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.

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

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.

BENEDINI, M. S.; CONDE, A. J. Espaçamento ideal de plantio para a colheita mecanizada da cana-de-açúcar. **Revista Coplana**, Guariba, n. 52, p. 26-28, 2008.

BENNETT, S. Engine cooling systems. In: Bennett, S. (Ed.) **Modern diesel technology**: diesel engines. Nova York: Cengage Learning, 2009. p. 139-163.

BEUCLAIR, E. G. F., SCARPARI, M. S. Noções fitotécnicas. In: RÍPOLI, T. C. C.; RÍPOLI, M. L. C.; CASAGRANDE, D. V. **Plantio de cana-de-açúcar**: estado da arte. Piracicaba: Livroceres, 2006. p. 80-91.

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.

BONONI, M. M.; ROSA, R. F. Planejamento agrícola. In: SEGATO, S. V.; FERNANDES, C.; PINTO, A. S. **Expansão e renovação de canavial**. Piracicaba: CP2, 2007. cap. 2, p. 19-36.

BOVI, V. **Influência do período de armazenamento de mudas de cana-de-açúcar (*Saccharum* spp.) na brotação e produção de touceiras**. 1982. 80 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1982.

BRAMLEY, R. G. V. Lessons from nearly 20 years of Precision agriculture research, development, and adoption as a guide to its appropriate application. **Crop and Pasture Science**, Collingwood, v. 60, n. 3, p. 197–217, 2009.

BRUNINI, O. Ambientes climáticos e exploração agrícola da cana-de-açúcar. In: DINARDOMIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A.C M. de; ANDRADE LANDELL, M. G. de. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 205-218.

CAMARGO, A.; PAES D. E; ALFONSI, R. R.; PINTO, S. H.; CHIARINI, J. V. Zoneamento da aptidão climática para culturas comerciais em zonas do cerrado. In: SIMPÓSIO SOBRE O CERRADO, BASES PARA UTILIZAÇÃO AGROPECUÁRIA, 5., 1977, São Paulo. **Anais...** São Paulo: Itatiaia, 1977. p. 81-120.

CAMPOS, C.M.; MILAN, M.; SIQUEIRA, L.F.F. Identificação e avaliação de variáveis críticas no processo de produção da cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 3, p. 554-564, 2008.

CASAGRANDE, A. A. **Tópicos de morfologia e fisiologia da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: FUNEP, 1991. 60-130 p.

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., CHIORDEROLLI, 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.

CATEN, A. T.; ROBAINA, A. D. Modelos para estimativa da acurácia e precisão em levantamentos com GPS. **Revista Brasileira de Agrociência**, Pelotas, v. 17, n. 1, p. 133-141, 2011.

CEBIM, V. L. S. M. **Biometria de mudas de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em dois sistemas de plantio**. 2007. 91 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade Estadual de São Paulo, Piracicaba, 2007.

CEBIM, G. J. **Plantio mecânico de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*): desempenho operacional e econômico**. 2008. 101 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade Estadual de São Paulo, Piracicaba, 2008.

CEMAGREF - Centre National du Machinisme Agricole, du Génie Rural, des Eaux et des Forêts. **Tracteurs et machines agricoles: les moteurs, le tracteur agricole**. Paris: France. Ministère de l'agriculture, 1986. p. 376.

CENTRO DE PESQUISAS METEOROLOGICAS E CLIMATICAS APLICADAS A AGRICULTURA. CEPAGRI. **Clima dos municípios paulistas**. Disponível em: < http://www.cpa.unicamp.br/outras-informacoes/clima_muni_353.html >. Acesso em: 10 maio 2013.

COLETI, J. T. Técnica cultural de plantio. In: PARANHOS, S. B. **Cana-de-açúcar: cultivo e utilização**. Campinas: Fundação Cargill, 1987. cap. 3, p. 284-328.

COLETI, J. T.; STUPIELO, J. J. Plantio da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S. B.; PINTO, A. S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J. C. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. cap. 4, p. 139-153.

CHAKRABORTI, S. Parameter estimation and design considerations in prospective applications of the X chart. **Journal of Applied Statistics**, Oxford, v. 33, n. 4, p. 439–459, 2006.

CHEN, K. S.; CHEN, T. W. Multi-process capability plot and fuzzy inference evaluation. **International Journal Production Economics**, Philadelphia, v. 111, n. 1, p. 70–79, 2008.

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>>.

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

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.

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>>.

DONALDSON, R. A.; REDSHAW, K. A.; RHODES, R.; VAN ANTWERPEN, R. Season effects on productivity of some commercial South African sugarcane cultivars, I: biomass and radiation use efficiency. **Proceedings... 81th SOUTH AFRICAN SUGAR TECHNOLOGY ASSOCIATION**, n. 81, p. 517–527, 2008.

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.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA (EMBRAPA). **Varietades**. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_42_1110200717570.html>. Acesso em: 28 de maio 2013.

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.

FELIPE, D. C. **Produtividade da cana-de-açúcar (*Saccharum officinarum* L.) submetida a diferentes épocas de plantio e a adubação mineral**. 2008. 71 f. Dissertação (Mestrado Solos e Nutrição de Plantas) – Universidade Federal da Paraíba, Areia, 2008.

FERNANDES, R. A. T.; MILAN, M.; PECHE FILHO, A. Gerenciamento da qualidade em operações mecanizadas de um sistema de produção de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 20, n. 3, p. 215-220, 2000.

GARCIA, M. A. L. **Avaliação de um sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar**. 2008. 78 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.

GARSDALE, A. L.; BELL, M. J.; ROBOTHAM, B. G. Row spacing and planting density effects on the growth and yield of sugarcane. 2. Strategies for the adoption of controlled traffic. **Crop & Pasture Science**, Collingwood, v. 60, n. 6, p. 544–554, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1071/CP08312>>.

GARSDIE, A. L.; SALTER, B.; KIDD, J. Soil compaction is a major issue operating against the development of sustainable sugarcane cropping systems. In: Proceedings of the Australian Society of Agronomy 14., 2008, Adelaide. **Proceedings eletronic...** Adelaide: Global Issues. Paddock Action, 2008. Disponível em: <http://www.regional.org.au/au/asa/2008/concurrent/managing-subsoils/5605_garsidea.htm>. Acesso em: 01 jun. 2013.

GARZA-REYES, J. A.; ELDRIDGE, S.; BARBER, K. D.; SORIANO-MEIER, H. Overall equipment effectiveness (OEE) and process capability (PC) measures: a relationship analysis. **International Journal of Quality & Reliability Management**, Bingley, v. 27 n. 1, p. 48-62, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1108/02656711011009308>>.

GIL-SIERRA, J.; CAÑAVATE, O.; GIL-QUIRÓS, V.; CASANOVA, J. K. Energy efficiency in agricultural tractors: a methodology for their classification. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 23 n. 2, p. 145-150, 2007.

GOMES, J. F. F. **Produção de colmos e exportação de macronutrientes primários por cultivares de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2003. 65 f. Dissertação (Mestrado em Solos e Nutrição de Plantas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2003.

GONZÁLEZ, I.; SÁNCHEZ, I. Capability indices and nonconforming proportion in univariate and multivariate processes. **International Journal Advanced Manufacturing Technology**, New York, v. 44, n. 9, p. 1036–1050, 2009. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s00170-008-1907-5>>.

GONÇALEZ, P. U.; WERNER, L. Comparação dos índices de capacidade do processo para distribuições não-normais. **Gestão da Produção**, São Carlos, v. 16, n. 1, p. 121-132, 2009.

GRISSE, R. D.; KOCHER, M. F.; VAUGHAN, D. H. Predicting tractor fuel consumption. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 20, n. 5, p. 553-561, 2004.

GRISSE, R. D.; VAUGHAN, D. H.; ROBERSON, G. T. Fuel prediction for specific tractor models. **Applied Engineering in Agriculture**, St. Joseph, v. 24, n. 4, p. 423-428, 2008.

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)>.

HÅKANSSON, I. **Machinery-induced compaction of arable soils: incidence, consequences, counter-measures**. Uppsala: Dept. of Soil Sciences, Division of Soil Management, 2005. 153 p.

HERAUD, J. A.; LANGE, A. F. Automatic vehicle guidance from horses to GPS: how we got here, and where we are going. In: AGRICULTURAL EQUIPMENT TECHNOLOGY CONFERENCE, 10., 2009, Louisville, **Proceedings...** Louisville. ASABE, 2009. p. 1 – 67.

HESSLER, C. V. **Aplicação de controle estatístico de processo na empresa “Metasa” como uma ferramenta de competitividade**. 2008. 120 f. Dissertação de Mestrado (Pós-graduação em Administração) – Universidade Federal de Caixias 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.

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.

HOSSEINIFARD, S. Z.; ABBASI, B. Evaluation of process capability indices of linear profiles. **International Journal of Quality & Reliability Management**, Bingley, v. 29, n. 2, p. 162-176, 2012.

HOSSEINIFARD, S. Z.; BABAK ABBASI, B.; AHMAD, S.; ABDOLLAHIAN, M. A transformation technique to estimate the process capability index for non-normal processes. **International Journal Advanced Manufacturing Technology**, New York, v. 40, n. 5, p. 512–517. 2009.

IVANCAN, S.; SITO, S.; FABIJANIC, G. Effect of precision on the intra-row seed distribution for parsley drill operating speed. **Biosystems Engineering**, London, v. 89, n. 3, p. 373–376, 2004.

JANINE, D. A. **Análise operacional e econômica do sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2007. 148 f. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2007.

JOHN DEERE. **Especificações técnicas do trator John Deere 7715**. 2007. Disponível em: < http://www.deere.com/pt_BR/ag/products/new-equipment/specs/7715.html >. Acesso em: 28 de maio 2013.

JOHNSON, R. M.; VIATOR, R. P.; RICHARD JR, E. P. Effects of billet planting rate and position on sugarcane yields in Louisiana. **Journal American Society of Sugar Cane Technologists**, Brisbane, v. 31, p. 79-90, 2011.

KARRA, P.; FERNANDO, S. Soybean oil based four-stroke engine crankcase lubricants. In: ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2005, Tampa. **Proceedings...** Tampa: ASAE, 2005. p. 157-166.

KICHLER, C. M.; FULTON, J. P.; RAPER, R. L.; ZECH, W. C.; MCDONAD, T. P.; BRODBECK, C. J. Spatially monitoring tractor performance to evaluate energy requirements of variable depth tillage and implement selection. In: ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2007, Minneapolis. **Proceedings...** Minneapolis: ASABE, 2007. 116-126.

KIM, S. C.; KIM, K. U.; KIM, D. C. Prediction of fuel consumption of agricultural tractors. **Applied Engineering Agriculture**, St. Joseph, v. 27, n. 5, p. 705-709, 2011.

KOCHER, M. F.; SMITH, M.; GRISSO, B. D.; BASHFORD, L. Performance tests of three-point mounted implement guidance systems. **American Society of Agricultural Engineers**, St. Joseph, Lincoln, v. 16, p. 595-603, 2000.

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.

KUMAR, S.; SINGH, B. R. Performance feasibility and economic viability of sugarcane planter in western Plane zone of Uttar Pradesh, India. **Sugar Tech**, New York, v. 14, n. 2, p. 101-108, 2012.

KUMAR, S.; SAINI, S. K.; BHATNAGAR, A. Effect of subsoiling and preparatory tillage on sugar yield, juice quality and economics of sugarcane (*Saccharum* species hybrid) in sugarcane plant-ratoon cropping system. **Sugar Tech**, New York, v. 14, n. 4, p. 398–404, 2012.

LAI, X.; LI, S.; MA, F.; QIN, Z.; ZHOU, J.; ZHENG, G. Simulation and experimental study on sugarcane field excitation to the cutter. **Advanced Materials Research**, Beijing, v. 156-157, p. 1105-1108, 2011.

LÉON, A.; RUBIO, G.; SERNA, G. Autoregressive conditional volatility skewness and kurtosis. **Quarterly Review of Economics Finance**, Philadelphia, v. 45, n. 4, p. 599–618, 2005.

LIN, J.; YAN, W.; LIN, J. The large-scale sugarcane stripper with automatic feeding. **Research Journal of Applied Sciences, Engineering and Technology**, New York, v. 4, n. 14, p. 2183-2185, 2012.

LOPES, L. F. D. **Controle estatístico de processo**. Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2007. p. 30-50.

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.

LOPES, A.; LANÇAS, K. P.; FURLANI, C. E. A.; NAGAOKA, A. K.; CASTRO NETO P.; GROTTA, D. C. C. Consumo de combustível de um trator em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de trabalho. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 382-386, 2003.

MACMILLAN, R.H. **The Mechanics of Tractor - Implement Performance**: theory and worked examples. Melbourne: Eprints, 2002. 165 p.

MATSUOKA, M. Sugarcane cultivation and sugar industry in Japan. **Sugar Tech**, New York, v. 8, n. 1, p. 3-9, 2006.

MIALHE, L. G. **Manual de mecanização agrícola**. São Paulo: Agronomica Ceres, 1974. p. 250 – 301.

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

MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas para o plantio**. Campinas: Millennium, 2012. p.431-495.

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.l.]: Minitab., 2007.

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, 2009. 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, 2000. p. 300-377

MOU, X. W.; OU, Y. G.; WU, H.; LIU, Q. T.; SONG, L. M.; HUANG, S. X. Damage of sugarcane leaf sheath under action elastic leaf-stripping elements based on high-speed photography. **Journal of Agricultural Machinery**, Beijing, v. 2, p. 85-89, 2012.

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.

NAIK, R.; ANNAMALAI, S. J. K.; NAIR, N. V.; PRASAD, N. R. Studies on mechanization of planting of sugarcane bud chip settlings raised in portrays. **Sugar Tech**, New York, v. 15, n. 1, p. 27–35, 2013.

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: 28 maio 2013a.

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: 30 maio 2013.

NOGUEIRA, G. A.; ALONSO, O. Viveiro de mudas. In: RÍPOLI, T. C. C.; RÍPOLI, M. L. C.; CASAGRANDE, D. V.; IDE, B. Y. **Plantio de cana-de-açúcar**: estado da arte. Piracicaba: T. C. C. Ripoli, 2007. cap. 3, p. 10 – 43.

NORONHA, R. H. F. **Qualidade da operação de plantio mecanizado de cana-de-açúcar em sistema meiosi**. 2012. 52 f. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 2012.

NORONHA, R. H. F.; SILVA, R. P.; CHIORDEROLI, 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.

OLIVEIRA, C. **Plantio mecanizado de cana-de-açúcar: aspectos operacionais e econômicos**. 2012. 108 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2012.

OLIVEIRA, F. M.; ASPIAZÚ, I.; KONDO, M. K.; BORGES, I. D.; PEGORARO, R. F. VIANNA, E. J. Crescimento e produção de variedades de cana-de-açúcar influenciadas por diferentes adubações e estresse hídrico. **Revista Trópica – ciências agrárias e biológicas**, Chapadinha, v. 5, n. 1, p. 56-67, 2011.

ORLANDO FILHO, J.; RODELLA, A. A. Adubação nitrogenada em cana-planta: perfilhamento e produtividade agrícola. **STAB**, Piracicaba, v. 13, n. 3, p. 16-18, 1995.

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.

PATIL, A.; DAVE, A. K.; YADAV, R. N. S. Evaluation of sugarcane cutter planter. **Sugar Tech**, New York, v. 6, n. 3, p. 121–125, 2004.

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.

PEIXOTO, A. A.; BERTO, P. N. A.; THURLER, A. M.; DELGADO, F. R. M. C. R. Densidades de plantio com três variedades de cana-de-açúcar, em sulcos de base estreita e de base larga. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 106, n. 2, p. 28-32, 1988.

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.

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 agrônômicos e florestais**: exposição com exemplos e orientações para uso de aplicativos. Piracicaba: FEALQ, 2002. 309 p.

PRADO, H. Ambientes de produção de cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil. **Informações Agrônômicas**, Piracicaba, n. 110, p. 13-17, 2005.

PRIPPS, R. N. Air, water, oil cooling and systems. In: _____. (Ed.) **Farm tractor**. Minnesota: MBI, 2004, p. 77-78.

QIU, P.; ZOU, C.; WANG, Z. Nonparametric profile monitoring by mixed effects modeling. **Technometrics**, New York, v. 52, n. 3, p. 265-77, 2010. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1198/TECH.2010.08188>>.

RAIJ, B. V.; QUAGGIO, J. A. **Recomendações de adubações e calagem para o Estado de São Paulo**. 2. ed. Campinas IAC, 1996. 255 p. (Boletim Técnico 100).

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. **Máquinas agrícolas**: preparo periódico do solo. Anápolis – GO. Universidade Estadual de Goiás – UnUCET – Engenharia Agrícola, 2004. p. 5-25.

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.

REIS, G. N. **Perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar crua em função do desgaste das facas do corte de base**. 2009. 89 f. Tese (Doutorado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2009.

RÍPOLI, T. C. C.; RÍPOLI, M. L. C.; CASAGRANDE, D. V. **Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte**. Piracicaba: Ed. dos Autores, 2006. 216 p.

RÍPOLI, M. L. C.; RÍPOLI, T. C. C. Evaluation of five sugarcane planters. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 30, n. 6, p. 1110-1122, 2010.

RÍPOLI, M. L. C.; RÍPOLI, T. C. C.; CASAGRANDE, D. V.; IDE, B. Y. Evaluation of five sugarcane planters. In: ASABE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, Minneapolis. **Proceedings...** Minneapolis: ASABE, 2007. p. 353-368.

ROCHA, A. M. C. **Emergência, perfilhamento e produção de colmos de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em função das épocas de plantio no estado de São Paulo**. 1984. 133 f. Dissertação (Mestrado em Fitotecnia) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1984.

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.

ROMANELLI, T. L. **Consumo de óleo diesel na agricultura: operações de preparo de solo, plantio e colheita**. Departamento de Engenharia Rural – ESALQ/USP, Piracicaba, 2009. p. 40-81.

SAGHAEI, A.; MEHRJOO, M.; AMIRI, A. A CUSUM-based method for monitoring simple linear profiles. **International Journal of Advanced Manufacturing Technology**, New York, v. 45, n. 11, p. 1252 – 1260, 2009.

SALASSI, M. E.; BREAUX, J. B.; HOY, J. W. Estimated cost differences between whole-stalk and billet sugarcane planting methods in Louisiana. **Journal American Society Sugar Cane Technologists**, Louisiana, v. 24, p. 250-257, 2004.

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.

SCHUMACHER, L. G.; FRISBY, J. C.; HIRES, W. G. Tractor PTO horsepower, filter maintenance, and tractor engine oil analysis. **Applied Engineering Agriculture**, St. Joseph, v. 7, n. 5, p. 625-629, 1991.

SHIN, C. S.; KIM, U. K.; KIM, K. W. Energy efficiency classification of agricultural tractors in Korea. **Journal of Biosystems Engineering**, Seoul, v. 37, n. 4, p. 215-224, 2012.

SHINDE, J. H.; KATIKAR, R. S. Importance of process capability and process performance indices in machine tool. **International Journal of Research in Engineering & Applied Sciences**, Wanadongri, v. 2, n. 2, p. 1211-1217, 2012.

SHOCKLEY, J. M.; DILLON, C. R. Cost savings for multiple inputs with swath control and auto guidance technologies. In: INTERNATIONAL CONFERENCE ON PRECISION AGRICULTURE, 9., 2008, Denver. **Proceedings...** Denver: Colorado State University, 2008. 1 CD-ROM.

SILVA, C. B.; MORAES, M. A. F. D.; MOLIN, J. P. Adoption and use of precision agriculture technologies in the sugarcane industry of São Paulo state, Brazil. **Precision Agriculture**, New York, v. 12, n. 1, p. 67-81, 2011. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.1007/s11119-009-9155-8>>.

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.; PECHE FILHO, A.; STORINO, M. Influência da velocidade do trator no controle de plantas daninhas, adubação e pulverização da cultura do café. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 15, n. 3, p. 250-260, 2007.

SINGH, J.; SINGH, A. K.; SHARMA, M. P.; SINGH, P. R.; SRIVASTAVA, A. C. Mechanization of sugarcane cultivation in India. **Sugar Tech**, New York, v.13, n. 4, p. 310-314, 2011.

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.

SOMERVILLE, S. E.; MONTGOMERY, D. C. Process capability indices and non-normal distributions. **Quality Engineering**, New York, v. 9, n. 2, p. 305-316, 1996.

SONG, C. H.; OU, Y. G.; LIU, Q. T.; WU, H. Study on second stage spiral sugarcane-lifting mechanism. **Journal of Agricultural Mechanization Research**, Beijing, v. 11, p. 34-37, 2010.

SONG, C. H.; OU, Y. G.; LIU, Q. T. Design and experiment of two sections spiral sugarcane lifter for sugarcane harvester. **Journal of Agricultural Machinery**, Beijing, v. 8, p. 89-93, 2012.

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.

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.

STOLF, R. Metodologia de avaliação de falhas nas linhas de cana-de-açúcar. **STAB**, Piracicaba, v.4, n. 6, p. 22-36, 1986.

SUGUITANI, C.; MATSUOKA, S. Efeitos do fosforo nas características industriais e na produtividade agrícola em cana-de-açúcar (cana-planta) cultivada em duas regiões do estado de São Paulo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CIÊNCIA DO SOLO, 28., 2001, Londrina. **Resumos...** Londrina: SBCS, 2001. 1 – 4 p.

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.

SUZUKI, L.E.A.S.; REICHERT, J.M.; REINERT, D.J.; LIMA, C.L.R. Grau de compactação, propriedades físicas e rendimento de culturas em Latossolo e Argissolo. **Pesquisa Agropecuária Brasileira**, Brasília, v. 42, n. 8, p.1159-1167, 2007.

TEIXEIRA, E. B.; BOLONHEZI, A. C.; FERNANDES, F. M.; RIBEIRO, N. A.; SCHMITZ, G. A. F.; GOMES, E. A.; BOLONHEZI, D. Perfilhamento da cana-de-açúcar (RB 86 - 7515) em diversos sistemas de manejo do solo e adubação verde em solo de cerrado. In: WORKSHOP AGROENERGIA, 6., 2012, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto: Infobios, 2012. 1 CD-ROM.

TOLEDO, A. **Variabilidade espacial e diagnóstico da qualidade do processo em semeadura de amendoim**. 2008. 115 f. Dissertação (Mestrado em Ciência do Solo) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2008.

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.

TRACAN MÁQUINAS AGRÍCOLAS (TMA). **Plantadora PTX 7010**. Acesso: www.tmaquinas.com.br/plantadora_ptx_7010.php. Acesso em: 18 maio 2013.

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.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO” (UNESP). Campus de Jaboticabal. Departamento de Ciências Exatas: Estação meteorológica. **Dados meteorológicos mensais do ano de 2012 em Jaboticabal**. Disponível em: < <http://www.fcav.unesp.br/#!/estacao-agroclimatologica/> >. Acesso em: 09 jun. 2013.

USABORISUT, P.; NIYAMAPA, T. Effects of machine-induced soil compaction on growth and yield of sugarcane. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, Adelaide, v. 5, n. 3, p. 269-273, 2010.

USABORISUT, P.; SUKCAROENVIPHARAT, W. Soil compaction in sugarcane fields induced by mechanization. **American Journal of Agricultural and Biological Sciences**, Adelaide, v. 6, n. 3, p. 418-422, 2011.

VAN HEERDEN, P. D. R.; DONALDSON, R. A.; WATT, D. A.; SINGELS, A. Biomass accumulation in sugarcane: unravelling the factors underpinning reduced growth phenomena. **Journal of Experimental Botany**, Oxford, v. 61, n. 11, p. 2877 – 2887, 2010.

VARELLA, C. A. A. **Sistemas auxiliares dos motores de combustão interna**. Notas de aulas: Motores e tratores. Seropédica, Rio de Janeiro, 2009. p. 10-25.

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.

VICENTE, E. F. R.; FERNANDES, V. Mensuração do custo de cana-de-açúcar para médios produtores. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CUSTOS, 11., 2004, Porto Seguro. **Anais...** Porto Seguro: ABC, FEA/USP, 2004. 1 CD-ROM.

VIEIRA, L. P. **Atividades desenvolvidas no setor agrícola do Grupo Noble bioenergia, unidade de Catanduva, com ênfase em agricultura de precisão**. 2011. 40 f. Relatório (Estágio Profissionalizante em Engenharia Agrônoma) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2011.

VIEIRA, S.; HOFFMANN, R. **Estatística experimental**. São Paulo: Atlas, 1989. 175p.

VISHWANATHAN, O.; WECKLER, P. R.; SOLIE, J. B.; STONE, M. S. Evaluation of ground speed sensing devices under varying ground surface conditions. In: ASAE ANNUAL INTERNATIONAL MEETING, 2005, Tampa. **Proceedings...** Tampa: ASAE, 2005. p. 1-11.

VOLTARELLI, M. A.; SILVA, R. P.; SILVA, V. F. A. S.; COMPAGNON, A. M.; BRAME, L. J. Mudanças escolhidas. **Cultivar Máquinas**, v. 11, n. 123, p. 14 –16, 2012.

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

WERKEMA, M. C. C. **Ferramentas estatísticas básicas para o gerenciamento de processos**. Belo Horizonte: Fundação Christiano Ottoni, 1995, v. 2, p. 10-290.

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

WHA QUALITY CENTER. **A leadership guide to quality improvement for emergency medical services systems**. Disponível em: <<http://icsw.nhtsa.gov/people/injury/ems/leaderguide/>> Acesso em: 30 maio 2013.

WICKHAM JR. J. A.; JOYCE, R. M. **Operator's manual: truck tractors, commercial heavy equipment transporter (C-HET)**, 1991. Disponível em: <http://books.google.com.br/books?id=fVcYAAAAYAAJ&printsec=frontcover&source=gbs_ge_summary_r&cad=0#v=onepage&q&f=false>.

XIE, F. X., OU, Y. G., LIU, Q. T. Experiment combined-lifter device of sugarcane harvester. **Journal of Agricultural Machinery**, Beijing, v. 2, p. 94-98, 2011.

YADAV, R. N. S.; YADAV, S.; TERJA, R. K. Labour saving and cost reduction machinery for sugarcane cultivation. **Sugar Tech**, New York, v. 5, n. 1, p.7-10, 2003.

YADAV, R. N. S.; CHAUDHURI, D.; SHARMA, M. P.; SINGH, P. R.; KAMTHE, S. D.; TAJUDDIN, A. Evaluation, Refinement and Development of Tractor Operated Sugarcane Cutter Planters. **Sugar Tech**, New York, v. 6, n. 1, p. 5 – 14, 2004.

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>.

YU, P. X.; YANG, D. T.; OU, Y. G. The scheming study for sugarcane mechanized harvesting and transportation. **Journal of Agricultural Mechanization Research**, Beijing, v. 3, p. 12-14, 2007.

ZACHARIAS, R.; SANTOS, F. L.; JESUS, V. A. M. Custos operacionais do plantio mecanizado e semi-mecanizado de cana-de-açúcar. **Engenharia na Agricultura**, Viçosa, v. 19, n. 2, p. 118-124, 2011.

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.

ZHANG, Y.; OU, Y. G.; MOU, X. W. The study on the rake bar chain lift problem. **Journal of Agricultural Mechanization Research**, Beijing, v. 31, n. 5, p. 45-47, 2009.

ZOU, C.; TSUNG, F. Likelihood ratio-based distribution-free EWMA control charts. **Journal of Quality Technology**, New York, 42, n. 2, p. 174–196, 2010.