

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

**PERDAS NA COLHEITA MECANIZADA DA CANA-DE-
-AÇÚCAR CRUA EM FUNÇÃO DO DESGASTE DAS
FACAS DO CORTE DE BASE**

Gustavo Naves dos Reis

Engenheiro Agrônomo

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Janeiro de 2009

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

**PERDAS NA COLHEITA MECANIZADA DA CANA-DE-
-AÇÚCAR CRUA EM FUNÇÃO DO DESGASTE DAS FACAS
DO CORTE DE BASE**

Gustavo Naves dos Reis

Orientador: Prof. Dr. Afonso Lopes

Co-orientador: Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias – UNESP, Câmpus de Jaboticabal, como parte das exigências para a obtenção do título de Doutor em Agronomia (Ciência do Solo).

JABOTICABAL – SÃO PAULO – BRASIL

Janeiro de 2009

DADOS CURRICULARES DO AUTOR

GUSTAVO NAVES DOS REIS – filho de Jalmer Naves dos Reis e Rosa Maria Paolucci Naves dos Reis, nascido na cidade de Ribeirão Preto, Estado de São Paulo, no dia 20 de fevereiro de 1979, onde cursou os ensinos fundamental e médio. Graduado em Engenharia Agrônômica pela Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal - SP em 2002. Pós-Graduado, Mestre em Agronomia pelo Programa de Ciência do Solo (Área de concentração Máquinas e Mecanização Agrícola) na mesma instituição de ensino, pesquisa e extensão, em 2004. No ano de 2005, iniciou o curso de Doutorado em Agronomia pelo Programa de Ciência do Solo (Área de concentração Máquinas e Mecanização Agrícola), pela Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Câmpus de Jaboticabal – SP. Assumiu o cargo de Coordenador de Projetos Agrícolas nas áreas de Manutenção e Mecanização Agrícola do Grupo Louis Dreyfus Commodities Brasil, divisão Bioenergia - Filial Estivas, em 2006. Desde 2007, exerce o cargo de Supervisor de Manutenção Automotiva do Grupo Louis Dreyfus Commodities Brasil, divisão Bioenergia - Filial Estivas. Possui experiência na área de Agronomia, com ênfase em Máquinas e Mecanização Agrícola, atuando principalmente nos seguintes temas: manutenção, operação, ensaios e desempenho de máquinas e implementos agrícolas.

*Siga, ainda que a estrada seja tortuosa e os obstáculos no
caminho tentem fazê-lo desistir. Jamais desista.*

Gustavo Naves dos Reis

Aos meus pais Jalmer e Rosa,
à minha irmã Mariane,
aos meus avós paternos Jamíl (em memória) e Cláudia,
aos meus avós maternos Ernesto (em memória) e Maria (em memória),
ao meu tio Jader (em memória), em quem me espelhei para chegar até aqui,
à minha noiva Ana Karina, "Nega", você é especial,
dedico.

*À minha sobrinha Isabele, que há um ano e meio trouxe alegria incondicional à família,
ofereço.*

AGRADECIMENTOS

Acredito que todo agradecimento é especial, pois é nesse ato que se exalta toda a humildade e a consideração à pessoa agradecida; portanto, agradeço:

Aos meus pais, Jalmer Naves dos Reis e Rosa Maria Paolucci Naves dos Reis, que sempre e em todos os momentos da minha vida estiveram presentes, torcendo, vibrando, limitando e amando, e à minha irmã Mariane Naves dos Reis e sua família, por fazerem parte da minha história. Amo vocês.

À minha avó Cláudia Stamato Naves dos Reis, que nos ensina a cada dia um exemplo de força e atitude a serem seguidos. Essa é a “Vó”.

Ao meu tio Jair Naves dos Reis, em nome do grande afeto e respeito.

Com muito carinho, à minha noiva Ana Karina Gurgel Barreto e a seus pais, Antônia Carlinda Gurgel Barreto e Gilberto Barreto, e irmãos, Alex Jesus Gurgel Barreto e Gilberto Barreto Júnior, pelo acolhimento, paciência e compreensão. Considero-me parte dessa família.

Ao meu orientador e amigo, Prof. Dr. Afonso Lopes, pelo empenho, responsabilidade e colaboração, não só nesta fase, mas em toda minha vida acadêmica. Professor, conseguimos mais uma.

Ao amigo e co-orientador, Prof. Dr. Rouverson Pereira da Silva, pelo grande apoio e pela dedicação voltados à minha pessoa, em especial neste trabalho. “Son”, muito obrigado!

Ao amigo, Prof. Dr. Carlos Eduardo Angeli Furlani, pela imensa contribuição sobre minha formação acadêmica e profissional. “Dú”, serei sempre grato.

A toda a Diretoria da Louis Dreyfus Commodities, Unidade Estivas – RN.

Ao amigo e Gerente Agrícola da Unidade Estivas – RN, João Airton Malta, pela compreensão na finalização deste trabalho.

Aos amigos de trabalho e supervisores Altamiro Pereira, Marcus Vinicius e Luiz Henrique, em nome da grande contribuição e incentivo profissional.

A toda a equipe da Manutenção Automotiva, pela prestatividade e confiança sobre minha pessoa.

Aos amigos e gerentes Agrícolas, Francisco Evandro, Gilson Christofoli Júnior e Jorge Fávaro Gomes, pela oportunidade deste trabalho, orientação e auxílio profissional.

Aos grandes amigos de empresa, Marcos Malerba Fernandes, Adriano Costa Cunha, Ronaldo Santos, Kleyber Milane, Danilo Brizza e Danilo Batista, pelos momentos de crise e alegria vividos.

Aos alunos do Laboratório de Máquinas e Mecanização Agrícola – LAMMA, pelo apoio e parceria nos trabalhos realizados.

Aos amigos de pós-graduação, Danilo Cesar Checchio Grotta e Jorge Wilson Cortez, pela convivência, ideais e distrações.

Ao amigo e doutorando Anderson de Toledo, pela imensurável ajuda e comprometimento neste e em outros trabalhos realizados pela equipe do LAMMA.

Ao amigo Davi Aparecido Trevizolli, secretário da Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, pela força e prestatividade ao longo desses anos.

Aos amigos “irmãos”, Thiago Pedrão, Rodrigo Messias, Elder Andrade, Hugo Barbieri, Alan Roncalli, Juliano, Adônis Bastos, Alexandre Bizzi e Tiago Licioti, pelos momentos passados e conquista alcançada.

A todos os que, indiretamente, contribuíram para que esta conquista fosse alcançada, meus sinceros agradecimentos.

SUMÁRIO

	Página
RESUMO	xv
SUMMARY	xvi
I. INTRODUÇÃO	1
II. REVISÃO DE LITERATURA	3
1. Sistemas de preparo do solo	4
2. Plantio da cana-de-açúcar	6
3. Colheita mecanizada de cana-de-açúcar.....	7
4. Perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar	9
5. Danos às soqueiras	12
6. Estatística descritiva	13
7. Controle estatístico de processo	14
8. Análise de capacidade do processo	18
III. MATERIAL E MÉTODOS	20
1. Colhedora	22
2. Variedade	22
3. Estatística descritiva	23
4. Controle estatístico de processo	23
5. Dados da cultura	27
6. Porte do canavial	27
7. Armação	28
8. Determinação do microrrelevo.....	29
9. Atributos de perdas	30
10. Desgaste das facas do corte basal	32

	Página
11. Danos às soqueiras	33
IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO	36
1. Perdas quantitativas	36
2. Controle estatístico do processo	38
3. Análise de capacidade do processo	48
4. Desgaste das facas do corte basal	51
5. Graus de danos às soqueiras	54
6. Microrrelevo do solo	57
7. Dados de acompanhamento de safra	58
8. Porte do canavial	59
V. CONCLUSÕES	60
VI. REFERÊNCIAS	61
APÊNDICE	69
APÊNDICE 1. Características técnicas da colhedora de cana-de-açúcar.....	70
APÊNDICE 2. Facas utilizadas no tratamento AR+GM, em 8h de trabalho.....	72
APÊNDICE 3. Facas utilizadas no tratamento GP+GM, em 8h de trabalho.....	73

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIações

ABNT	Associação Brasileira de Normas Técnicas
AIAG	Automotive Industry Action Group
As	clima tropical úmido (Köppen-Geiger)
ASAE	American Society of Agricultural Engineers
CEP	controle estatístico de processo
CI	cana inteira
cm	centímetros
CONAB	Companhia Nacional de Abastecimento
CP	cana-ponta
Cp	índice de capacidade potencial
CPI	índice de capacidade potencial em relação ao LIE
Cpk	índice de capacidade potencial mínimo
CPS	índice de capacidade potencial em relação ao LSE
cv	cavalo-vapor
E	estilhaço
EMBRAPA	Empresa Brasileira de Pesquisa Agropecuária
GPS	Global Positioning System (Sistema de Posicionamento Global)
h	horas
ha	hectare
I-MR	Individual – Moving Range (Individual – Amplitude Móvel)
kg	quilograma
kW	quilowatt
L	lasca
LIC	limite inferior de controle
LIE	limite inferior especificado
LSC	limite superior de controle
LSE	limite superior especificado
m	metro

m ²	metro quadrado
MINITAB	programa computacional MINITAB 15.1, Minitab Inc.
mm	milímetro
PF	pedaço fixo
PMGCA	Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar
Pp	índice de capacidade geral
PPI	índice de capacidade geral em relação ao LIE
Ppk	índice de capacidade mínimo geral
PPS	índice de capacidade geral em relação ao LSE
PS	pedaço solto
PT	perdas totais
RN	Estado do Rio Grande do Norte
rpm	rotações por minuto
RR	rebolo repicado
S.A.	Sociedade Anônima
T	toco
UNESP	UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
σ	desvio-padrão
\bar{x}	média geral
%	percentagem

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1. Estatística descritiva para perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar	37
2. Estatística descritiva para desgaste das facas do corte basal	52
3. Estatística descritiva para graus de danos às soqueiras	54
4. Estatística descritiva para microrrelevos	57
5. Dados de produtividade e de qualidade da matéria-prima	59
6. Porte do canavial	59

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1. Áreas amostrais delimitadas por 50 pontos espaçados de 27 x 23 m	20
2. Colhedora de cana-de-açúcar utilizada no experimento	22
3. Estrutura das cartas de controle	25
4. Triângulo-padrão	28
5. Armação utilizada na realização das amostragens	29
6. Perfilômetro posicionado na amostra	30
7. Faca do corte de base	33
8. Esquema das soqueiras amostradas nos intervalos de desgaste	34
9. Metodologia para a classificação dos danos às soqueiras.....	35
10. Cartas de controle para perdas de rebolo repicado (kg ha^{-1})	39
11. Cartas de controle para perdas de cana inteira (kg ha^{-1})	40
12. Cartas de controle para perdas de cana-ponta (kg ha^{-1})	41
13. Cartas de controle para perdas de pedaço fixo (kg ha^{-1})	42
14. Cartas de controle para perdas de pedaço solto (kg ha^{-1})	43
15. Cartas de controle para perdas de lasca (kg ha^{-1})	44
16. Cartas de controle para perdas de estilhaço (kg ha^{-1})	45
17. Cartas de controle para perdas de toco (kg ha^{-1})	46
18. Cartas de controle para perdas totais (kg ha^{-1})	47
19. Análise de capacidade para perdas totais no tratamento AR+GM	49
20. Análise de capacidade para perdas totais no tratamento GP+GM	50
21. Desgaste das facas do corte basal nos tratamentos AR+GM e GP+GM	53
22. Distribuição dos graus de danos nos tratamentos AR+GM e GP+GM	55
23. Graus de danos às soqueiras nos tratamentos AR+GM e GP+GM	56
24. Microrrelevos médios nos tratamentos AR+GM e GP+GM	58

PERDAS NA COLHEITA MECANIZADA DA CANA-DE-AÇÚCAR CRUA EM FUNÇÃO DO DESGASTE DAS FACAS DO CORTE DE BASE

RESUMO - A colheita mecanizada da cana-de-açúcar tem relevância em todo o processo produtivo da cultura, inclusive na qualidade do produto final entregue para o processamento na usina. O presente trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade do processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua, utilizando o controle estatístico do processo (CEP), e a capacidade do processo gerar resultados dentro dos limites especificados, por meio da análise de capacidade, quantificando as perdas e os danos causados às soqueiras pelo mecanismo de corte basal. O experimento foi conduzido em área de ARGISSOLO Amarelo, localizada no município de Arez – RN, sob dois tipos manejos do solo, no sistema convencional de preparo. Os tratamentos foram: AR+GM (arado de aivecas + grade média); GP+GM (grade pesada + grade média) e as perdas determinadas por meio de amostragem. Os atributos do tipo rebolo repicado, toco e totais diferiram estatisticamente entre os tratamentos estudados, sendo os maiores valores de perdas quantificados para o tratamento que utilizou o arado de aivecas seguido de grade média. O processo de colheita apresenta-se fora de controle para os atributos do tipo rebolo repicado, cana inteira, cana-ponta, pedaço fixo, pedaço solto, lasca e estilhaço. O tratamento arado de aivecas seguido de grade média apresenta maiores graus de danos ocasionados às soqueiras, comparado ao tratamento (GP+GM). O tratamento (AR+GM) apresenta maior área de microrrelevo, diferindo estatisticamente do tratamento preparado com grade pesada seguida de grade média.

Palavras-Chave: colhedora de cana-de-açúcar, controle estatístico de processo, danos às soqueiras, microrrelevo do solo

LOSSES IN THE MECHANIZED HARVEST OF RAW SUGAR-CANE DUE TO WEAR ON CUTTING BASE BLADES

SUMMARY - The mechanized harvest of sugar cane is relevant to the whole productive process of the crop, including the quality of the final product that is delivered for processing at the plant. The objective of this study is to evaluate the quality of the process of the mechanized harvest of raw sugar cane by means of statistical process control, and also the capacity of the process to generate results within the specified limits through the analysis of capability, quantifying the losses and damages caused to the stalks (ratoon) by the mechanism of the cutting base. The experiment was conducted in an area of yellow clay soil located in the municipal of Arez, RN, Brazil, using two methods of managing the soil within the conventional system of preparation. The treatments were: (a) moldboard ploughs followed by average weight offset disc harrow and; (b) heavy offset disc harrow followed by average weight offset disc harrow, with the losses being determined through samples. The losses attributed to splinted stalks, pieces and stubble total differed statistically between the treatments studied, being that the highest values of quantified losses came from the treatment using moldboard ploughs followed by average weight offset disc harrow. The harvesting process proved unmanageable due to splinted stalks, whole cane, cane points, fixed pieces, loose pieces and splinters. The treatment using moldboard ploughs followed by average weight offset disc harrow presented the highest degree of damage to the stalks when compared to treatment (b). The treatment (a) presented the largest area of microrelief, differing statistically from the treatment using heavy offset disc harrow followed by average weight offset disc harrow.

Keywords: sugar cane harvester, statistical process control, damage to stalks, soil microrelief

I. INTRODUÇÃO

O cultivo da cana-de-açúcar é considerado uma das primeiras atividades de importância nacional, ocupando posição de destaque na economia brasileira. Tal atividade tem grande relevância na geração de renda, empregos e divisas, principalmente quando se relaciona à exploração da referida cultura com a produção de açúcar, de álcool e de aguardente.

O Estado do Rio Grande do Norte com seus 3.013.740 habitantes distribuídos nos 52.796,80 km² de área sob relevo suave ondulado, destaca-se por ser o maior produtor de petróleo em solo continental e sal marinho. No setor agropecuário, apesar das adversidades em função da distribuição pluviométrica irregular, destacam-se a carcinocultura, a fruticultura irrigada e a tradicional pecuária, ficando a cultura da cana-de-açúcar responsável por menor participação econômica.

Segundo dados da CONAB (2008), a produção de cana-de-açúcar no Estado do Rio Grande do Norte crescerá em torno de 16,0% na safra 2008/2009, chegando ao mês de fevereiro com 4 milhões de toneladas colhidas, sendo 1,83 milhão de toneladas voltadas para a transformação em açúcar, gerando 235,8 mil toneladas do produto, havendo acréscimo de 9,2% em relação à safra passada. Contudo, a participação do açúcar no total de cana colhida caiu de 51,0 para 45,4% nesse levantamento, dando mais espaço para a produção de álcool e de outros produtos.

Dentre as atividades do processo de implantação e de condução da cultura da cana-de-açúcar, sejam elas manuais, mecanizadas ou semimecanizadas, destacam-se: preparo do solo (dessecação, aplicação de corretivo e mobilização do solo), plantio (sulcação, adubação e cobertura), tratamentos culturais (cultivo, aplicação de agrotóxico e adubação de cobertura) e colheita, fechando o ciclo da safra com o enleiramento de palha em áreas de colheita mecanizada.

A Lei nº 11.241 de 19/09/2002 impõe a eliminação gradativa da queima da palhada num prazo de 20 anos para áreas mecanizáveis e de 30 anos para não-

-mecanizáveis, adequando-se à legislação, ocasionando reflexos significativos no aumento na área de colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua no País.

A colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua apresenta vantagens e desvantagens sobre a colheita semimecanizada. Dentre as vantagens, destacam-se: menor agressão ao meio ambiente, maior acúmulo de material orgânico sobre o solo e redução do quadro de funcionários. As desvantagens estão relacionadas principalmente com a redução na qualidade da matéria-prima (impurezas), necessidade de mão de obra especializada e perdas quali-quantitativas.

Dentre as perdas quantitativas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua, são destacadas as perdas do tipo: toco, rebolo repicado, pedaço fixo, pedaço solto, lasca, cana-ponta, cana inteira e estilhaço, sendo o somatório dessas contabilizado em perdas totais. Qualitativamente, são avaliados os danos causados às soqueiras após a colheita da cana-de-açúcar pela máquina, bem como o arranquio dessas.

Pressupondo que o tipo de manejo do solo interfira nas perdas quali-quantitativas de cana-de-açúcar e o desgaste das facas do corte basal da colhedora afete diretamente a qualidade da colheita, aumentando as perdas e ocasionando danos às soqueiras, o presente trabalho teve por objetivo avaliar a qualidade do processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua utilizando o controle estatístico do processo (CEP), e a capacidade do processo gerar resultados dentro dos limites especificados com a análise de capacidade, quantificando as perdas e os danos causados às soqueiras pelo mecanismo de corte basal.

II. REVISÃO DE LITERATURA

A cana-de-açúcar, descrita por Linneu, em 1753, como *Saccharum officinarum* e *Saccharum spicatum*, apresenta cultivo intimamente ligado à própria história e ao desenvolvimento do Brasil. Primeiramente transformada em açúcar, seguido pelo álcool carburante, ocupa papel de destaque na economia mundial, sendo o Brasil líder na produção desses derivados (CESNIK & MIOCQUE, 2004).

Segundo BARBOSA & SILVEIRA (2006), o cultivo da cana-de-açúcar é considerado uma das primeiras atividades de importância nacional, ocupando posição de destaque na economia brasileira. Considerando a produção de açúcar, álcool e aguardente, essa atividade transparece com grande relevância na geração de divisas.

De acordo com o primeiro levantamento da safra de 2008/2009 da cana-de-açúcar, realizado pela CONAB (2008), serão colhidas entre 558,1 e 579,8 milhões de toneladas de matéria-prima. Esse montante representa uma variação de 11,3% a 15,6% em relação à última safra. No Estado do Rio Grande do Norte, a produção crescerá 16%, comparada à safra anterior. A maior parte desse volume adicional provém da expansão de usinas existentes, aliado à incorporação de novas unidades ao processo produtivo.

A região Centro-Sul concentra aproximadamente 90,0% da produção nacional, destacando o Estado de São Paulo com cerca de 60,0% do volume a ser colhido. Quanto ao “mix” de produção, 57,2% da cana será destinada à produção de álcool, enquanto o restante será utilizado para a fabricação de açúcar. Desse modo, é esperada uma produção em torno de 27 bilhões de litros de álcool e 34,4 milhões de toneladas de açúcar. A variação percentual da produção de álcool em relação à safra passada é de 17,0%, e a de açúcar é da ordem de 10,5% (CONAB, 2008).

1. Sistemas de preparo do solo

O preparo do solo visa a melhorar as condições físicas e químicas para garantir a brotação, o crescimento radicular e o estabelecimento da cultura.

Segundo BEAUCLAIR & SCARPARI (2006), tendo a cana-de-açúcar um sistema radicular profundo, com ciclo vegetativo econômico de quatro anos e meio ou mais, e intensa mecanização, o preparo do solo deve ser profundo e esmerado. Os autores salientaram, também, que as unidades sucroalcooleiras não seguem uma linha uniforme de preparo, em função do tipo de solo predominante e da disponibilidade de máquinas e implementos.

A literatura cita três formas de preparo do solo para a implantação e/ou reforma do canavial. O plantio convencional, que se inicia com as operações de aração e gradagem, e quando o solo apresentar camada compactada, faz-se o rompimento por meio de subsolagem. A segunda situação, conhecida por cultivo mínimo, realiza-se apenas uma gradagem leve para remover a soqueira remanescente seguida da operação de sulcação e adubação (ALVES, 2004).

De acordo com SEGATO et al. (2006), a terceira situação, denominada de plantio direto, é realizada apenas a operação de aplicação do herbicida para evitar o desenvolvimento do canavial a ser reformado, sendo a operação de sulcação efetuada diretamente na entrelinha das plantas existentes no local.

De acordo com a EMBRAPA (2008), o preparo convencional do solo consiste no revolvimento de camadas superficiais para reduzir a compactação, incorporar corretivos e fertilizantes, aumentar os espaços porosos e, com isso, elevar a permeabilidade e o armazenamento de ar e de água. Esse processo facilita o crescimento das raízes das plantas. Além disso, o revolvimento do solo promove o corte e a cobertura das plantas daninhas, auxiliando no controle de pragas e patógenos do solo.

O preparo convencional do solo, segundo CARVALHO FILHO et al. (2008), geralmente se compõe de uma aração, seguida de duas gradagens para destorroamento e nivelamento.

No preparo do solo, os objetivos devem ser atingidos com o menor número possível de operações, reduzindo o tempo e o consumo de energia necessários para a implantação da cultura. Dessa forma, vários equipamentos agrícolas podem ser utilizados para alcançar tais objetivos, entretanto deve ser ressaltado que cada um possui uma ação específica, em função das características próprias dos órgãos ativos sobre o solo (EMBRAPA, 2001).

O preparo do solo pode ser feito com subsoladores, arados e grades, sob o objetivo de proporcionar o adequado ambiente à implantação e ao desenvolvimento das plantas. Para tanto, a sequência de operações tem por objetivo destruir antigas soqueiras, minimizar a ocorrência de plantas invasoras e modificar a estrutura do solo, proporcionando melhores condições de densidade e aeração (AZEVEDO, 2008).

SILVA et al. (2002) avaliaram os efeitos do arado de aivecas e da enxada rotativa na camada mobilizada do solo e observaram que o arado de aivecas proporcionou maiores áreas de mobilização de elevação e mobilização total, comparado à enxada rotativa.

Tendo a cana-de-açúcar um sistema radicular profundo e ciclo vegetativo econômico de quatro anos e meio ou mais, com intensa mecanização que se processa durante esse longo tempo de permanência da cultura no terreno, o preparo do solo deve ser profundo (ALVES, 2004).

Segundo DEMATÊ (2005), devido a cana-de-açúcar apresentar-se como cultura semiperene, com ciclo de 5 a 7 anos, o desenvolvimento radicular em maior profundidade é fundamental para acréscimo de produtividade em solos pouco férteis e com baixa retenção de umidade. O autor resalta que uma das limitações dos solos na região tropical úmida é a baixa fertilidade em profundidade, que se traduz em menor volume de solo explorado pelas raízes.

2. Plantio da cana-de-açúcar

O sucesso da colheita mecanizada da cana-de-açúcar depende de plantio de qualidade, sem falhas no estande, otimizando o rendimento da máquina, paralelismo entre sulcos e suavidade do microrrelevo do solo, proporcionando menores perdas quantitativas no processo. Sendo assim, no plantio de cana-de-açúcar, independentemente do método empregado, semimecanizado ou mecanizado, as necessidades da cultura, tal como o ambiente de implantação deverão ser atendidas. Considerações se fazem necessárias, visto que as atitudes tomadas na operação de plantio serão determinantes na produtividade e na longevidade do canavial (BEUCLAIR & SCARPARI, 2006).

Para a instalação do canavial, todos os preceitos de boas técnicas agrônômicas devem ser considerados, tais como: preparo do solo; mudas de qualidade (sadias e bem manipuladas); tratamento fitossanitário do solo e das mudas; adubação, entre outros (RIPOLI & RIPOLI, 2004).

Segundo BEUCLAIR & SCARPARI (2006), o plantio é o investimento crucial na condução de qualquer cultura, sendo a base do desenvolvimento e, independentemente das práticas de plantio adotadas (semimecanizadas ou mecanizadas), as demandas devem ser atendidas.

De acordo com RIPOLI & RIPOLI (2004), existem três sistemas de plantio em utilização no Brasil: o manual, o semimecanizado e o mecanizado. O primeiro tem maior ocorrência em regiões do Nordeste brasileiro e é caracterizado pelo fato de todas as operações de plantio serem manuais. No segundo sistema, a sulcação, a cobertura e adubação de superfície são efetuadas mecanicamente, sendo a deposição das mudas manual. No sistema mecanizado, todas as operações citadas anteriormente são realizadas mecanicamente, com adição da aplicação de insumos no solo.

O plantio semimecanizado ou convencional, erroneamente denominado de manual, é composto de um conjunto de operações mecanizadas, as quais estão envolvidas as etapas de sulcação, cobertura do sulco, aplicação de defensivos e

fertilizantes, e manuais em que se incluem a distribuição, o alinhamento e o fracionamento das mudas. Já o plantio mecanizado, compõe-se de todas as etapas descritas acima efetuadas mecanicamente, utilizando apenas de mão de obra especializada para a operação da plantadora (RIPOLI et al., 2007).

ROBOTHAM & CHAPPELL (2002) afirmam que a colheita e o plantio são correlacionados. A adoção da prática de plantio mecanizado, em Queensland, Austrália, foi consolidada somente com a generalização da prática da colheita mecanizada, pois as plantadoras disponíveis, na maioria, plantam mudas nas formas de rebolos.

As práticas de plantio são de extrema importância na determinação do sucesso no cultivo da cana-de-açúcar. A qualidade do plantio garante população adequada de plantas, ausência de pragas durante a fase inicial da cultura e bom uso do solo (CARLIN et al., 2004).

Atualmente, há tendência para a mecanização do plantio, justificada pelo menor custo da operação e alto desempenho operacional das plantadoras disponíveis no mercado (RIPOLI, 2006).

O plantio mecanizado causa maiores danos às gemas, reduzindo o número de gemas viáveis por metro de sulco, o estabelecimento e, conseqüentemente, o número de perfilhos, assim como aumenta a percentagem de falhas de plantio, refletindo na redução significativa da produtividade agrícola (GARCIA, 2008).

3. Colheita mecanizada de cana-de-açúcar

A colheita mecanizada da cana-de-açúcar representa a necessidade de mão de obra, aliada à busca por rendimentos satisfatórios, menores custos de produção e leis ambientais a cumprir. Segundo IEA (2008), foi acordado para 2014 e 2017 o término da queima para áreas mecanizáveis e não-mecanizáveis, respectivamente. Às usinas que aderirem ao cumprimento das regras estabelecidas garantirão o selo ambiental, o qual contribuirá para facilitar a comercialização do etanol.

COSTA NETO (2006) adverte que a mecanização da colheita de cana-de-açúcar é inevitável, pois uma colhedora equivale a 100 cortadores, podendo chegar ao rendimento de 15 a 20 t h⁻¹, comparada a 5 ou 6 t dia⁻¹ por pessoa. O autor afirma, ainda, que programas educacionais e de qualificação profissional são essenciais, assim como políticas públicas objetivas para minimizar reflexos do êxodo rural que provavelmente ocorrerá nos próximos anos.

As perdas quantitativas no campo, as reduções da qualidade da matéria-prima e redução da longevidade do canavial na colheita mecanizada de cana-de-açúcar têm causado preocupações relevantes. No Brasil, na última década, vêm ocorrendo mudanças gradativas na operação de corte de cana-de-açúcar. Em 1950, observava-se que a referida operação era realizada em condições de cana-de-açúcar crua com despilha manual, com os colmos dispostos em eitos formados a partir de três linhas de plantio, no sentido longitudinal do corte, para facilitar o carregamento manual. A vantagem desse sistema era a entrega à unidade industrial de matéria-prima praticamente isenta de impurezas (RIPOLI & RIPOLI, 2005).

Segundo VOLPATO (2001), a cultura colhida mecanicamente tem a qualidade tecnológica reduzida, quando da utilização do cortador de base por rebolos fragmentados, devido à facilidade de contaminação e incorporação de terra. Isso ocorre quando as lâminas dos discos dos cortadores trabalham em contato ou abaixo da superfície do solo e/ou o sistema radicular de soqueiras arrancadas for carregado com a cana-de-açúcar.

RODRIGUES (2008) encontrou valores de 3,06 US\$ t⁻¹ para o custo da colheita mecanizada de cana crua e de 7,74 US\$ t⁻¹ para a colheita manual de cana crua, observando-se redução de 60,46% em favor do custo da tonelada colhida mecanicamente.

Na região de Bandeirantes, Estado do Paraná, a colheita mecanizada da cana-de-açúcar crua foi técnica e economicamente promissora. Entretanto, devido aos altos custos envolvidos, os autores recomendam expansão do estudo em área total, visando à comparação da viabilidade do investimento (RODRIGUES & SAAB, 2007).

4. Perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar

De acordo com medições feitas pelo CTC (Centro de Tecnologia Canavieira), 10% da matéria-prima colhida é perdida no campo quando o corte é mecanizado, representando prejuízo da ordem de US\$ 450 milhões por ano (MAGALHÃES et al., 2006). A colheita mecanizada apresenta alguns inconvenientes, tais como o aumento dos índices de material estranho na matéria-prima, implicando redução da qualidade, além dos colmos e frações deixados no campo.

NEVES (2003), na busca de alternativas para reduzir perdas invisíveis, observou variação de 2 a 11% nessas perdas relacionadas aos sistemas das colhedoras. O autor define perdas visíveis como aquelas passíveis de quantificação no campo, constituindo, principalmente, de canas-de-açúcar inteiras, rebolos e tocos resultantes da altura do corte basal. A definição para perdas invisíveis resume-se naquelas impossíveis de serem levantadas diretamente no campo, caracterizadas na forma de caldo, serragem e estilhaços de cana. Basicamente, as perdas invisíveis ocorrem devido à ação de mecanismos rotativos que cortam, picam e limpam a cana-de-açúcar durante o processamento interno nas colhedoras. Evidentemente que as perdas na colheita são indesejáveis, tanto na operação manual quanto na mecanizada, sendo discutidas a redução de prejuízos e a otimização da produção.

As perdas e a contaminação da cana-de-açúcar com terra durante o processo de colheita estão associadas diretamente ao acompanhamento inadequado do microrrelevo do solo e da varredura ineficiente realizados pelo cortador basal (OLIVEIRA, 2003).

Devido às máquinas não terem eficientes sistemas de corte, a altura na qual o colmo é cortado pode chegar a 50 cm, caracterizando pedaços fixos ao solo, no entanto, a altura de corte do colmo em relação ao solo será maior quanto pior o sistema de cultivo da lavoura. Quando o sulco de plantio é muito profundo, e a colocação de terra sobre a muda é reduzida, podem ser formadas leiras muito altas, que limitam a máquina quanto ao atingimento à base do colmo (BALSALOBRE et al., 1999).

De acordo com RIPOLI & RIPOLI (2005), sob o ponto de vista fisiológico, a colheita representa o final do ciclo de crescimento e de maturação, atingindo o máximo de produtividade agrícola, em função das condições edafoclimáticas do local, da tecnologia agrônômica e das variedades atingidas.

RIPOLI (1996) afirma que os sistemas de colheita não envolvem apenas aspectos relativos às condições de campo (solo, relevo, variedade, espaçamento, formato do talhão, etc.), tipo de equipamento utilizado e gerenciamento. Refletem, também, a necessidade de melhora da qualidade da matéria-prima colhida e do meio ambiente, devido à prática da queima de pré-colheita. A qualidade em questão envolve desde os cuidados com o solo, tratos culturais, prevenção de pragas e doenças, controle de plantas daninhas, condução da cultura e da própria colheita e até mesmo com o ambiente e a saúde humana.

As perdas e a contaminação da cana-de-açúcar com solo durante o processo de colheita estão associadas diretamente ao acompanhamento inadequado do microrrelevo do solo e da varredura ineficiente realizados pelo cortador basal (VOLPATO et al., 2002; OLIVEIRA, 2003). Em certos casos, essas perdas chegaram a 10%, e as quantidades de terra incorporadas aos colmos estão entre 3 e 5 kg por tonelada (BRAUNBECK, 1999).

O canavial pode apresentar longevidade reduzida quando a colheita é mecanizada. Tal prática influencia na rebrota, tornando-a irregular ou deficiente, em função do esmagamento de colmos, da altura inadequada de corte, da remoção de soqueiras e da compactação. De acordo com NUSSIO & SCHMIDT (2006), esses fatores são agravados pela manutenção inadequada das facas desgastadas das colhedoras devido à robustez da cana-de-açúcar. Os autores comentam, ainda, que a perda na eficiência do corte prejudica as touceiras por esmagamento e por maceração de colmos, promovendo remoções indevidas.

GARCIA et al. (2006), ao estudarem o desempenho operacional da colhedora de cana-de-açúcar inteira, aliando a quantificação das perdas visíveis e invisíveis durante a colheita mecanizada de tal cultura, obtiveram números próximos a 7,7% de perdas na

colheita de cana-de-açúcar queimada durante as avaliações. No estudo, considerando os mecanismos de transporte e transbordagem, esse percentual atingiu 29% de perdas.

O corte basal é um dos itens de maior importância nas colhedoras de cana-de-açúcar, pois está diretamente ligado à qualidade da matéria-prima e aos níveis de perdas na colheita. MAGALHÃES & BRAUNBECK (1998), citados por NEVES (2003), relatam que o mecanismo de corte basal, composto de discos duplos posicionados na entrelinha, não é adaptado para o sistema de plantio no sulco (predominante no Brasil). A ausência dos recursos de flutuação independente por disco, ao buscar o corte do colmo rente à superfície, corta também grande quantidade de solo encaminhada ao interior da colhedora.

O aumento da velocidade de saída de ar dos extratores das colhedoras é uma proposta para reduzir os índices de matéria estranha, contudo pode aumentar as perdas visíveis em níveis inaceitáveis economicamente. Colmos e/ou frações deixados no campo também são evidentes no sistema mecanizado da colheita de cana-de-açúcar e são classificados como perdas visíveis. Alterando a velocidade do extrator primário e monitorando com sensor (piezelétrico) desenvolvido especialmente para esse fim, obtiveram-se cerca de 85% de eficiência de limpeza do extrator primário e perdas entre 2,5 e 5,7% de cana-de-açúcar em geral. A velocidade do ventilador está diretamente relacionada às perdas totais, sendo a variável lascas representada por 0,9 e 3,9% do total das perdas, apontando diferença significativa entre os tratamentos estudados (NEVES et al., 2004).

NEVES et al. (2006) estudaram o desempenho dos sistemas de processamento (rolos alimentadores, rolos picadores e sistema de limpeza) das colhedoras no processo de colheita de cana-de-açúcar com e sem palha. Foi observado que a redução de 25% na velocidade de rotação do extrator primário reduz em aproximadamente um ponto percentual as perdas invisíveis e de três a quatro pontos percentuais a eficiência de limpeza. A eficiência de limpeza da matéria-prima ficou entre 74% e 80% para matéria seca, na rotação de 1.000 e 1.350 rpm, no extrator primário, respectivamente.

5. Danos às soqueiras

As colhedoras cortam a cana em sua base pelo impacto, usando um disco rotativo com múltiplas lâminas. O rolo defletor empurra a cana para frente antes de cortá-la, para facilitar a alimentação pelos rolos alimentadores. A deflexão e o corte de base são responsáveis por danos na cana colhida e na soqueira, causando grande volume de perdas, tanto de massa como por deterioração, além de facilitar o ataque de fungos e doenças na soqueira (MELLO & HARRIS, 2003).

A qualidade dos rebolos colhidos também afeta a qualidade da matéria-prima entregue às usinas. O tamanho médio e a natureza do corte são dois fatores fundamentais na determinação da qualidade. Segundo STUPIELO & FERNADES (1984), o “bom corte” é dado aos rebolos que não apresentam sinais de dilaceração, causados pelas facas do corte basal ou pelas do rolo picador, ou esmagamento, causado pelos rolos alimentadores. O corte de base mecanizado é composto de discos duplos posicionados na entrelinha, porém não é adaptado para o sistema de plantio no sulco, e como não apresenta recursos de flutuação independente para cada disco, implica movimentação de grande quantidade de solo.

RAFULL (2003) afirma que a dificuldade dos mecanismos de corte das colhedoras de grãos e de cana-de-açúcar em acompanhar, de maneira eficiente, o perfil do terreno pode favorecer a realização de um corte acima da altura ideal. Esses fatos provocam perdas, presença de impurezas no material colhido, desgaste excessivo das lâminas de corte, sobrecarga dos elementos de transmissão, aumento da exigência de potência e, no caso da cana-de-açúcar, ainda danos às soqueiras.

As colhedoras de cana-de-açúcar cortam os colmos em sua base pelo impacto de múltiplas lâminas montadas em dois discos rotativos. No corte por impacto, a força predominante é normal ao perfil da lâmina e causa grandes danos na soqueira e na cana colhida (MELLO, 2005).

De acordo com NEVES et al. (2004), o desgaste das facas do corte basal está fortemente associado ao controle de altura do mecanismo de corte basal. O solo empolado pelas facas causa-lhe desgaste prematuro, danificando os rebolos, além de aumentarem os índices de impurezas na carga. Essa situação implica redução da qualidade tecnológica da matéria-prima fornecida para a moagem e nas perdas de cana-de-açúcar no campo, além de requerer alta potência para cortar e movimentar o volume de solo.

6. Estatística descritiva

A estatística descritiva, vista do ponto de partida para a manipulação de dados, desconsidera a posição das amostras, considerando somente os valores obtidos na amostragem. Na ocorrência de um ponto atípico, é recomendada, primeiramente, a consistente verificação da informação e, caso exista erro, torna-se necessário retirar tal informação (FREDDI, 2003).

Segundo GOMES (2000), a média aritmética é considerada medida de posição ou medida de tendência central e, por si só, fornece uma idéia dos dados da amostra; já a mediana é o valor que divide o conjunto em duas partes iguais, mostrando o centro de forma rigorosa, sendo essa a medida preferida nos casos em que a distribuição é assimétrica em torno da média. A moda exprime o valor de maior ocorrência e, se os dados estiverem agrupados segundo determinada a distribuição de frequência, essa representa o valor no qual a distribuição atinge o pico.

As medidas de dispersão visam a fornecer o grau de variabilidade das observações, usando como padrão uma medida de tendência central. Enquanto as medidas de tendência centrais indicam a posição de uma distribuição, as medidas de dispersão mostram a variabilidade de tal distribuição (FREDDI, 2003).

O coeficiente de assimetria (C_s) indica o afastamento da variável em relação a um valor central, ou seja, caracteriza como e quanto a distribuição de frequência afasta-

-se da simetria. Para valores de $C_s > 0$, a distribuição é assimétrica à direita; se $C_s < 0$, a distribuição é assimétrica à esquerda, e se $C_s = 0$, a distribuição é simétrica (GUIMARÃES, 2001).

O índice de curtose (C_k) mostra a dispersão (achatamento) da distribuição em relação a um padrão, geralmente a curva normal. No programa computacional GS+[®], a distribuição simétrica (distribuição normal) corresponde ao índice de curtose de valor $C_k = 0$ (FREDDI, 2003).

O teste de normalidade ou prova de Kolmogorov-Smirnov mede o grau de concordância entre a distribuição de um conjunto de valores amostrais (observados) e determinada distribuição teórica. A prova compara a distribuição de frequência acumulada observada com a teórica e determina o ponto em que essas duas distribuições acusam a maior divergência. Essa aplicação específica é testada com a distribuição normal (SESTATNET, 2006).

7. Controle estatístico de processo

O Controle Estatístico de Processos (CEP) envolve basicamente o desenvolvimento e a interpretação dos resultados de gráficos de controle de processos e a utilização de técnicas para a identificação de causas de problemas e oportunidades de melhoria da qualidade (REIS, 2001).

Para o termo qualidade, destacam-se a excelência e a regularidade para REEVES & BEDNAR (1994). A excelência como definição de qualidade significa o padrão mais elevado de desempenho, enquanto a regularidade, quando utilizada para definir a qualidade, representa uniformidade, ou seja, a obtenção de produtos e serviços mais parecidos possíveis.

VIEIRA (1999) define qualidade em função da variabilidade de produção, ou seja, dois produtos jamais serão idênticos. Dessa forma, qualidade é entendida como sendo a redução da variabilidade obtida por meio do Controle Estatístico de Processo (CEP).

Para a realização do controle de qualidade em um processo agrícola, é essencial o uso de indicadores que possibilitem o estabelecimento de metas quantificadas, permitindo a análise crítica de desempenho do processo avaliado (TAKASHINA & FLORES, 1996).

Segundo DODSON (1998), sob o ponto de vista agrônomo, a qualidade pode ser definida como a realização de operações agrícolas ou a obtenção de produtos que se encontram dentro de especificações ou de determinados padrões agrônomo recomendados. O controle da produção não deve ser feito unicamente na etapa final de produção, pois cada perda, por menor que seja, representa desperdício. Nesse contexto, o uso do Controle Estatístico de Processo (CEP) assume grande importância, pois o mesmo tem como objetivo detectar rapidamente alterações dos parâmetros de determinados processos para que os problemas possam ser corrigidos antes que muitos itens não-conformes sejam produzidos. Os parâmetros que caracterizam a qualidade do processo são estimados com base em amostras constituídas de itens do mesmo.

PECHE FILHO et al. (1994) relataram que a interdependência entre as operações agrícolas apresenta importância fundamental, pois os defeitos de determinada operação podem comprometer a operação subsequente. Dessa forma, o controle de qualidade em operações agrícolas deve constituir-se em um conjunto de procedimentos que produzam serviços e resultados que atendam de forma precisa às exigências da operação seguinte.

Segundo BONILLA (1995), algumas ferramentas, tais como: histogramas, cartas de controle por variáveis, medidas de tendência central (média aritmética, mediana e moda), medidas de dispersão (amplitude, desvio-padrão e coeficiente de variação) e medidas de assimetria e de curtose, são destacadas no Controle Estatístico de Processo. Diversos autores utilizaram a ferramenta estatística carta de controle em experimentos, possibilitando observar variações ou oscilações em operações agrícolas que estejam fora dos padrões especificados para o processo. A carta de controle é composta por uma linha média e outras duas linhas (superior e inferior), que representam os limites de controle e os valores característicos do processo. Os limites

de controle são estimados pelo valor médio, somado ou subtraído a três vezes o desvio-padrão. Quando todos os pontos do gráfico estão localizados entre os limites de controle, o processo está sob controle. Quando, no mínimo, um ponto é encontrado fora desses limites, o processo está fora de controle.

TRINDADE et al. (2000) sugerem que a elaboração das cartas básicas de controle pode ser por variáveis ou atributos. Nas cartas básicas por variáveis, há variação de modo quantitativo, podendo ser subdivididas em cartas de controle pela média, pela amplitude e pelo desvio-padrão, e cartas de dispersão do desvio-padrão e da amplitude. No caso das cartas de controle por atributos, a variação é obtida de modo qualitativo, podendo ser subdivididas em cartas da fração defeituosa e cartas do número total de defeitos por unidade. O CEP foi desenvolvido e utilizado por empresas na busca de melhoria de qualidade e de produtividade. Bons resultados e a possibilidade de utilização dessas ferramentas na agropecuária, aliadas aos bons resultados, propiciaram a abertura de caminhos para a realização de estudos, principalmente em operações mecanizadas.

MILAN & FERNANDES (2002) testaram a qualidade das operações de preparo do solo por controle estatístico de processo e concluíram que a utilização do controle na operação de escarificação proporcionou redução da variabilidade de dados de profundidade de trabalho média em 38,4%, e aumento de 45% dos dados desejados. Na gradagem, houve redução de 9,8% dos dados médios de tamanho de torrões e aumento de 75,0% de torrões aceitáveis. A implantação do controle nas operações foi viável e adequada ao sistema de produção em questão.

BONATO (2004) estudou as operações agrícolas em propriedade produtora de feno com o uso do Controle Estatístico de Processos e considerou as operações de sega e de enfardamento como críticas sob os pontos de vista econômico e qualitativo em relação ao produto final. O autor concluiu sobre a viabilidade da implantação de sistemas de controle de qualidade em operações agrícolas mecanizadas para a cultura do feno, por meio do CEP, que permitiu caracterizar, tecnicamente, a qualidade de execução das operações e gerar melhorias na qualidade do produto.

Ao analisar as operações agrícolas mecanizadas em um sistema de produção de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), FERNANDES (1997) observou que, apesar de a operação de subsolagem estar sob controle estatístico, os valores de profundidade de trabalho não eram compatíveis com as especificações da empresa, com menos de 30% dos pontos amostrados dentro do intervalo-padrão de 45 a 50 cm, desejados para a operação.

Aplicando o controle da qualidade em operações mecanizadas na cultura de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*), LOPES et al. (1995) concluíram que os índices de variação encontrados nas áreas analisadas foram muito elevados. Na análise do espaçamento entre sulcos, apesar de a média encontrar-se próxima da desejada, a variação entre os diversos grupos estudados estava fora de controle, sugerindo regulação inadequada do implemento ou erros na operação.

CORRÊA (2006), ao avaliar as perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar por controle estatístico de processo, obteve maiores percentagens de colmos com danos periféricos nas soqueiras para a colheita em cana-de-açúcar de terceiro corte, comparada ao quarto corte. Para a cana-de-açúcar de terceiro corte, as percentagens de colmos fragmentados e com danos periféricos foram maiores do que as percentagens de colmos sem danos e com rachaduras nas soqueiras. No quarto corte, a percentagem de colmos fragmentados foi superior aos demais parâmetros. O autor ainda concluiu que os indicadores relacionados às perdas na colheita e danos causados às soqueiras pelo mecanismo de corte basal demonstraram que a colheita mecanizada não se encontra sob controle estatístico de processo.

A implantação do controle estatístico de qualidade deve ser considerada como um processo de mudança organizacional e comportamental de toda a empresa. A direção da empresa tem papel fundamental no sucesso, na implementação da melhoria de qualidade e de produtividade. A importância da necessidade do diálogo entre chefia e funcionário com o objetivo de trocar informações é de extrema relevância. A coleta de dados do processo e da análise de como o sistema reage à mudança nas variáveis do processo é fundamental para determinar o que deve ser mudado e como deve ser iniciado o processo de mudança. Para isso, é destacada a importância do uso de

métodos estatísticos, como a inspeção de qualidade e as cartas de controle (CORTIVO, 2005).

8. Análise de capacidade do processo

A análise da capacidade envolve técnicas estatísticas durante todo o ciclo produtivo, com atividades de desenvolvimento anteriores à fabricação, quantificação da variabilidade do processo, análise dessa variabilidade em relação às especificações do produto, auxiliando a eliminar ou a reduzir substancialmente tal variabilidade (MONTGOMERY, 1997, citado por REIS, 2001).

De acordo com MEREDITH & SHAFER (2002), a capacidade do processo mede até que ponto determinado sistema de produção atende às especificações esperadas dependentes de localização da média, da estabilidade e da variabilidade natural inerente ao processo avaliado.

Utiliza-se a análise de capacidade de processo, em dados com distribuição de frequência normal ou normalizada e sob controle estatístico, para verificar se o processo é capaz de produzir produtos ou serviços que atinjam as metas especificadas. Portanto, se o processo não estiver sob controle, a estimativa da capacidade será incorreta (MINITAB, 2003).

Segundo MINITAB (2003), a capacidade do processo é determinada pela comparação entre os resultados obtidos no processo e a meta especificada. Em outras palavras, a abrangência da variação do processo é comparada com a abrangência dos limites especificados.

REIS (2001), citando MONTGOMERY (1997), relata alguns dos principais usos da análise de capacidade: prever a estabilidade do processo; auxiliar na seleção ou na modificação do processo; especificar requisitos de desempenho para novos equipamentos; auxiliar na escolha entre fornecedores; planejar a sequência dos

processos produtivos; reduzir a variabilidade e aferir o sistema de medição da qualidade.

O desempenho de um processo sob controle é previsível; por essa razão, pode-se avaliar a habilidade do processo em produzir resultados “nos padrões” e prever os resultados que se encontrarão “fora dos padrões”. Um processo considerado capaz está apto a produzir produtos ou serviços conforme as especificações prévias (MINITAB, 2003).

III. MATERIAL E MÉTODOS

O experimento foi realizado em áreas da Usina Estivas S.A., localizada no município de Arez - RN, cujas coordenadas geográficas estão definidas entre as latitudes 06°00' e 06°30' sul e longitudes 35°05' e 35°25' oeste, com altitude média de 115 m, apresentando clima As (tropical úmido), de acordo com a classificação de Köppen. O solo da área experimental é classificado por FERNANDES (2005) como ARGISSOLO Amarelo textura arenosa/média, com relevo suave ondulado, conforme o Sistema Brasileiro de Classificação de Solos (EMBRAPA, 1999). Os tratamentos compreendiam a área de 33 ha, porém, em ambos, 9,41% da área (3,105 ha) foram delimitadas em 50 pontos, espaçados de 27 x 23 m, em função do tamanho das áreas, formando malhas retangulares, padronizando a posição das amostras, conforme ilustrado na Figura 1.

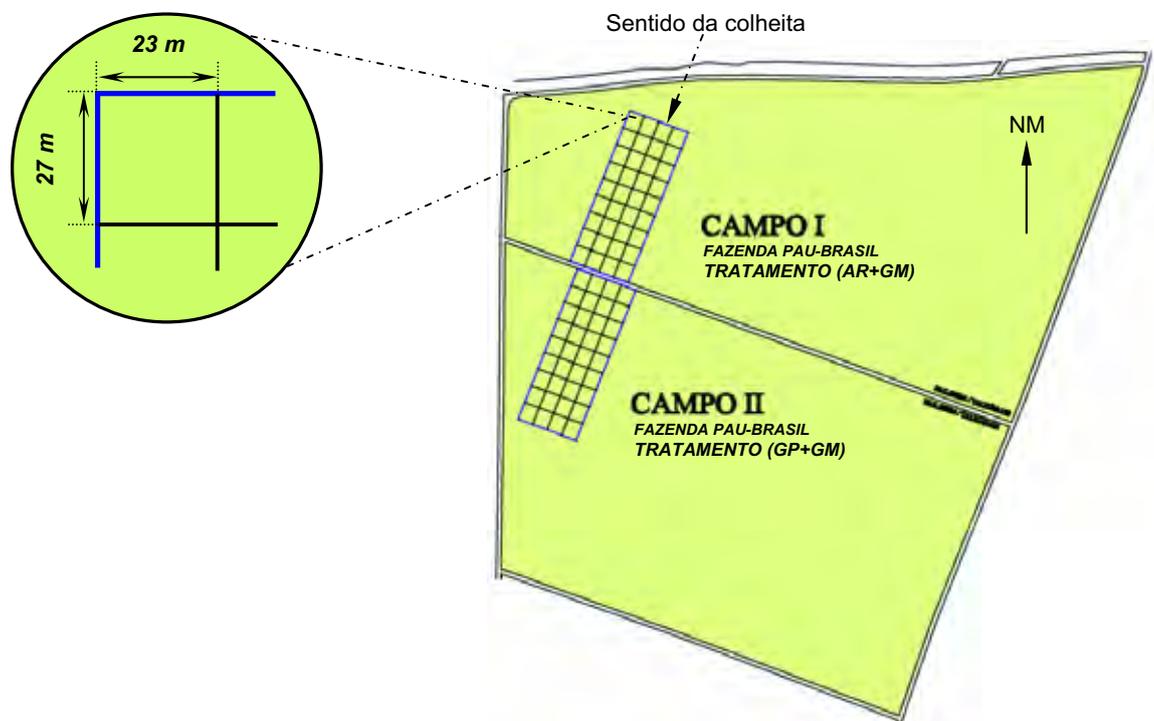


Figura 1. Áreas amostrais delimitadas por 50 pontos espaçados de 27 x 23 m.

As áreas amostradas estão localizadas na Fazenda Pau-Brasil, sendo o solo de ambas preparado de acordo com o sistema convencional de preparo do solo, manejados sob dois tipos, em função das diferentes máquinas (grades) e implemento (arado de aivecas) utilizados, originando os seguintes tratamentos:

- **AR+GM:** consiste em uma aração seguida de uma gradagem média.

O arado foi do tipo aivecas, constituído de quatro aivecas lisas, largura de corte de 1,6 m, profundidade de corte de 50 cm, altura do chassi de 68 cm e massa total de 964 kg, sendo a grade média do tipo de dupla ação, “off-set”, com 44 discos de 66 cm (26”), largura de corte de 4,8 m e massa total de 3.266 kg, e

- **GP+GM:** consiste em uma gradagem pesada seguida de uma gradagem média.

A grade pesada foi do tipo de dupla ação em “tanden”, com 18 discos de 81,3 cm (32”), largura de corte de 2,4 m e massa total de 3.352 kg, seguida da grade de discos média.

Em ambos os tratamentos (AR+GM) e (GP+GM), para prosseguimento do plantio, foram utilizados sulcadores-adubadores de duas linhas para a abertura e adubação de sulcos, sendo a distribuição das mudas feita manualmente ao longo das linhas. A cobertura foi realizada mecanicamente por meio do cobridor de duas linhas, que efetuava conjugalmente a aplicação de inseticida.

Os pontos amostrados foram georreferenciados com o auxílio de aparelho de GPS geodésico da marca Novatel, modelo DL4-plus (0,1 m de acurácia).

1. Colhedora

A colheita foi realizada pela colhedora de marca CASE IH (Figura 2), modelo A7000, ano de fabricação 1997, com 16.000 h de uso, equipada com motor Scania, modelo DS 11 - 95A, de 248 kW (332 cv) de potência no motor a 2.100 rpm. As especificações técnicas encontram-se no Apêndice 1.



Figura 2. Colhedora de cana-de-açúcar utilizada no experimento.

2. Variedade

A variedade de cana-de-açúcar cultivada em ambos os tratamentos foi a RB 92-579, desenvolvida pelo Programa de Melhoramento Genético da Cana-de-Açúcar (PMGCA), do Centro de Ciências Agrárias da Universidade Federal de Alagoas.

3. Estatística descritiva

Os dados foram inicialmente analisados por meio da estatística descritiva, permitindo a visualização comportamental de maneira geral (VIEIRA et al., 2002), assumindo a independência entre os dados, desconsiderando a influência do local de amostragem e das posições relativas. Foram calculadas a média aritmética e a mediana, ditas medidas de posição, a amplitude, o desvio-padrão e os coeficientes de variação, consideradas medidas de variação, e índices de assimetria e de curtose, sendo a averiguação da normalidade dos dados realizada pelo teste de Anderson-Darling.

4. Controle estatístico de processo

A análise da qualidade do processo de colheita mecanizada foi realizada por meio de cartas de controle por variáveis, utilizando as perdas quantitativas como indicadores de qualidade.

O modelo de carta de controle selecionado foi Individual de Amplitude Móvel (I-MR: Individual - *Moving Range*), que contém dois gráficos: o primeiro correspondendo aos valores individuais amostrados em cada ponto, e o segundo obtido pela amplitude calculada entre as duas observações sucessivas.

Os limites de controle foram estabelecidos considerando a variação dos dados devido a causas não-controladas no processo (causas especiais). Tais limites foram calculados com base no desvio-padrão das variáveis, como demonstrado nas equações (1) e (2).

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

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

em que:

LSC = limite superior de controle;

\bar{x} = média geral da variável;

σ = desvio-padrão, e

LIC = limite inferior de controle.

Quando o cálculo do LIC resultou em valores negativos, o mesmo foi considerado com valor nulo ($LIC=0$).

Para testar as causas especiais, utilizou-se do teste do “Automotive Industry Action Group (AIAG)”, citado por MINITAB (2003), que gera os erros correspondentes nas cartas de controle. Apesar de o programa e o teste utilizados permitirem a geração de vários tipos de erros, neste trabalho considerou-se somente o erro do “Tipo 1”. Esse erro considera como fora dos limites de controle, todo e qualquer ponto maior ou menor que a média, mais três vezes o desvio-padrão.

Quando uma observação apresentar falha no teste para causas especiais, o ponto é destacado na carta de controle, indicando variação não-aleatória nos dados, considerada como variação devido a causas especiais, devendo essa ser investigada.

Quando nenhum ponto é destacado na carta de controle, não há observação falha no processo, ou seja, não existem causas especiais de variação e, conseqüentemente, o processo está sob controle estatístico (Figura 3).

A opção pela não utilização de outros tipos de erros reporta-se ao fato de que as perdas quantitativas não foram cronologicamente amostradas, uma vez que a armação utilizada abrange cinco linhas colhidas em passagens diferentes da colhedora e tempos distintos. Convém ressaltar que as cartas de controle foram utilizadas, principalmente, como ferramenta de análise da variabilidade e dos indicadores de qualidade no processo de colheita.

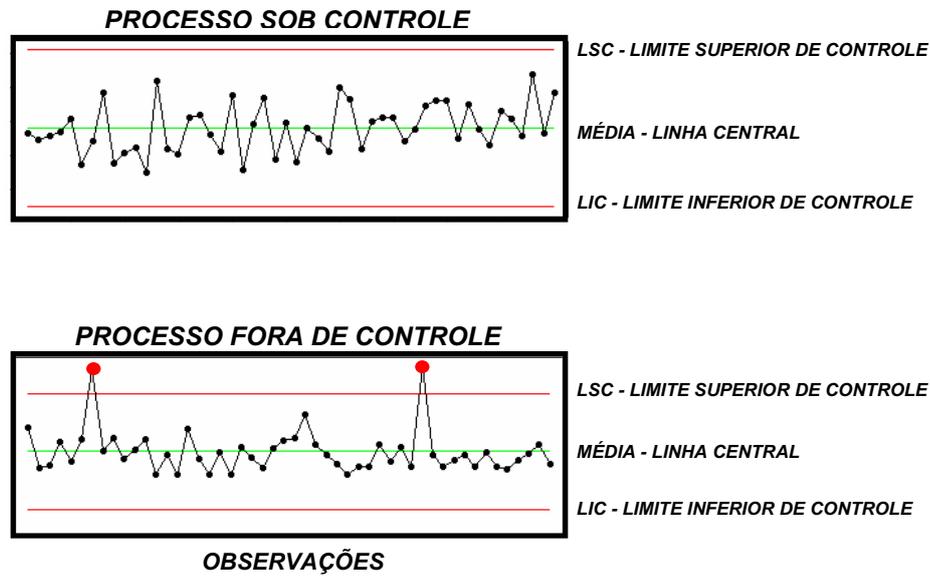


Figura 3. Estrutura das cartas de controle.

Foram preestabelecidos, também, os limites superior e inferior especificados como (LSE e LIE, respectivamente), de acordo com critérios adotados pela Usina Estivas S.A.

Como maneira simples de avaliar a capacidade do processo, utilizou-se dos índices de capacidade, que indicam a razão entre a abrangência da variação do processo e a abrangência dos limites especificados. São valores adimensionais, os quais podem ser usados para comparar a capacidade de diferentes processos. Os índices C_p e C_{pk} são obtidos utilizando o desvio-padrão do processo dentro dos subgrupos (σ_{subgrupo}), sendo indicativo da variação dos subgrupos, calculados conforme as equações (3), (4), (5) e (6):

$$C_p = \frac{LSE - LIE}{6\sigma_{\text{subgrupo}}} \quad (3)$$

$$C_{pk} = \text{mínimo} (C_{PI}, C_{PS}) \quad (4)$$

$$CPI = \frac{\bar{x} - LIE}{3\sigma_{\text{subgrupo}}} \quad (5)$$

$$CPS = \frac{LSE - \bar{x}}{3\sigma_{\text{subgrupo}}} \quad (6)$$

em que:

Cp = índice de capacidade potencial;

Cpk = índice de capacidade potencial mínimo;

CPI = índice de capacidade potencial em relação ao LIE;

CPS = índice de capacidade potencial em relação ao LSE;

LSE = limite superior especificado;

LIE = limite inferior especificado;

σ_{subgrupo} = desvio-padrão dentro dos subgrupos, e

\bar{x} = média da variável.

Os índices Pp e Ppk são obtidos utilizando o desvio-padrão de todas as medições (σ_{geral}), indicando a variação geral do processo, utilizando as equações (7), (8), (9) e (10):

$$Pp = \frac{LSE - LIE}{6.\sigma_{\text{geral}}} \quad (7)$$

$$Ppk = \text{mínimo } (PPI, PPS) \quad (8)$$

$$PPI = \frac{\bar{x} - LIE}{3.\sigma_{\text{geral}}} \quad (9)$$

$$PPS = \frac{LSE - \bar{x}}{3.\sigma_{\text{geral}}} \quad (10)$$

em que:

Pp = índice de capacidade geral;

Ppk = índice de capacidade mínimo geral;

PPI = índice de capacidade geral em relação ao LIE;

PPS = índice de capacidade geral em relação ao LSE;

LSE = limite superior especificado;

LIE = limite inferior especificado;

σ_{geral} = desvio-padrão geral, e

\bar{x} = média da variável.

5. Dados da cultura

A idade e o grau de maturação da cultura da cana-de-açúcar foram obtidos junto à área industrial da usina, por meio de amostragem de colmos e de análise laboratorial, para a determinação de Brix do caldo, Pol do caldo e percentagem de fibra. A avaliação da produtividade foi obtida pelo número de compartimentos cheios (“julietas”) retirados de cada área, e verificada a massa pelo setor de expedição/balança da usina.

6. Porte do canavial

O porte do canavial foi determinado por meio do triângulo-padrão proposto por RIPOLI (1996), o qual define a referida variável pela posição dos colmos em relação ao terreno, sendo ereto, acamado e deitado. O primeiro acontece quando o ângulo formado entre o colmo e a superfície do terreno for igual ou maior a 45°; o segundo, para ângulos entre 22,5 e 45°, e o terceiro é caracterizado por ângulos abaixo de 22,5° (Figura 4).

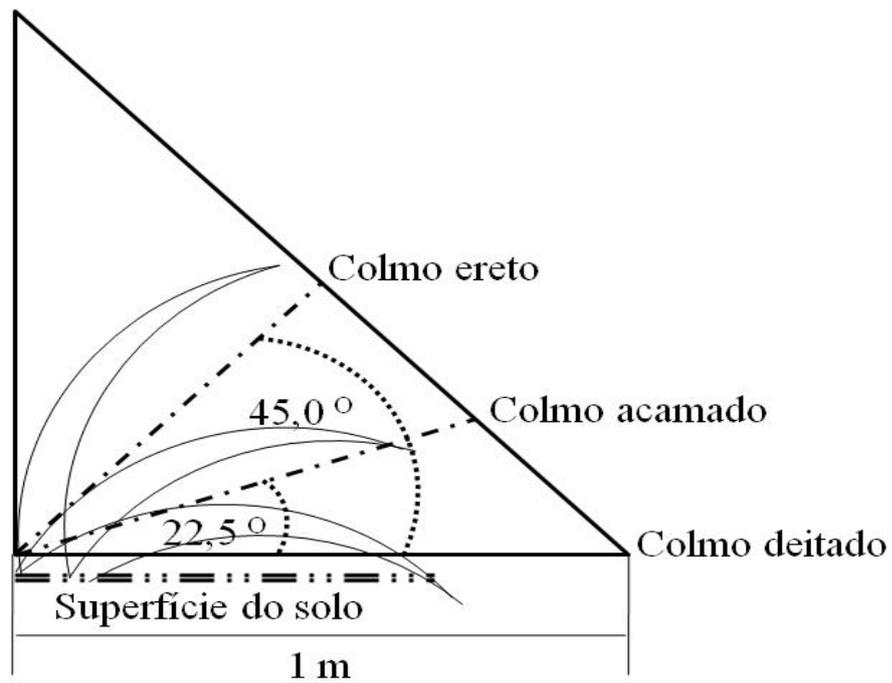


Figura 4. Triângulo-padrão. Fonte: Adaptado de RIPOLI (1996).

7. Armação

As perdas quantitativas foram determinadas por meio de amostragem realizada logo após a colheita, com armação de 30 m^2 ($7,0 \times 4,3 \text{ m}$) posicionada nas áreas demarcadas pelos pontos de cruzamento das malhas (Figura 5).



Figura 5. Armação utilizada na realização das amostragens.

8. Determinação do microrrelevo

A área do microrrelevo do solo foi obtida por meio de perfilômetro com dimensões de 1,40 x 0,40 m, graduado em 5 e 2,5 cm, largura e profundidade, respectivamente. O referido equipamento foi posicionado aleatoriamente nas áreas amostrais, sobre a linha plantada com cana-de-açúcar antes do tráfego das máquinas na colheita, totalizando 50 amostras de microrrelevo em ambos os tratamentos (Figura 6).



Figura 6. Perfilômetro posicionado na amostra.

9. Atributos de perdas

Após a coleta, as perdas quantitativas foram separadas, verificadas as massas e quantificadas de acordo com os seguintes atributos: RR - rebolo repicado; CI - cana inteira; CP - cana-ponta; PF - pedaço fixo; PS - pedaço solto; L - lasca; E - estilhaço; T - toco; PT - perdas totais, conforme especificadas no Quadro 1.

Quadro1. Descrições das perdas avaliadas.

ATRIBUTOS	DESCRIÇÕES	ILUSTRAÇÃO
Rebolo repicado	Fração do colmo com o corte característico do facão picador ou do corte de base, em ambas as extremidades.	
Cana inteira	Fração de cana com tamanho igual ou superior a 2/3 do comprimento total, preso ou solto ao solo pelas raízes.	
Cana-ponta	Fração de colmo deixada no solo e agregada ao ponteiro.	
Pedaço fixo	Segmento médio de cana (maior que 0,20 m), necessariamente preso ao solo.	
Pedaço solto	Segmento médio de cana (maior que 0,20 m), necessariamente solto ao solo.	
Lasca	Fração segmentada do rebolo.	
Estilhaço	Fragmentos de cana dilacerados.	
Toco	Fração do colmo cortada acima da superfície do solo, presa às raízes não arrancadas, com comprimento menor ou igual a 0,2 m.	

10. Desgaste das facas do corte basal

A avaliação do desgaste das facas do corte basal (Figura 7) foi determinada pelo método gravimétrico a cada duas horas de trabalho da máquina. Nos tratamentos em questão, seguem os intervalos de desgaste:

- (0 – 2h): indicando 2 horas de trabalho e/ou intervalo de desgaste de 0 a 2 horas;
- (2 – 4h): indicando 4 horas de trabalho e/ou intervalo de desgaste de 2 a 4 horas;
- (4 – 6h): indicando 6 horas de trabalho e/ou intervalo de desgaste de 4 a 6 horas;
- (6 - 2h^(v)): indicando 8 horas de trabalho, e/ou intervalo de desgaste de 6 a 8 horas, sendo as duas últimas horas realizadas com a faca virada.

Após os limites dos intervalos determinados pelo tempo preestabelecido, as facas, devidamente identificadas, foram limpas e tiveram as massas verificadas individualmente a cada 2 horas de trabalho por meio de balança digital de cinco casas antes e duas casas após a vírgula, com precisão de 0,01 g. O desgaste foi obtido por diferença de massa (antes e depois do tempo de trabalho).

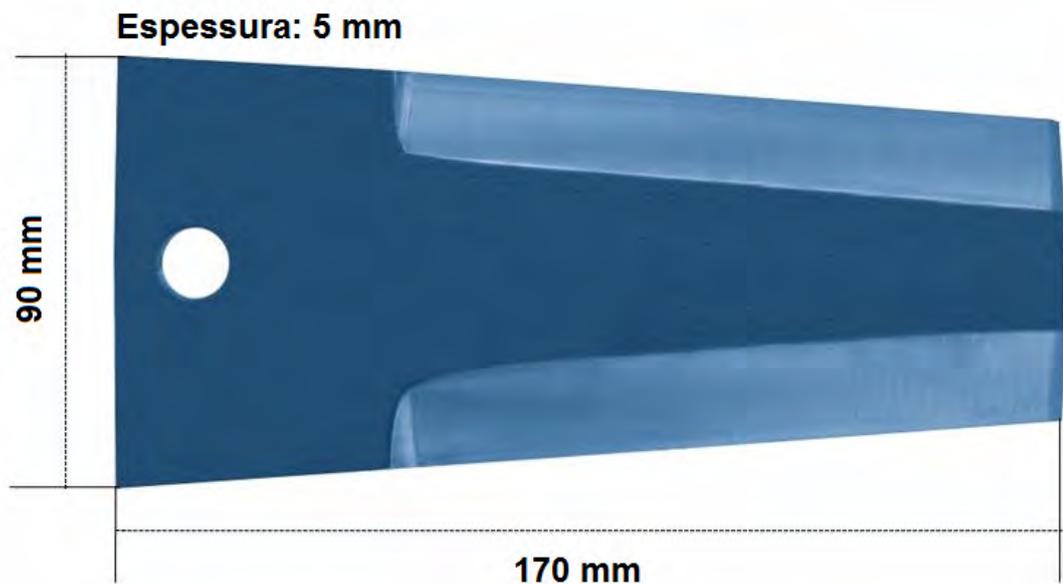


Figura 7. Faca do corte de base.

11. Danos às soqueiras

A colhedora iniciou o processo de colheita, com as facas do corte basal novas, exatamente pelo meio da área amostral, ou seja, abrindo de forma a separar a área colhida de acordo com os intervalos de desgaste preestabelecidos a cada 2 horas de trabalho, em ambos os tratamentos.

Foram selecionadas aleatoriamente 60 soqueiras em cada tratamento, divididas em quantidades iguais entre os intervalos de desgaste, sendo a avaliação realizada de forma visual no momento da seleção das soqueiras (Figura 8).

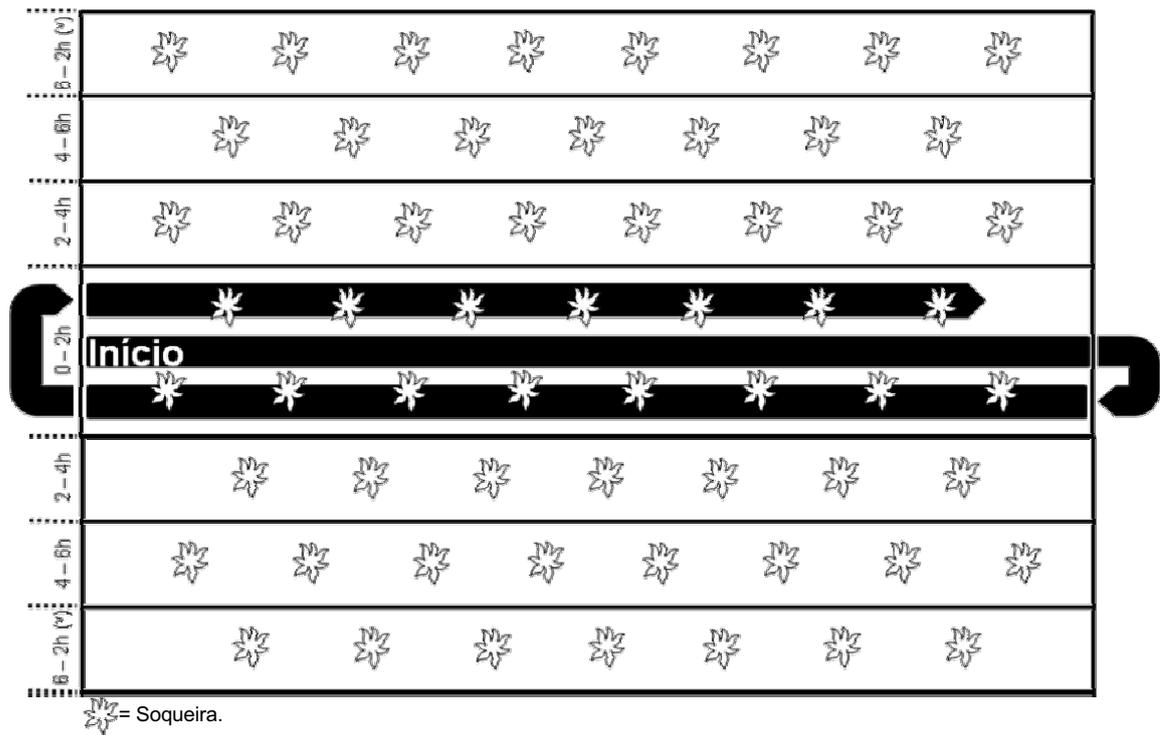


Figura 8. Esquema das soqueiras amostradas nos intervalos de desgaste.

Utilizando a metodologia adaptada de KROES (1997), citada por MELLO & HARRIS (2003), os danos causados às soqueiras nos intervalos de desgaste preestabelecidos foram avaliados e quantificados em graus, de acordo com a Figura 9.

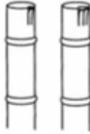
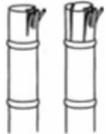
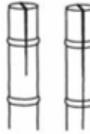
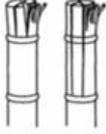
CLASSIFICAÇÃO DOS DANOS	GRAU	LIMITE INFERIOR	LIMITE SUPERIOR
<i>SEM DANOS</i>	1		
<i>DANOS PERIFÉRICOS</i>	2		
<i>RACHADURA</i>	3		
<i>FRAGMENTADO</i>	4		

Figura 9. Metodologia para a classificação dos danos às soqueiras. Adaptado de KROES (1997), citado por MELLO & HARRIS (2003).

IV. RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os dados referentes aos atributos estudados serão mostrados por meio de tabelas, acrescidos das cartas de controle e da análise de capacidade do processo para perdas quantitativas, para melhor análise e interpretação dos resultados.

1. Perdas quantitativas

Na Tabela 1, na qual são mostrados os parâmetros da estatística descritiva para as perdas quantitativas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua, em ambos os tratamentos (AR+GM) e (GP+GM), observa-se distribuição normal para os atributos perdas do tipo lasca e toco. Para os demais atributos (RR, CI, CP, PF, PS, E e TOTAIS), em ambos os tratamentos, a distribuição dos valores é caracterizada como assimétrica, de acordo com o teste de Anderson-Darling.

Os valores de amplitude, desvio-padrão e coeficiente de variação indicam a variabilidade dos dados existentes ao redor da média, além de servirem como medida dessa variação. Para os atributos toco e totais, notam-se baixos valores dos coeficientes de curtose e de assimetria. Também para esses atributos são observados os menores valores de coeficiente de variação, indicando menor variabilidade dos dados.

Tabela 1. Estatística descritiva para perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

Atributos	Tratamentos	Média	Mediana	Amplitude	Desvio	Coeficiente (%)			AD*
						Varição	Curtose	Assimetria	
		(kg ha ⁻¹)							
RR	(AR+GM)	1.418,1 a	1.333,3	2.760,0	683,9	48,2	0,05	0,16	A
	(GP+GM)	1.320,0 b	1.143,0	4.553,0	842,0	63,8	4,40	1,77	A
CI	(AR+GM)	497,6 a	146,7	2.920,0	678,0	136,3	3,08	1,71	A
	(GP+GM)	394,7 a	286,7	1.980,0	480,1	2,6	1,96	1,46	A
CP	(AR+GM)	430,0 a	358,4	1.658,4	385,7	89,7	1,31	1,25	A
	(GP+GM)	285,4 a	261,7	1.156,7	293,6	102,9	1,01	1,16	A
PF	(AR+GM)	583,0 a	347,0	3.507,0	786,0	135,0	5,57	2,27	A
	(GP+GM)	338,3 a	211,7	1.456,7	388,0	114,7	0,79	1,22	A
PS	(AR+GM)	87,8 a	0,0	906,7	243,9	277,9	5,22	2,59	A
	(GP+GM)	81,1 a	0,0	806,7	175,7	216,6	5,57	2,35	A
L	(AR+GM)	449,9 a	456,7	866,7	195,0	43,3	0,08	-0,03	N
	(GP+GM)	523,4 a	500,0	1.370,0	325,1	62,1	0,12	0,40	N
E	(AR+GM)	197,7 a	163,3	960,0	194,2	98,2	7,32	2,39	A
	(GP+GM)	138,9 a	128,3	510,0	112,5	81,0	1,44	0,93	A
T	(AR+GM)	3.444,0 a	3.502,0	5.433,0	1.260,0	36,6	0,17	0,32	N
	(GP+GM)	2.167,0 b	2.062,0	3.503,0	864,0	39,9	-0,64	0,24	N
TOTALIS	(AR+GM)	7.108,0 a	6.865,0	7.060,0	1.699,0	23,9	-0,13	0,65	A
	(GP+GM)	5.249,0 b	5.050,0	3.527,0	1.031,0	19,7	-1,19	0,28	A

AR = arado de aivecas; GP = grade pesada; GM = grade média. Médias seguidas de mesmas letras minúsculas entre atributos não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. RR = rebolo repicado; CI = cana inteira; CP = cana-ponta; PF = pedaço fixo; PS = pedaço solto; L = lasca; E = estilhaço; T = toco. *Distribuição de frequência pelo teste de Anderson-Darling ($\alpha = 0,05$): N = normal; A = assimétrica.

Observam-se menores valores de amplitude para perdas por estilhaço e pedaço solto em ambos os tratamentos. Entretanto, os coeficientes de variação para tais atributos mostram-se muito altos, indicando a ocorrência de valores extremos em pontos isolados para as amostras, fato esse demonstrado também pela discrepância entre os valores de média e de mediana. Para o atributo pedaço solto, observa-se valor zero para a mediana em ambos os tratamentos, indicando a não-ocorrência desse atributo em grande parte das amostras. Notam-se altos valores de amplitude para rebolo repicado, toco e perdas totais, caracterizando variabilidade entre os dados, porém os coeficientes de variação para essas variáveis, em ambos os tratamentos, estão entre os menores, indicando a ocorrência de valores extremos entre as amostras.

Os coeficientes de assimetria e de curtose demonstram afastamento dos dados em torno da média (valores distantes de zero), caracterizando as distribuições assimétricas. Para os atributos analisados, com exceção das perdas por lasca e toco,

que apresentaram distribuições normais com valores próximos à zero, as distribuições foram assimétricas.

Verifica-se diferença estatística entre os tratamentos, para os atributos do tipo RR, T e TOTAIS, sendo os maiores valores de perdas quantificados para o tratamento utilizado de arado de aivecas seguido de grade média. Os outros atributos estudados não diferiram estatisticamente entre os tratamentos, pelo teste de médias de Tukey, a 5% de probabilidade.

Observa-se, para a perda do tipo toco, a maior representatividade entre os atributos estudados, sendo a mesma responsável por 48,45 e 41,28% das perdas totais para os tratamentos (AR+GM) e (GP+GM), respectivamente.

As perdas dos tipos lasca e estilhaço, algumas vezes não contabilizadas no processo de avaliação de perdas, foram responsáveis por (6,3 e 10,0% - lasca) e (2,8 e 2,6% - estilhaço) das perdas totais para os tratamentos com arado seguido de grade média e grade pesada seguida de grade média, respectivamente, diferindo das percentagens encontradas para o atributo lascas por NEVES et al. (2004). Segundo os autores, o aumento da velocidade de saída de ar dos extratores das colhedoras, utilizado para reduzir os índices de matéria estranha, pode aumentar as perdas em níveis inaceitáveis economicamente, estando as perdas de cana-de-açúcar em geral (entre 2,5% e 5,7%) e a velocidade do ventilador diretamente relacionadas. As perdas totais e principalmente lascas (entre 0,9% e 3,9%) apontaram diferenças significativas entre os tratamentos estudados.

2. Controle estatístico do processo

Nas Figuras 10 a 18, são apresentadas as cartas de controle (amplitude e dados individuais) para os oito atributos de perdas, em ambos os tratamentos (AR+GM e GP+GM), no intuito de mostrar a variabilidade espacial do processo de colheita mecanizada de cana-de-açúcar crua.

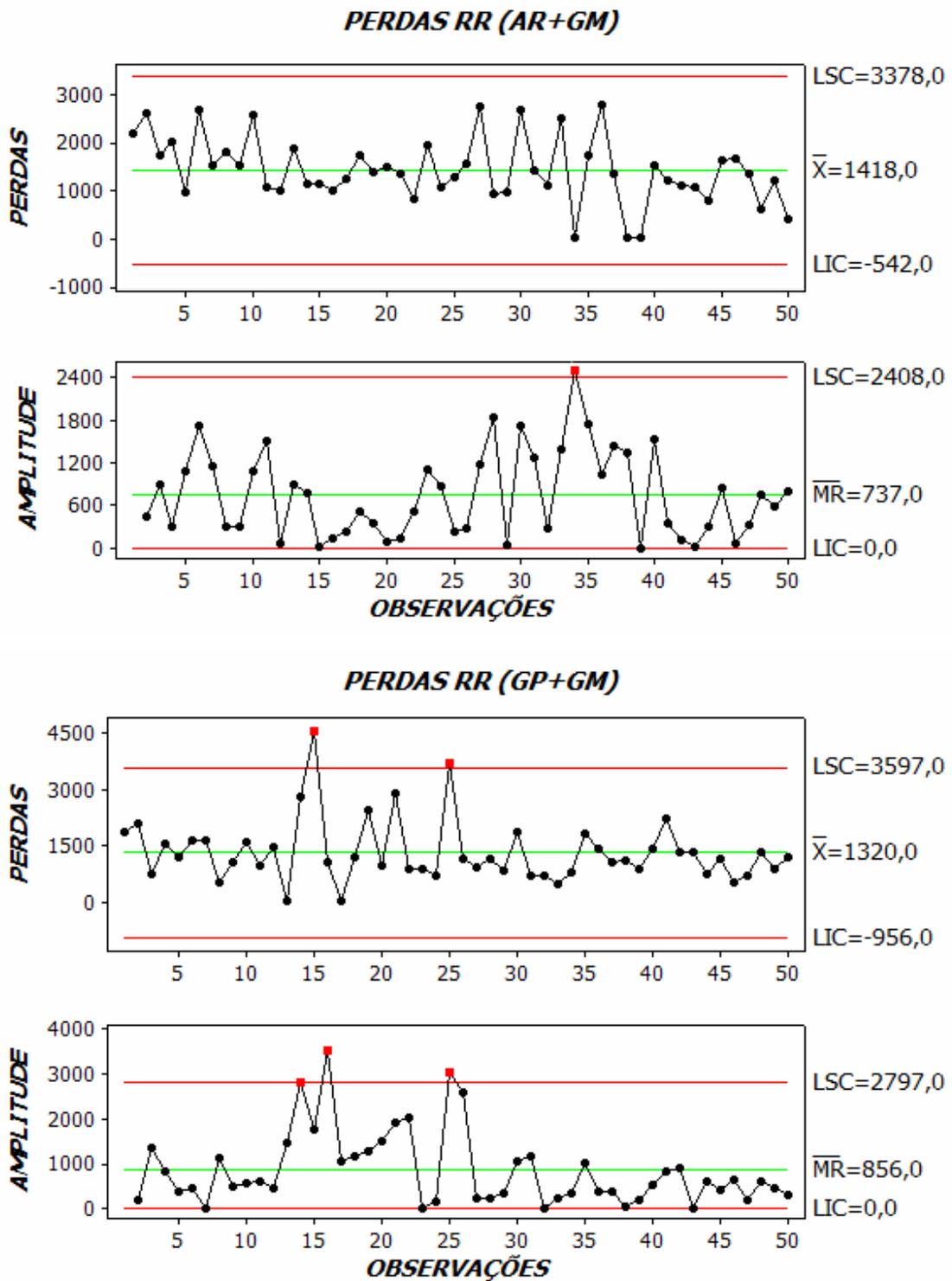


Figura 10. Cartas de controle para perdas de rebolo repicado (kg ha^{-1}).

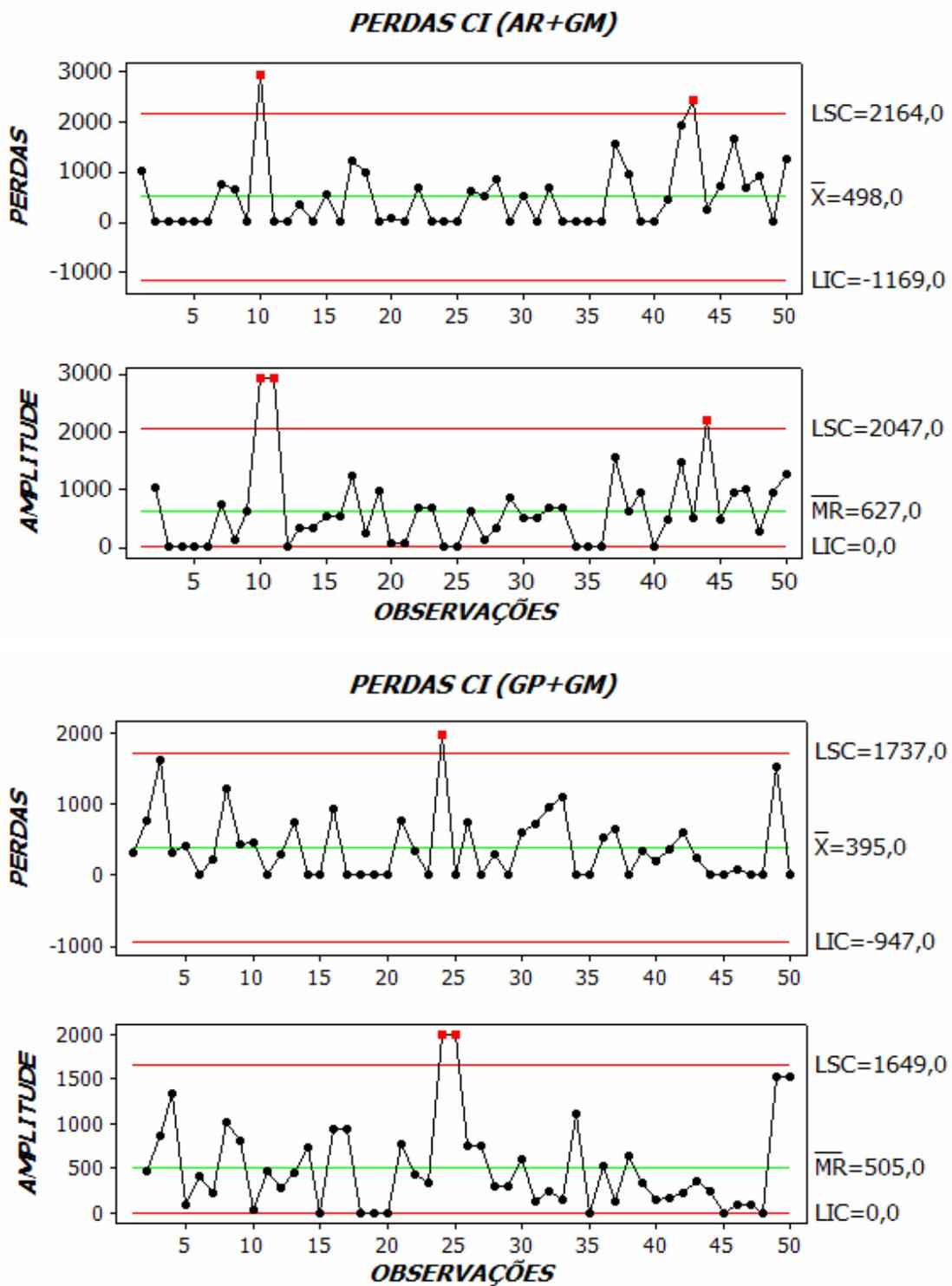


Figura 11. Cartas de controle para perdas de cana inteira (kg ha^{-1}).

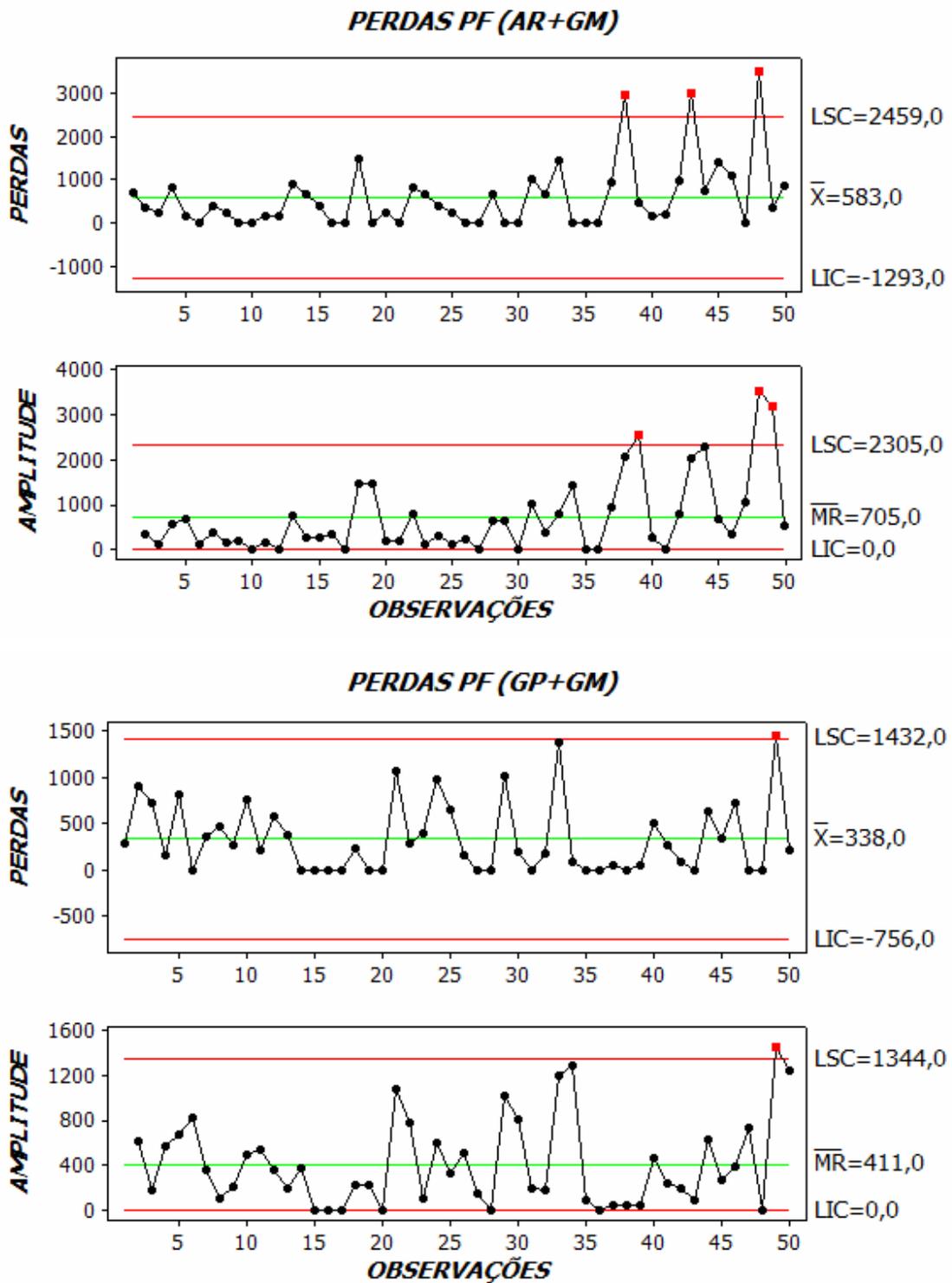


Figura 13. Cartas de controle para perdas de pedaço fixo (kg ha^{-1}).

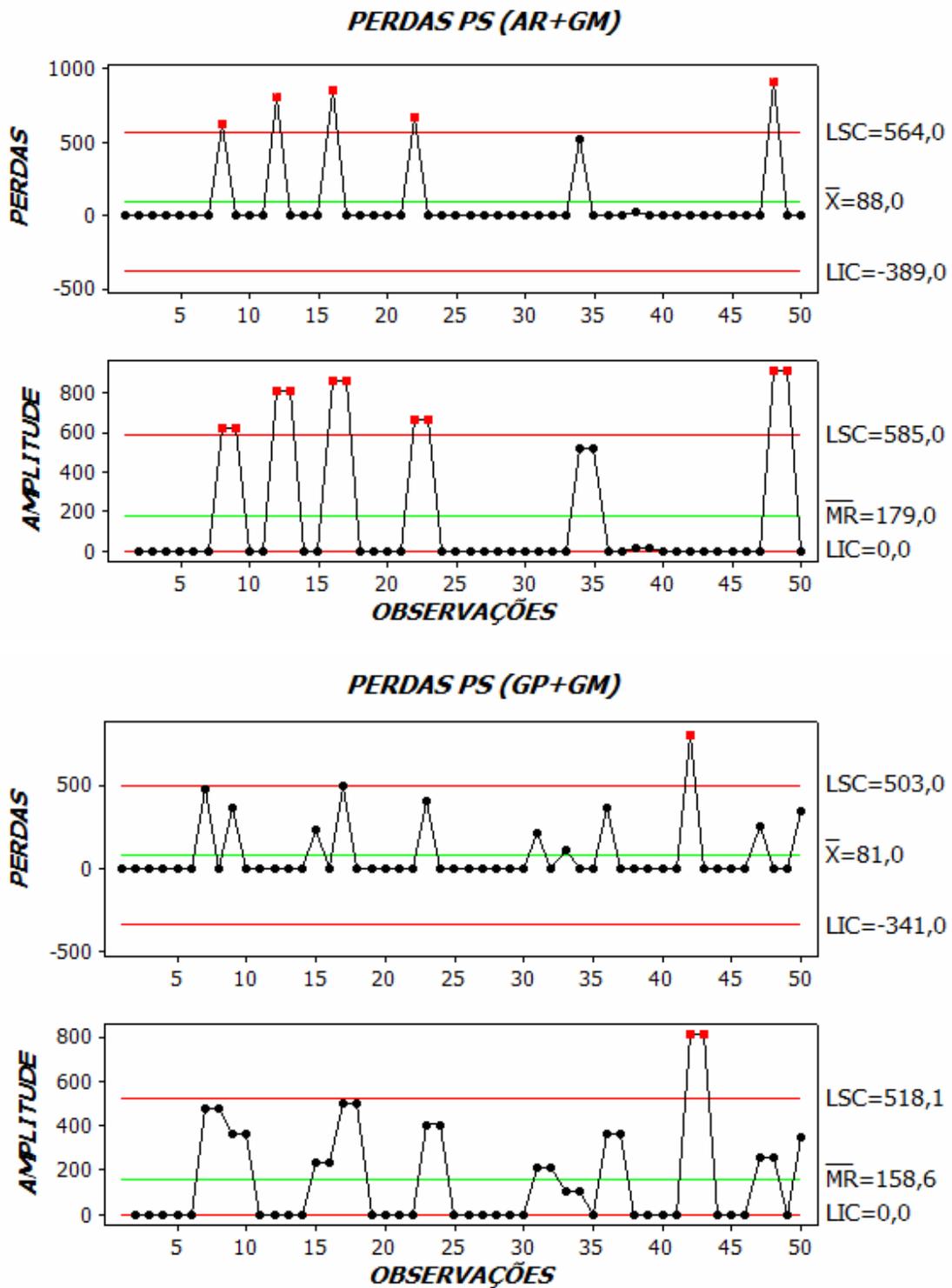


Figura 14. Cartas de controle para perdas de pedaço solto (kg ha^{-1}).

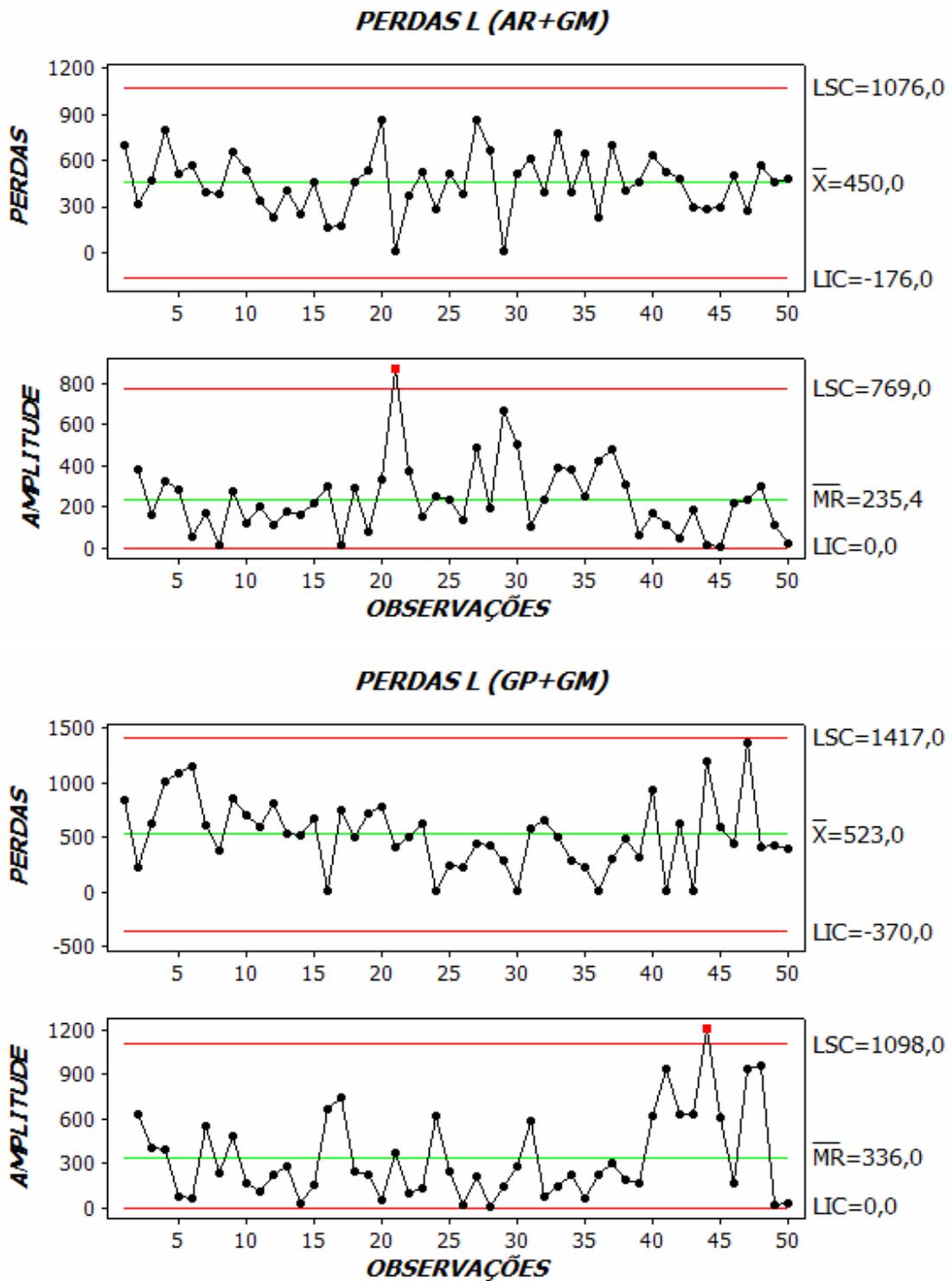


Figura 15. Cartas de controle para perdas de lasca (kg ha^{-1}).

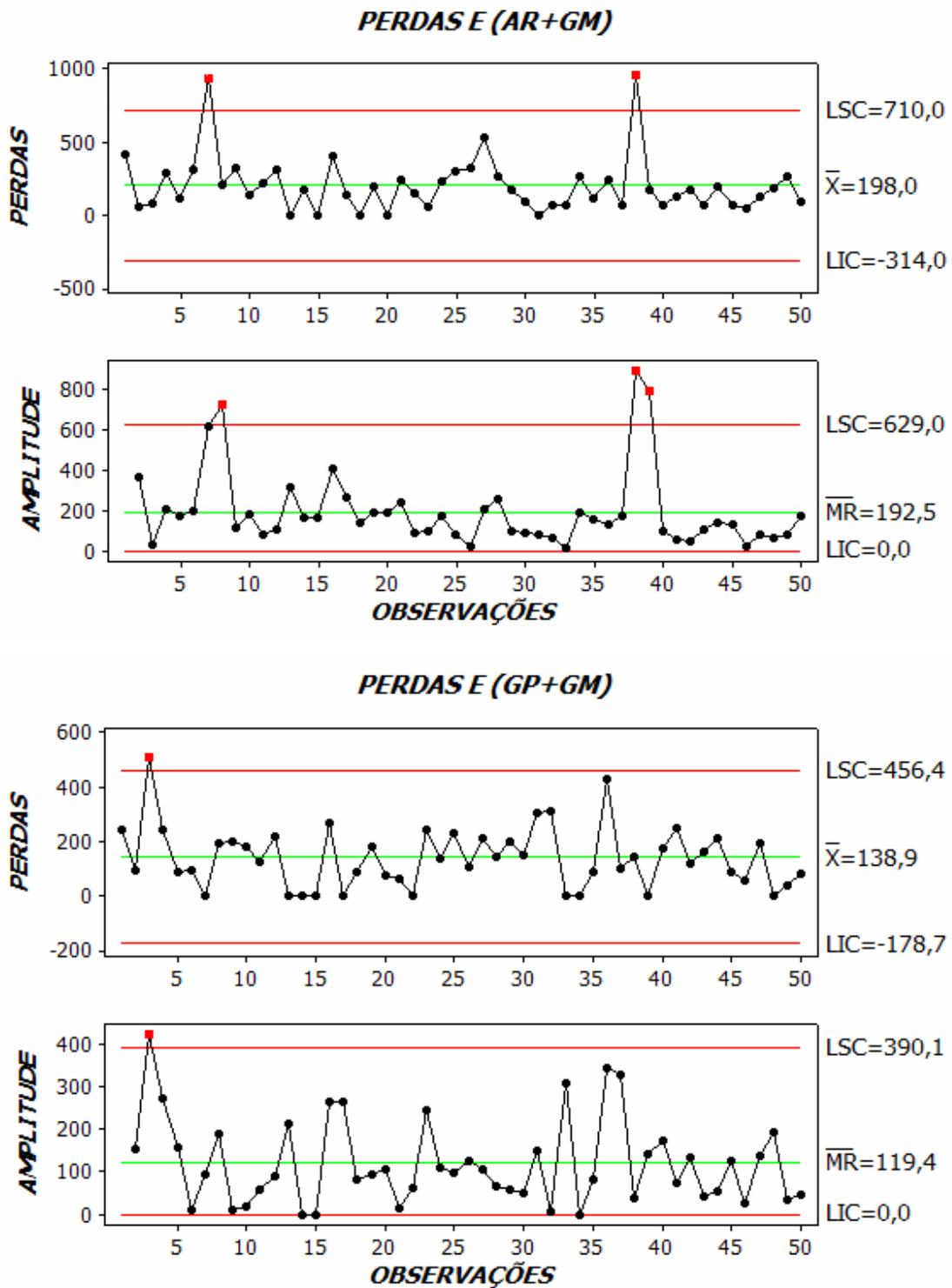


Figura 16. Cartas de controle para perdas de estilhaço (kg ha^{-1}).

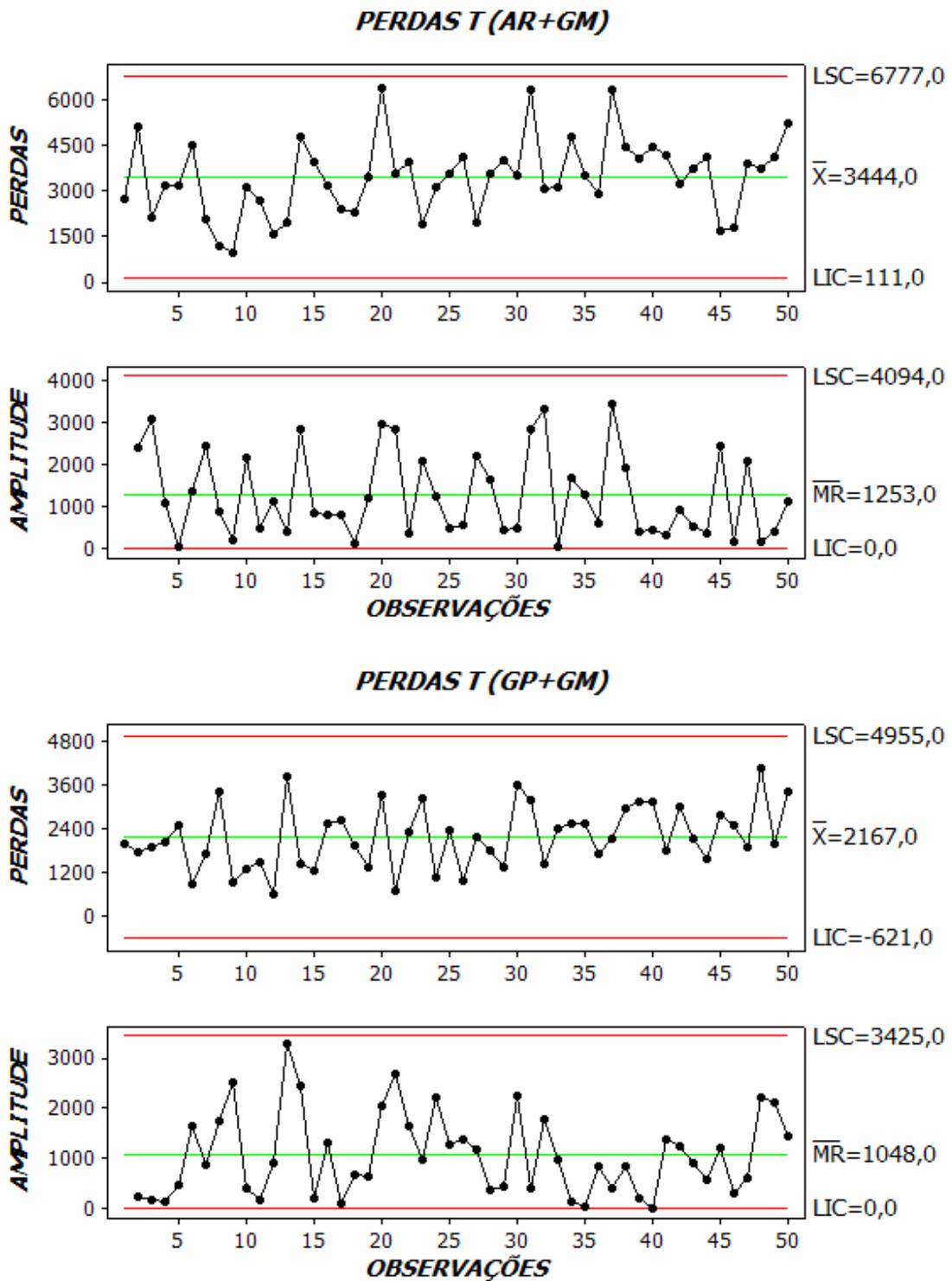


Figura 17. Cartas de controle para perdas de toco (kg ha^{-1}).

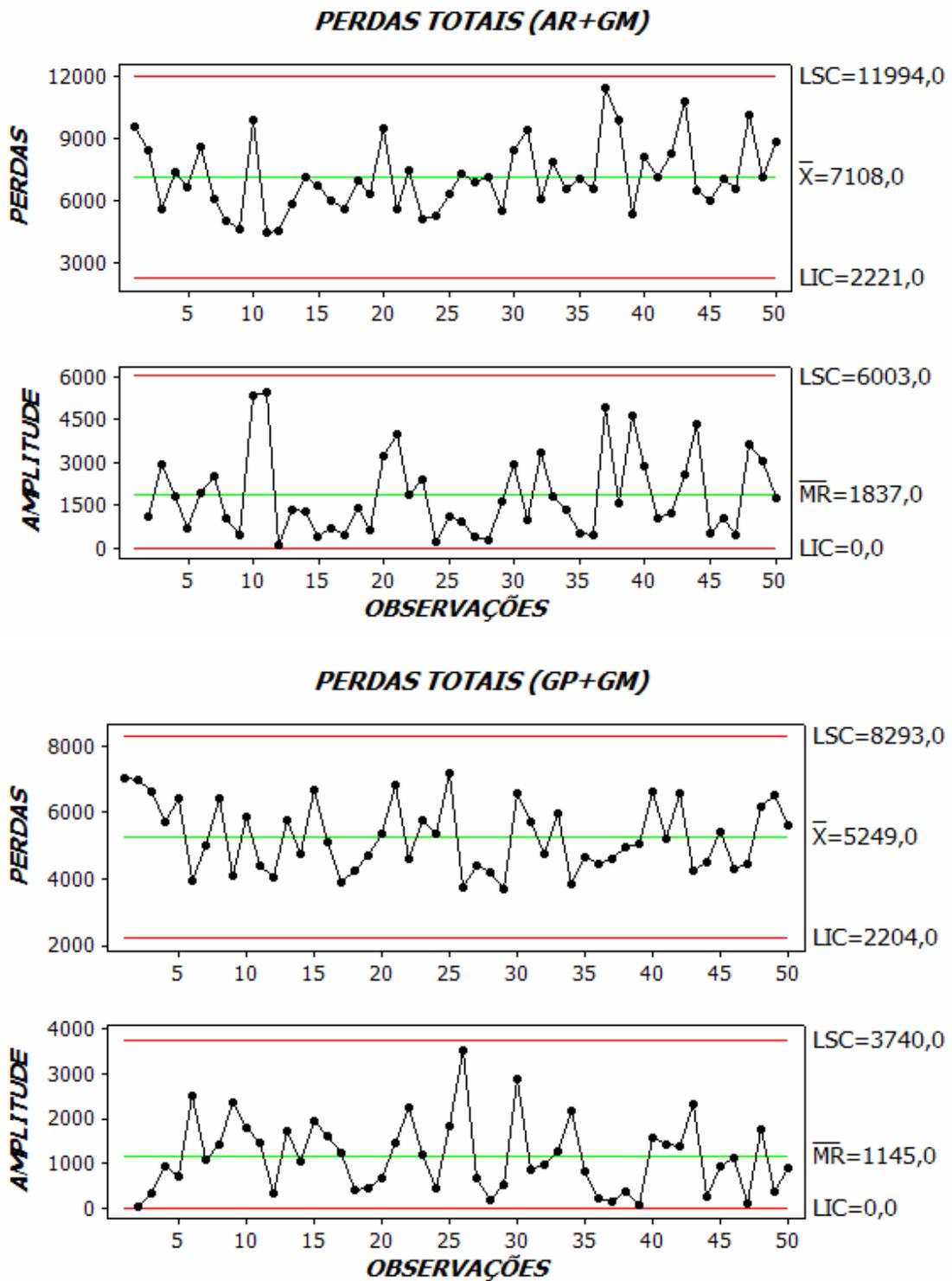


Figura 18. Cartas de controle para perdas totais (kg ha^{-1}).

Avaliando-se as cartas de controle (amplitude e dados individuais), observa-se o processo fora de controle para perdas do tipo RR, CI, CP, PF, PS, L e E, indicando a ocorrência de causas especiais de variação interferindo no processo. Para esses atributos, verifica-se alta variabilidade dos dados, visualizada pelos pontos em vermelho ultrapassando os limites superiores de controle especificados nas cartas de amplitude.

Para os atributos de perdas do tipo rebolo repicado no tratamento com arado seguido de grade média e lasca, em ambos os tratamentos (AR+GM) e (GP+GM), observam-se as cartas de controle de dados individuais sem a presença de pontos vermelhos ultrapassando os limites superiores de controle para os atributos, porém o descontrole nas cartas de variação ou amplitude não possibilitam o controle do processo.

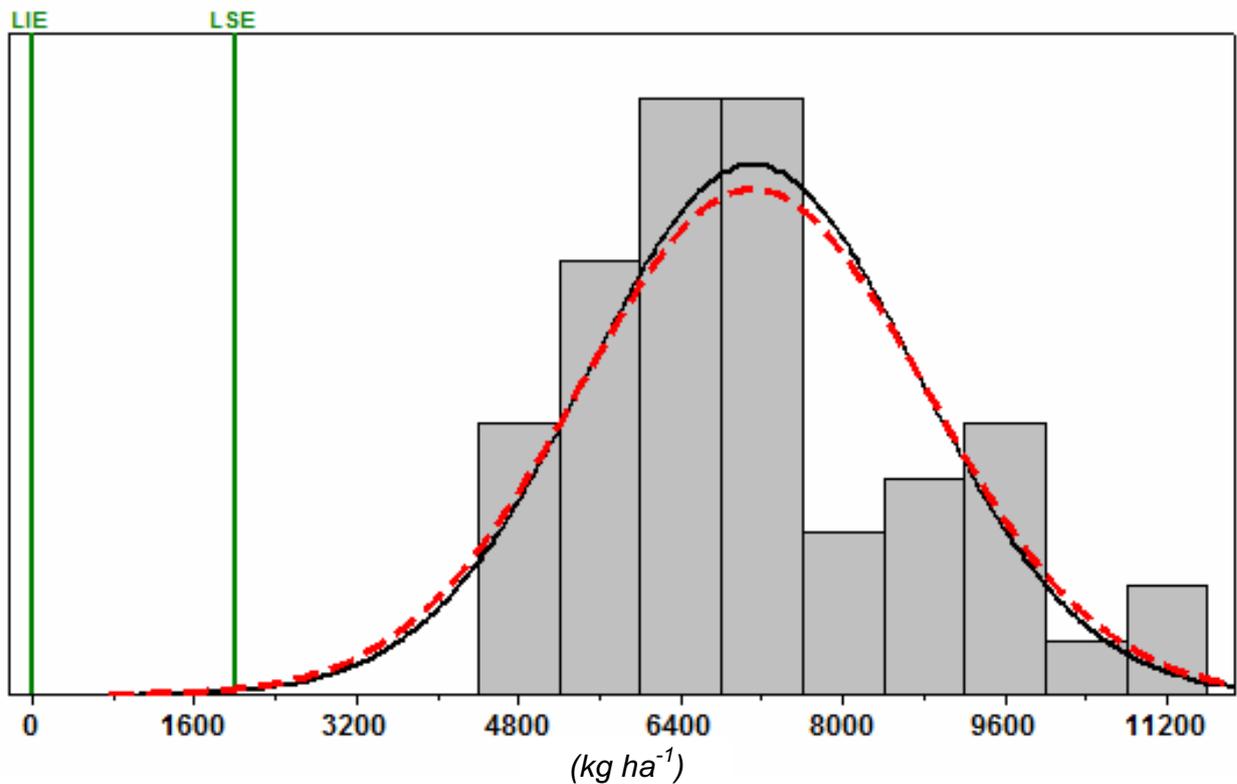
Verifica-se por meio das cartas de controle referente ao atributo do tipo pedaço solto, em ambos os tratamentos, a ocorrência do valor zero na maioria das amostras, ou seja, o atributo não foi encontrado no momento da amostragem, refletindo nos altos valores de coeficientes de variação mostrados na Tabela 1.

As cartas de controle para as perdas dos tipos toco e totais evidenciam o processo de colheita mecanizada sob controle para esses atributos, em ambos os tratamentos, não apontando, portanto, a ocorrência de causas especiais de variação interferindo no processo. Não há existência de pontos vermelhos ultrapassando os limites superiores de controle, nas cartas de amplitude e controle de dados individuais, no entanto nota-se maior variabilidade para os atributos do tipo toco e totais no tratamento (AR+GM), comparado ao tratamento que utilizou grade pesada seguida de grade média.

3. Análise de capacidade do processo

Apesar de os dados referentes às perdas totais em ambos os tratamentos terem distribuição assimétrica, verifica-se proximidade à normalidade, estando os processos sob controle para esse atributo, ou seja, estáveis, viabilizando a análise de capacidade (Figuras 19 e 20).

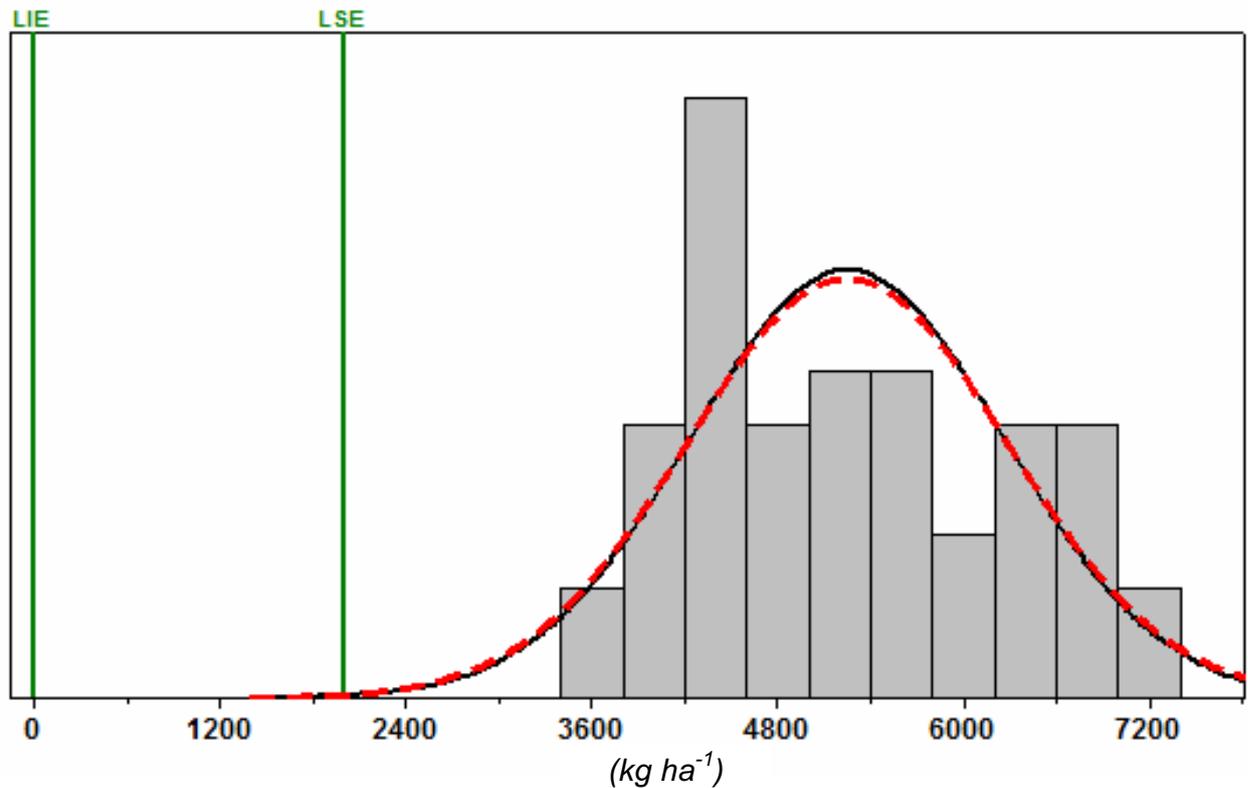
CAPABILIDADE - PERDAS TOTAIS (AR+GM)



Desempenho Geral		Desempenho Atual		Desempenho Potencial	
% < LIE	0,00	% < LIE	0,00	% < LIE	0,00
% > LSE	99,87	% > LSE	100,00	% > LSE	99,91
% Total	99,87	% Total	100,00	% Total	99,91
Dados do Processo			Índices de Capabilidade		
LIE	0	σ_{subgrupo}	1.628,85	Cp	0,20
LSE	2.000	σ_{geral}	1.698,75	Cpk	-1,05
Média	7.107,87			Pp	0,20
N	50			Ppk	-1,00
Legenda		--	Geral	—	Potencial

Figura 19. Análise de capacidade para perdas totais no tratamento AR+GM.

CAPABILIDADE - PERDAS TOTAIS (GP+GM)



<i>Desempenho Geral</i>		<i>Desempenho Atual</i>		<i>Desempenho Potencial</i>	
% < LIE	0,00	% < LIE	0,00	% < LIE	0,00
% > LSE	99,92	% > LSE	100,00	% > LSE	99,93
% Total	99,92	% Total	100,00	% Total	99,93
<i>Dados do Processo</i>			<i>Índices de Capabilidade</i>		
LIE	0	σ_{subgrupo}	1.014,92	Cp	0,33
LSE	2.000			Cpk	-1,07
Média	5.248,53	σ_{geral}	1.031,15	Pp	0,32
N	50			Ppk	-1,05
Legenda		--	<i>Geral</i>	—	<i>Potencial</i>

Figura 20. Análise de capacidade para perdas totais no tratamento GP+GM.

Os índices de capacidade foram inferiores ao valor mínimo apontado (1,33), indicando incapacidade do processo em produzir resultados dentro dos limites especificados. A previsão de desempenho do processo é de produzir 99,87 e 99,92% de resultados fora das especificações para os tratamentos AR+GM e GP+GM, respectivamente, considerando as causas de variação comuns e especiais. Com o controle das causas especiais do processo, obteriam-se 99,91% de previsão de desempenho para o tratamento AR+GM e 99,93% para o tratamento GP+GM, ou seja, pouco se tem a ganhar no processo com a eliminação das causas especiais. Em ambos os tratamentos, foram obtidos valores de perdas totais acima dos limites estabelecidos pela Usina (2 toneladas).

4. Desgaste das facas do corte basal

Na Tabela 2, estão apresentados os parâmetros da estatística descritiva para os valores de desgastes das facas do corte basal da colhedora de cana-de-açúcar crua em função dos intervalos de desgaste preestabelecidos.

Verifica-se pela tabela, diferença estatística para o atributo 4 – 6h, sendo o maior desgaste quantificado para o tratamento AR+GM. Para os demais intervalos de desgaste, não se observa diferença estatística entre os tratamentos estudados.

De acordo com o teste de Anderson-Darling, observa-se simetria quanto aos desgastes das facas para todos os intervalos avaliados, refletindo os valores de assimetria e de curtose próximos a zero. Os valores próximos entre média e mediana e moderados valores de amplitude demonstraram variabilidades discretas entre os dados.

Tabela 2. Estatística descritiva para desgaste das facas do corte basal.

Atributos	Tratamentos	Média	Mediana	Amplitude	Desvio	Coeficiente (%)			AD*
						Variação	Curtose	Assimetria	
				(g)					
0 - 2h	(AR+GM)	6,12 a	6,25	5,37	1,60	26,12	0,14	-0,47	N
	(GP+GM)	5,19 a	5,19	3,81	1,23	23,61	-0,22	0,36	N
2 - 4h	(AR+GM)	5,11 a	5,25	3,00	0,92	17,91	-0,46	-0,19	N
	(GP+GM)	5,99 a	5,67	3,57	1,23	20,50	-0,84	0,69	N
4 - 6h	(AR+GM)	5,72 a	5,51	4,08	1,39	24,20	0,07	1,00	N
	(GP+GM)	3,47 b	3,32	2,79	0,99	28,40	-1,35	0,08	N
6 - 2h ^(v)	(AR+GM)	5,74 a	5,22	3,78	1,51	26,28	-1,84	0,30	N
	(GP+GM)	4,02 a	3,76	3,62	1,21	30,11	-1,41	0,11	N
TOTAL	(AR+GM)	22,69 a	21,80	10,87	3,76	16,57	-1,15	0,27	N
	(GP+GM)	18,68 a	18,34	11,67	3,66	19,59	-0,19	0,49	N

AR = arado de aivecas; GP = grade pesada; GM = grade média. Médias seguidas de mesmas letras minúsculas entre atributos não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. * Distribuição de frequência pelo teste de Anderson-Darling ($\alpha = 0,05$); N = normal; A = assimétrica; ^(v) Tempo trabalhado com a faca virada.

Os baixos valores de amplitude e de coeficiente de variação para todos os intervalos de desgaste em ambos os tratamentos (AR+GM e GP+GM) indicam a não-ocorrência de valores extremos e pontos isolados entre as amostras.

De acordo com NEVES et al. (2004), o desgaste das facas do corte basal está fortemente associado ao controle de altura do mecanismo de corte. As ilustrações das facas utilizadas no experimento encontram-se nos Apêndices 2 e 3.

Observa-se, pela Figura 21, comportamentos semelhantes entre intervalos de desgaste para a mesma faca em ambos os tratamentos, podendo ser explicado pelo fato de as facas trabalharem nas mesmas condições de solo, rotação do corte basal e variedade da cana-de-açúcar, caracterizando a simetria encontrada pelo teste de Anderson-Darling, representada na Tabela 2.

Para facas novas (Figura 21), nota-se diferença de 4,2 e 6,0% entre a de maior e de menor massa nos tratamentos AR+GM e GP+GM, respectivamente. Após as 8 h de trabalho, a diferença entre as facas de maior e de menor massa nos tratamentos AR+GM e GP+GM foi de 5,5 e 6,9%, respectivamente.

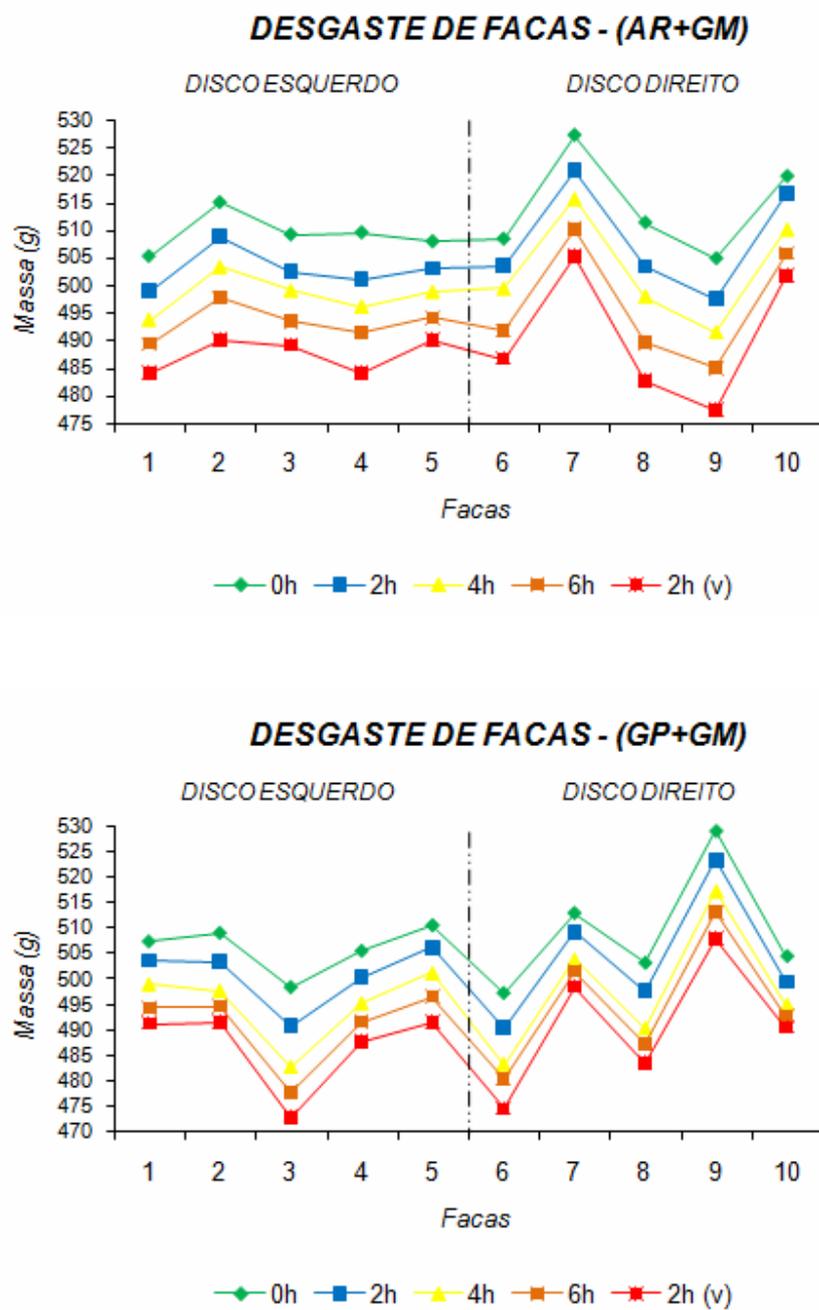


Figura 21. Desgaste das facas do corte basal nos tratamentos AR+GM e GP+GM.

Notam-se, pela Figura 21, maiores variabilidades entre as massas das facas contidas no disco de lado direito, comparado ao disco de lado esquerdo em ambos os tratamentos. Para a avaliação no intervalo de desgaste 6 – 2 h^(v), houve mudança de lado das facas entre os discos esquerdo e direito nos tratamentos AR+GM e GP+GM.

5. Graus de danos às soqueiras

Na Tabela 3, são mostrados os parâmetros da estatística descritiva para os graus de danos às soqueiras na colheita mecanizada da cana-de-açúcar crua, em ambos os tratamentos (AR+GM e GP+GM).

Tabela 3. Estatística descritiva para graus de danos às soqueiras.

Atributos	Tratamentos	Moda	Mediana	Amplitude	Desvio	Coeficiente (%)			AD*
						Varição	Curtose	Assimetria	
0 - 2h	(AR+GM)	2	2	2	0,63	26,35	1,26	1,41	N
	(GP+GM)	2	2	1	0,35	16,49	4,35	2,40	N
2 - 4h	(AR+GM)	3	3	2	0,74	23,72	-0,97	-0,23	N
	(GP+GM)	2	2	2	0,74	28,34	-0,47	0,84	N
4 - 6h	(AR+GM)	4	4	2	0,64	18,11	0,40	-1,08	N
	(GP+GM)	3	3	2	0,70	25,75	-0,67	0,43	N
6 - 2h ^(v)	(AR+GM)	3	3	2	0,56	20,02	0,38	-0,11	N
	(GP+GM)	2	2	1	0,52	20,94	-2,31	0,15	N

AR = arado de aivecas; GP = grade pesada; GM = grade média; * Distribuição de frequência pelo teste de Anderson-Darling ($\alpha = 0,05$): N = normal; A = assimétrica; ^(v) Tempo trabalhado com a faca virada.

Nota-se pela Tabela 3, distribuição normal para todos os graus de danos causados às soqueiras em ambos os tratamentos (AR+GM e GP+GM). Para os intervalos de desgaste 2 – 4h; 4 - 6h e 6 – 2h^(v), verifica-se diferença entre os valores de moda apresentados, sendo os maiores valores atribuídos ao tratamento AR+GM, comparados ao tratamento preparado com grade pesada seguida de grade média, indicando maiores danos às soqueiras no tratamento que utilizou arado de aivecas seguido de grade média.

Para o intervalo de desgaste 0 – 2h, não houve diferença nos valores de moda, considerando semelhantes os graus de danos às soqueiras para ambos os tratamentos.

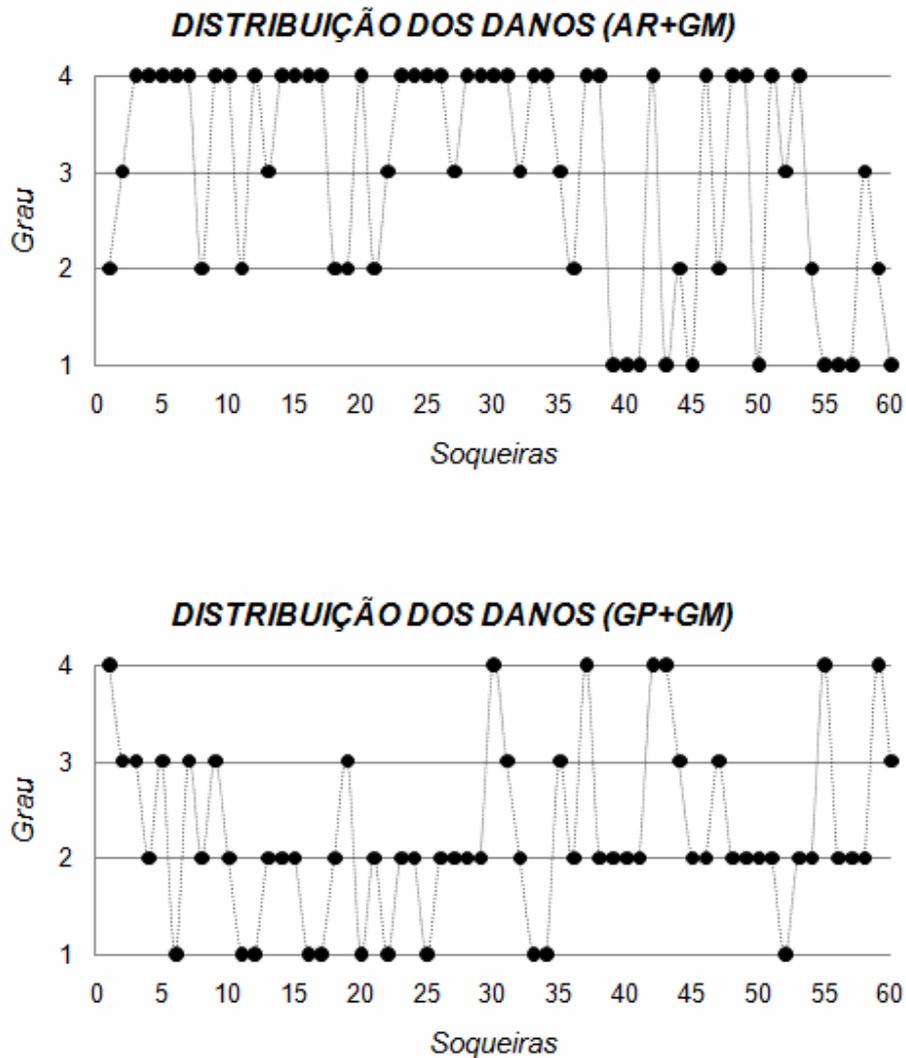


Figura 22. Distribuição dos graus de danos nos tratamentos AR+GM e GP+GM.

Na Figura 22, observa-se a distribuição dos graus atribuídos aos danos ocasionados às soqueiras nos tratamentos AR+GM e GP+GM. Nota-se, para o tratamento que utilizou arado seguido de grade média, maior ocorrência do grau 4, e para o tratamento GP+GM, o grau 2 aparece com maior frequência, indicando maiores danos, portanto, para o tratamento AR+GM.

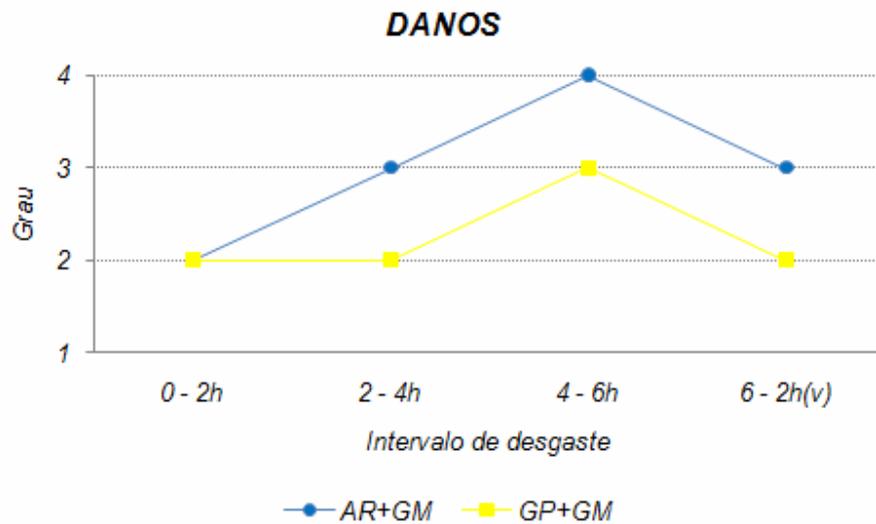


Figura 23. Graus de danos às soqueiras nos tratamentos AR+GM e GP+GM.

Pela Tabela 23, observa-se evolução no grau de danos ocasionados às soqueiras do intervalo de desgaste 0 – 2h para 4 – 6h, havendo redução de um grau no intervalo de 6 – 2h^(v). No tratamento preparado com grade pesada seguida de grade média, nota-se pico para o grau de danos 3 no intervalo de desgaste 4 – 6h. Os intervalos de desgaste 0– 2h; 2 – 4h e 6 – 2h^(v) mantiveram-se no grau 2, relacionado aos danos.

Em ambos os tratamentos, o intervalo de desgaste 4 – 6h é responsável pelos maiores graus de danos às soqueiras, fato atribuído ao maior desgaste das facas do corte basal nesse intervalo em função do tempo trabalhado.

Observa-se queda de um grau nos danos ocasionados às soqueiras, do intervalo de desgaste 4 – 6h para 6 – 2h^(v) em ambos os tratamentos, devido à virada dos lados das facas do corte basal.

6. Microrrelevo do solo

Na Tabela 4, são mostrados os parâmetros da estatística descritiva para os microrrelevos nos tratamentos preparados com arado de aivecas seguido de grade média (AR+GM) e grade pesada seguida de grade média (GP+GM).

Tabela 4. Estatística descritiva para microrrelevos.

Tratamentos	Média	Mediana	Amplitude	Desvio	Coeficiente (%)			AD*
					Varição	Curtose	Assimetria	
AR+GM	1,83 a	1,84	0,23	0,05	2,89	2,49	-0,94	A
GP+GM	1,67 b	1,68	0,27	0,06	3,55	2,47	-0,56	A

AR = arado de aivecas; GP = grade pesada; GM = grade média. Médias seguidas de mesmas letras minúsculas entre atributos não diferem entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade. * Distribuição de frequência pelo teste de Anderson-Darling ($\alpha = 0,05$): N = normal; A = assimétrica.

De acordo com a Tabela 4, os valores de assimetria e principalmente curtose mostram-se distantes de zero, assumindo distribuição assimétrica dos dados para ambos os tratamentos.

Nota-se diferença estatística entre os tratamentos para os valores de média, indicando maior área de microrrelevo para o tratamento (AR+GM), comparado com o (GP+GM). Essa diferença no microrrelevo entre os tratamentos estudados influencia nas perdas em função da sua geometria mais profunda, afetando a qualidade do corte basal, acarretando em tocos altos deixados no campo e desgaste precoce das facas, refletindo em maiores danos ocasionados às soqueiras.

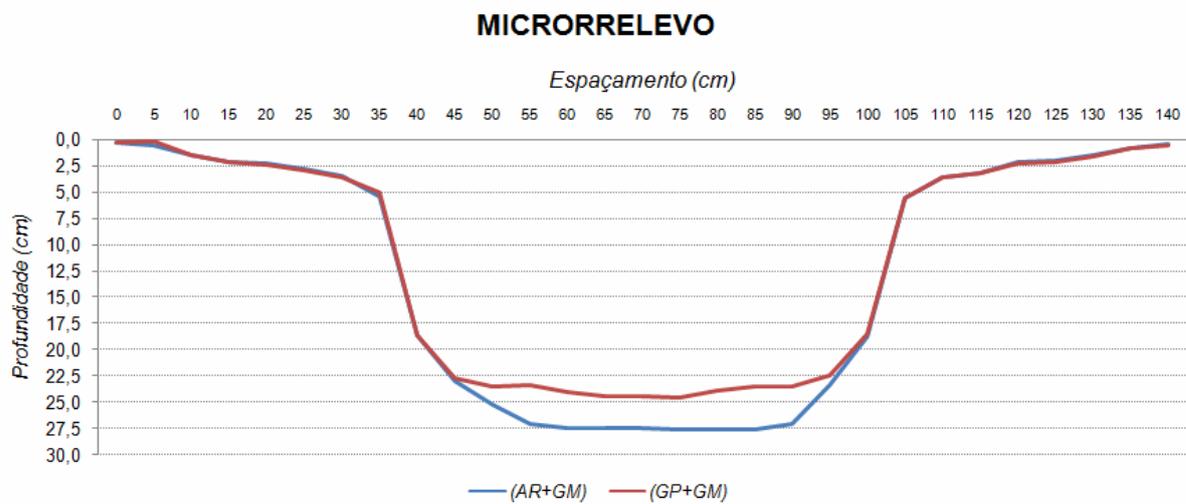


Figura 24. Microrrelevos médios nos tratamentos AR+GM e GP+GM.

Na Figura 24, nota-se conformação mais profunda de sulco no tratamento AR+GM, comparada ao tratamento GP+GM. Considera-se que a maior profundidade de sulco no tratamento preparado com arado de aivecas seguido de grade média tenha afetado de maneira negativa as perdas, principalmente de toco e de rebolo repicado, aumentando os danos às soqueiras em função da própria profundidade, não dando apoio à base do colmo no momento do corte. Ainda o desgaste precoce das facas do corte de base pode ser atribuído ao contato dessas com grande volume de solo ao longo da colheita.

7. Dados de acompanhamento de safra

Os dados de acompanhamento de safra referentes à produtividade e à qualidade da matéria-prima estão apresentados na Tabela 5.

Tabela 5. Dados de produtividade e de qualidade da matéria-prima.

TRAT.	IDADE (meses)	TC (t)	TCH (t ha ⁻¹)	ATR (kg t ⁻¹)	BRIX	POL	PUREZA (%)	FIBRA	PC
(AR+GM)	15,3	2.820,87	85,77	142,26	20,75	17,81	85,83	15,37	14,64
(GP+GM)	15,3	2.852,93	86,69	141,95	20,67	17,74	85,82	15,28	14,61

TC = tonelada de cana; TCH = tonelada de cana por hectare; ATR = açúcar total recuperado; POL = polimerização; PC = pol da cana.

Observa-se, pela Tabela 5, valores muito próximos entre os tratamentos estudados, para as variáveis analisadas.

8. Porte do canavial

Ambos os tratamentos apresentaram porte do canavial ereto, de acordo com a Tabela 6, fator característico da variedade plantada RB 92-579.

Tabela 6. Porte do canavial.

Tratamento	Número de Colmos			Total
	Eretos	Acamados	Deitados	
AR+GM	523	74	37	634
(%)	82,49	11,67	5,84	100
GP+GM	496	83	42	621
(%)	79,87	13,37	6,76	100

V. CONCLUSÕES

Os atributos do tipo rebolo repicado, toco e totais, diferiram estatisticamente entre os tratamentos estudados, sendo os maiores valores de perdas quantificados para o tratamento preparado com arado de aivecas seguido de grade média.

A perda do tipo toco tem maior representatividade entre os atributos estudados, sendo a mesma responsável por 48,45 e 41,28% das perdas totais para os tratamentos AR+GM e GP+GM, respectivamente.

O processo de colheita apresenta-se fora de controle para os atributos do tipo rebolo repicado, cana inteira, cana-ponta, pedaço fixo, pedaço solto, lasca e estilhaço.

As cartas de controle para perdas do tipo toco e totais evidenciam o processo de colheita mecanizada sob controle para esses atributos.

Apenas o atributo de desgaste 4 – 6h apresenta diferença estatística entre os tratamentos, sendo o maior valor quantificado para o tratamento preparado com arado seguido de grade média.

O tratamento arado de aivecas seguido de grade média apresenta maiores graus de danos ocasionados às soqueiras, comparado ao tratamento GP+GM.

O tratamento AR+GM apresenta maior área de microrrelevo, diferindo estatisticamente do tratamento preparado com grade pesada seguida de grade média.

VI. REFERÊNCIAS

ALVES, T. A. *Caracterização da cana-de-açúcar - Perspectivas do Setor Sucroalcooleiro na Região da Alta Noroeste Paulista*. UNESP, Ilha Solteira, 2004.

AZEVEDO, M. C. B. *Efeito de três sistemas de manejo físico do solo no enraizamento e na produção de cana-de-açúcar*. 2008. 100p. Tese (Doutorado). Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

BALSALOBRE, M. A. A.; SANTOS, P. M.; FERNANDES, R. A. Cana-de-açúcar: quando e como cortar para o consumo animal. *Balde Branco*, n. 421, p.19-23, 1999.

BARBOSA, M. H. P.; SILVEIRA, L. C. I. Cana-de-açúcar: variedades, estabelecimento e manejo. In: SIMPÓSIO SOBRE MANEJO ESTRATÉGICO DE PASTAGEM, 3., 2006, Viçosa. *Anais...Viçosa: Universidade Federal de Viçosa*, 2006. p.245-276.

BEAUCLAIR, E. G. F.; SCARPARI, M. S. Noções Fitotécnicas. In: RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C.; CASAGRANDE, D.V.; IDE, B.Y. (Org.). *Plantio de cana-de-açúcar: estado da arte*. Piracicaba: Livroceres, 2006. v.1, p.80-91.

BONATO, R. G. *Qualidade operacional da operação de fenação: análise do processo de produção*. 2004. 100 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia: Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, 2004.

BONILLA, J. A. *Qualidade total na agricultura: fundamentos e aplicações*. Belo Horizonte: Centro de Estudos da Qualidade Total na Agricultura, 1995. 344 p.

BRAUNBECK, O. A. Proposta brasileira de colheita mecanizada. In: SEMINÁRIO SOLUÇÕES E NOVIDADES NA MECANIZAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR, 1., 1999, Ribeirão Preto. *Anais...* Ribeirão Preto: IDEA, 1999. p. 56-60.

CARLIN, S. D.; SILVA, M. A.; PERECIN, D. Fatores que afetam a brotação inicial da cana-de-açúcar. *Revista Ceres*, Viçosa, v. 51, n. 296, p.457-466, 2004.

CARVALHO FILHO, A.; BONACIM, J. L. G.; CORTEZ, J. W.; CARVALHO, L. C. C. Mobilização de um latossolo vermelho acriférrico em função de sistemas de preparo do solo. *Biosci. J.*, Uberlândia, v.24, n.3, p.1-7, July/Sept.. 2008

CESNIK, R.; MIOCQUE, J. *Melhoramento da cana-de-açúcar*. Brasília: Embrapa Informação Tecnológica, 2004.

CONAB. COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. *Safra de cana de 2008/2009 - estimativa: 1º levantamento*, maio 2008. Brasília, 2008. 12 p.

CORRÊA, C. F. *Avaliação das perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar por controle estatístico de processo*. 2006. 90 f. Monografia (Trabalho de Graduação - Engenharia Agrônoma) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2006.

CORTIVO, Z. D. *Aplicação do controle estatístico de processo em sequências curtas de produção e análise estatística de processo através do planejamento econômico*. 2005. 151 f. Dissertação (Mestrado em Ciências: Métodos Numéricos em Engenharia) - Universidade Federal do Paraná, 2005.

COSTA NETO, J. D. A cana em tempo bom. *Revista CREA-PR*, Curitiba, n.41, p.16-19, out. 2006.

DEMATTÊ, J. L. I. Recuperação de manutenção da fertilidade do solo. *Informações Agronômicas*, Piracicaba, n. 111, p.1-24, 2005. (Encarte Técnico)

DODSON, M. S. *Avaliação da influência de indicadores de qualidade no custo operacional de um sistema de produção de milho (Zea mays L.): estudo de caso de semeadura*. 1998. 80 f. Monografia (Trabalho de Graduação - Agronomia) - Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho", Jaboticabal, 1998.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Solos. *Sistema brasileiro de classificação de solos*. Rio de Janeiro, 1999. 412 p.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Cultivo mínimo. Disponível em: <http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/gestor/cana-de-acucar/arvore/CONTAG01_85_22122006154841.html>. Acesso em: 04 dez. 2008.

EMBRAPA. EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. *Reunião de Pesquisa de soja da região Central do Brasil*. Tecnologia de Produção de Soja na Região Central do Brasil 2001. Londrina, 2001. 267 p. (Documentos, 167)

FERNANDES, M. M. *Mapeamento dos solos e definição das unidades de manejo da Usina Estivas*. Piracicaba: USP/ESALQ, 2005. 39 p. (Relatório final).

FERNANDES, R. A. T. *Gerenciamento da qualidade em operações agrícolas mecanizadas em um sistema de produção de cana-de-açúcar (Saccharum spp.)*. Piracicaba: USP/ESALQ, 1997. 66 p. (Relatório final).

FREDDI, O. S. *Variabilidade espacial da produtividade do feijão (Phaseolus vulgaris L.) e de atributos químicos de um Latossolo Vermelho distroférico de Selvíria (MS) sob preparo convencional e plantio direto*. 2003. 154 f. Dissertação (Agronomia – Sistema

de Produção) - Universidade Estadual Paulista, Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira, 2003.

GARCIA, A. P.; ALBIERO, D.; CAPPELLI, N. L.; MACIEL, A. J. S.; UMEZU, C. K. Avaliação das perdas na colheita de cana-de-açúcar e demanda de potência de uma colhedora de cana inteira. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 35, 2006, João Pessoa. *Anais...* Jaboticabal: Associação Brasileira de Engenharia Agrícola, 2006. 1 CD-ROM.

GARCIA, M. A. L. Avaliação de um sistema de plantio mecanizado de cana-de-açúcar. 2008. 78 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2008.
GOMES, P. F. *Curso de estatística experimental*. 14. ed. Piracicaba: Degaspari, 2000. 477 p.

GUIMARÃES, E. C. *Geoestatística básica e aplicada*. Uberlândia: UFU, 2001. 48 p. (Publicação Didática).

IEA. INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. Índice de mecanização na colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo e nas regiões produtoras paulistas, Junho de 2007. *Análises e Indicadores do Agronegócio* v.3, n.3, março 2008.

LOPES, M. B.; LUNARDI FILHO, D.; PECHE FILHO, A.; COELHO, J. L. D.; MILAN, M. Qualidade em operações agrícolas mecanizadas na cultura de cana-de-açúcar. *Stab: Açúcar, Alcool e Subprodutos*, Piracicaba, v. 13, n. 3, p. 26-30, 1995.

MAGALHÃES, P. S. G.; MILAN, M.; MOLIN, J. P.; SOUZA, Z. M.; VOLPATO, C. E.; SIMÕES, J. Colheita de cana-de-açúcar e palha para a produção de Etanol. In: WORKSHOP - COLHEITA, TRANSPORTE E RECUPERAÇÃO DE PALHA, 2., 2006, Campinas: Universidade Estadual de Campinas, 2006. 19 p.

MELLO, R. C. Influência do formato e velocidade da lâmina nas forças de corte para cana-de-açúcar. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 27, n. 4, p. 661-665, oct./dec., 2005.

MELLO, R.C.; HARRIS, H. Desempenho de cortadores de base para colhedoras de cana-de-açúcar com lâminas serrilhadas e inclinadas. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 355-358, 2003.

MERIDITH, J. R.; SHAFER, S. M. *Administração da Produção para MBAS*. Porto Alegre: Bookman, 2002.

MILAN, M.; FERNANDES, R. A. T. Qualidade das operações de preparo do solo por controle estatístico de processo. *Scientia Agrícola*, Piracicaba, v. 59, n. 2, p. 261-266, abr./jun. 2002.

MINITAB. MINITAB Release 14.1: Meet MINITAB 14 (Versão em Português); MINITAB StatGuide; MINITAB Help. [S.l.]: Minitab Inc., 2003.

NEVES, J. L. M. *Avaliação de perdas invisíveis em colhedoras de cana-de-açúcar picada e alternativas para sua redução*. 2003. 210 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

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

NEVES, J. L. M.; MAGALHÃES, P. S. G.; OTA, W. M. Sistema de monitoramento de perdas visíveis de cana-de-açúcar em colhedora de cana picada. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.24, n.3, p.764-70, 2004.

NUSSIO, L. G.; SCHMIDT, P. *Tecnologia de produção e valor alimentício*. Disponível em: <http://www.guabi.com.br/rc/bovinos_corte> Acesso em: 25 nov. 2006.

OLIVEIRA, C. A. A. *Modelagem e validação experimental de um cortador basal com discos segmentados*. 2003. 110 f. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) - Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

PECHE FILHO, A.; COSTA, J. A.; FERRETI, G.; STORINO, M. Qualidade total na Agricultura. In: SIMPÓSIO DE QUALIDADE TOTAL NA AGRICULTURA, 1., 1994, São Paulo. *Anais...* São Paulo: AEASP, 1994. p. 19-35.

RAFULL, L. Z. L. *Simulação de sistemas de controle de posição do mecanismo de corte em colhedoras*. Viçosa, MG: UFV, 2003. 103f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) - Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 2003.

REEVES C. A.; BEDNAR, D. A. Defining quality: alternatives and implications. *Academy of Management Review*, v.19, n.3, p.419-445, 1994.

REIS, M. M. *Um modelo para o ensino do controle estatístico de qualidade*. 2001. 380 f. Tese (Doutorado), Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis, 2001.

RIPOLI, T. C. C. Aumenta o interesse pela mecanização do plantio. *JornalCana*, Ribeirão Preto, n.151, p. 30-31, 2006.

RIPOLI, T. C. C. Ensaio & certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L.G. *Máquinas agrícolas: ensaios & certificação*. Piracicaba: Fundação de Estudos "Luiz de Queiroz", 1996. cap.13, p.635-73.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. *Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente*. Piracicaba: Ed. Autor, 2004. 309 p.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente. 2.ed. Piracicaba: Ed. Autor, 2005. 302 p.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C.; CASAGRANDE, D. V.; IDE, B. Y. Plantio de cana-de-açúcar: Estado da arte. 2.ed. Piracicaba: Ed. dos Autores, 2007. 198p.

ROBOTHAM, B. G.; CHAPPELL, W. G. High quality planting billets-whole-stalk planter billets compared to billets from modified and unmodified harvester. Proceedings of Australian Society Sugar Cane Technologists, Bundaberg, v.24, p. 1-10, 2002.

RODRIGUES, E. B. Comparação técnico-econômica da colheita de cana-de-açúcar na região de Bandeirantes – PR. 2008. 130 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Universidade Estadual de Londrina, Londrina, 2008.

RODRIGUES, E. B.; SAAB, O. J. G. A. Avaliação técnico-econômica da colheita manual e mecanizada da cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) na região de Bandeirantes – PR. Semina: Ciências Agrárias, Londrina, v. 28, n. 4, p. 581-588, out./dez. 2007

SEGATO, S. V.; MATTIUZ, C. F. M.; MOZAMBANI, A. E. Aspectos fenológicos da cana-de-açúcar. In: SEGATO et al. Atualização em produção de cana-de-açúcar. Piracicaba: Livrocere, 2006. p. 19-36.

SESTATNET. Ensino-aprendizagem de Estatística na Web. 2006. Disponível em: <<http://www.sestatnet.ufsc.br/ader/k-s.htm>> Acesso em 15 de junho de 2008.

SILVA, R. P.; CARVALHO FILHO, A.; COAN, O. Avaliação dos efeitos do arado de aivecas e da enxada rotativa na camada mobilizada do solo. Engenharia Agrícola, Jaboticabal, v. 22, n. 1, p. 1-134, jan. 2002.

STUPIELLO, J. P.; FERNADES, A. C. Qualidade da matéria-prima proveniente das colhedoras de cana picada e seus efeitos na fabricação de álcool e açúcar. *Stab*, v.2, n.2 p. 45-49, 1984.

TAKASHINA, N. T.; FLORES, M. C. X. Indicadores de qualidade e do desempenho: como estabelecer metas para medir resultados. São Paulo: Qualitymark, 1996. 100 p.

TRINDADE, C.; REZENDE, J. L. P.; JACOVINE, L. A. G.; SARTORIO, M. L. *Ferramentas da qualidade: aplicação na atividade florestal*. Viçosa - MG: Universidade Federal de Viçosa, 2000. 124 p.

VIEIRA, S. *Estatística para a qualidade: como avaliar a qualidade em produtos e serviços*. Rio de Janeiro: Câmpus, 1999. 198 p.

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

VOLPATO, C. E. S.; BRAUNBECK, O. A.; OLIVEIRA, C. A. A. Desenvolvimento e avaliação de um protótipo de cortador base para colhedoras de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 6, n. 2, p. 345-8, 2002.

VOLPATO, J. L. M. *Otimização de um cortador de base flutuante para seguimento do perfil de solo em colhedoras de cana-de-açúcar*. 2001. 204 f. Tese (Doutorado em Máquinas Agrícolas) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

APÊNDICE

APÊNDICE 1. Características técnicas da colhedora de cana-de-açúcar.

CASE IH – A 7000



MOTOR

MARCA	Scania
MODELO	DS 11 95A
TIPO	Turbo alimentado
Nº DE CILINDROS	6
ORDEM DE IGNIÇÃO	1, 5, 3, 6, 2, 4
POTÊNCIA	332 hp a 2.100 rpm
DIÂMETRO DOS CILINDROS	127 mm
CURSO DO PISTÃO	145 mm
CAPACIDADE	11 L
ALTA ROTAÇÃO	2.100 rpm
MARCHA LENTA	500/700 rpm
CAPACIDADE DE ÓLEO	28 L (inclusive filtro)
FILTRO DE ÓLEO	Cíclico e centrífugo (5 a 7 microns)
CAPACIDADE DO RADIADOR	54 L
FILTRO DE COMBUSTÍVEL	Elemento filtrante de papel
ÓLEO LUBRIFICANTE	SAE 15W/40; API: CE OU CF
SISTEMA DE SEGURANÇA (CORTE)	Válvula corta combustível acionada por solenoide em função da pressão do óleo, temperatura da água, nível do óleo hidráulico através do controle de alívio Murphy

TRANSMISSÃO

TIPO	Hidrostática
OPERAÇÃO	Comando elétrico
VELOCIDADE MÁXIMA DE TRANSPORTE	20 km h ⁻¹

FREIOS

TIPO	Independentes, a disco, com acionamento hidráulico
------	--

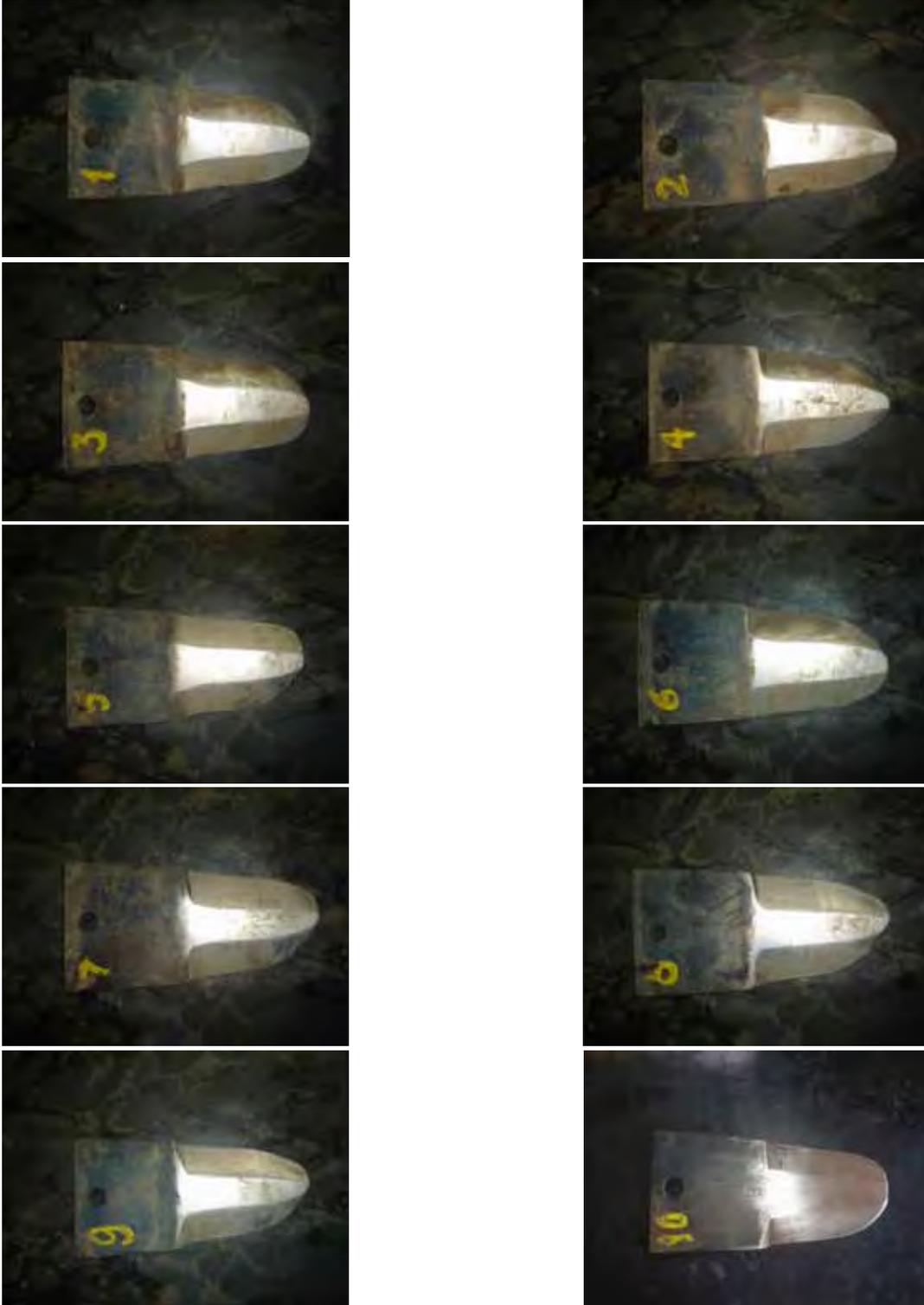
CAPACIDADES

TANQUE (COMBUSTÍVEL)	480 L
TANQUE (ÓLEO HIDRÁULICO)	480 L

CORTE DE PONTAS (DESPONTADOR)	
ALTURA	960 – 3600 mm
TAMBOR SEPARADOR	Bidirecional
NÚMERO DE LÂMINAS	8
DIVISORES DE LINHA	
DISTÂNCIA ENTRE PONTAS	1,5 – 1,8 m
FACAS CORTA-PALHA VERTICAIS	Standard
CILINDROS ESPIRAIS DUPLOS	Standard
DISCO DE CORTE LATERAL	Opcional
NÚMERO DE FACAS	8
CORTE DE BASE	
DISTÂNCIA ENTRE CENTROS	630 mm
NÚMERO DE DISCOS	2
NÚMERO DE LÂMINAS / DISCO	5
AUTO TRACKER	Opcional
ROLOS ALIMENTADORES	
ACIONAMENTO	Hidráulico (reversível)
NÚMERO DE ROLOS	12
LARGURA DO ROLO	900 mm
PICADORES (TAMBOR)	
ACIONAMENTO	Hidráulico (reversível)
DISTÂNCIA ENTRE CENTROS	380 mm
NÚMERO DE LÂMINAS / TAMBOR	3 ou 4
LARGURA DA LÂMINA	65 mm
EXTRATORES	
ACIONAMENTO	Hidráulico
SISTEMA DE GIRO DO CAPUZ	Standard (hidráulico)
Ø VENTILADOR PRIMÁRIO	1.280 mm
Ø VENTILADOR SECUNDÁRIO	940 mm
ELEVADOR	
ACIONAMENTO	Hidráulico (reversível)
LARGURA	850 mm
ÂNGULO TOTAL DE GIRO	170 °
GIRO DO ELEVADOR	Tipo Back-Hoe
RODAS E PNEUS	
DIANTEIROS	400/60 15.5 x 14 lonas
TRASEIROS	23,5 x 25 x 12 lonas
EQUIPAMENTOS OPCIONAIS	
<i>Disco de corte lateral</i>	
<i>Triturador</i>	
<i>Rolo picador de três facas</i>	
<i>Auto Tracker (controlador automático da altura do corte de base)</i>	

FONTE: CASE IH (2008).

APÊNDICE 2. Facas utilizadas no tratamento AR+GM, em 8h de trabalho.



APÊNDICE 3. Facas utilizadas no tratamento GP+GM, em 8h de trabalho.

