

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DOS DESEMPENHOS OPERACIONAL E ENERGÉTICO E DA
ERGONOMIA DE COLHEDORAS DE SOJA (*Glycine max (L.) Merril*) NO
SISTEMA DE PLANTIO DIRETO.**

FLÁVIO RIELLI MAZETTO

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP
Janeiro – 2008

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA “JÚLIO DE MESQUITA FILHO”
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CÂMPUS DE BOTUCATU

**AVALIAÇÃO DOS DESEMPENHOS OPERACIONAL E ENERGÉTICO E DA
ERGONOMIA DE COLHEDORAS DE SOJA (*Glycine max (L.) Merril*) NO
SISTEMA DE PLANTIO DIRETO.**

FLÁVIO RIELLI MAZETTO
Engenheiro Agrônomo

Orientador: Prof. Dr. Kléber Pereira Lanças

Tese apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da UNESP – Campus de Botucatu, para obtenção do título de Doutor em Agronomia – Área de Concentração em Energia na Agricultura.

BOTUCATU – SP
Janeiro - 2008

FICHA CATALOGRÁFICA ELABORADA PELA SEÇÃO TÉCNICA DE AQUISIÇÃO E TRATAMENTO DA INFORMAÇÃO -
SERVIÇO TÉCNICO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - UNESP - FCA
LAGEADO - BOTUCATU (SP)

Mazetto, Flávio Rielli, 1978-
M476a Avaliação dos desempenhos operacional e energético e da ergonomia de
colhedoras de soja (*Glycine max (L.) Merrill*) no sistema de plantio direto
/ Flávio Rielli Mazetto . - Botucatu : [s.n.], 2008.
xiii, 104 f. : il. color., gráfs., tabs.

Tese (Doutorado)-Universidade Estadual Paulista, Facul-
dade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2008
Orientador: Kléber Pereira Lanças
Inclui bibliografia

1. Soja. 2. Ergonomia. 3. Plantio direto. 4. Máquinas
agrícolas. I. Lanças, Kleber Pereira. II. Universidade Es-
tadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Bo-
tucatu). Faculdade de Ciências Agrônômicas. III. Título.

UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA "JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
FACULDADE DE CIÊNCIAS AGRONÔMICAS
CAMPUS DE BOTUCATU
CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: AVALIAÇÃO DOS DESEMPENHOS OPERACIONAL E ENERGÉTICO
E DA ERGONOMIA DE COLHEIDORAS DE SOJA (*Glycine max (L.) Merril*) NO
SISTEMA PLANTIO DIRETO.

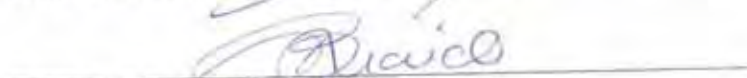
ALUNO: FLÁVIO RIELLI MAZETTO

ORIENTADOR: PROF. DR. KLEBER PEREIRA LANÇAS

Aprovado pela Comissão Examinadora



PROF. DR. KLEBER PEREIRA LANÇAS



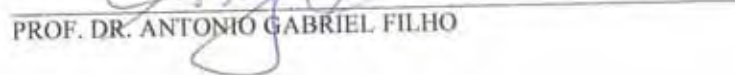
PROF. DR. SILVÍO JOSÉ BICUDO



PROF. DR. SAULO PHILIPÉ SEBASTIÃO GUERRA



PROF. DR. ALBERTO KAZUSHI NAGAOKA



PROF. DR. ANTONIO GABRIEL FILHO

Data da Realização: 28 de janeiro de 2008.

À DEUS

Aos meus pais, Aldo e Maria Heloisa

Ao meu irmão, Fábio

A minha namorada, Aline

Aos meus familiares

DEDICO

Aos meus avós paternos, Romano e Carolina (*in memoriam*)

Aos meus avós maternos, Américo (*in memoriam*) e Ises

OFEREÇO

AGRADECIMENTOS

À Faculdade de Ciências Agronômicas (FCA-UNESP), Campus de Botucatu e a Coordenadoria do Programa de Pós-Graduação em Agronomia, área de concentração em Energia na Agricultura, pela oportunidade concedida, apoio e atenção durante o curso de Doutorado.

Ao Professor Doutor Kléber Pereira Lanças, do Departamento de Engenharia Rural da FCA-UNESP, Campus de Botucatu, pela orientação segura, atenção, dedicação, compreensão e amizade dispensada durante a graduação, mestrado e doutorado.

Aos Professores Doutores: Saulo Philipe Sebastião Guerra e Silvio José Bicudo pelas sugestões.

À empresa CNH Latin América e ao seu gerente de marketing Marcos Arbex pela concessão das máquinas e apoio para a concretização da pesquisa.

Ao Neto, gerente de mecanização da fazenda Igreja Velha – Tibagi/PR e aos seus funcionários, pela atenção, apoio logístico, prestatividade e concessão de equipamentos e máquinas, sem os quais não seria possível a realização desse trabalho.

Aos alunos do programa de pós-graduação em Energia na Agricultura Msc. André Satoshi Séki e Leonardo de Almeida Monteiro, pelo auxílio durante a fase de coleta de dados.

A Faculdade de Engenharia de Ilha Solteira (FEIS – UNESP), Campus de Ilha Solteira e aos funcionários do Laboratório de Análises de Sementes, pela infraestrutura concedida e auxílio durante as análises laboratoriais.

Ao funcionário da CNH Latin America, José Lucio Nazario, pela ajuda decisiva nos ensaios de campo.

Aos colegas contemporâneos: Paulo Arbex e Saulo Philipe Sebastião Guerra pela convivência e amizade.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Rural, em especial a Rosângela Cristina Moreci e Rita de Cássia Miranda Araújo, pela atenção e serviços prestados.

Às secretárias da Seção de Pós-graduação da FCA-UNESP, Campus de Botucatu, Marilena do Carmo Santos, Marlene Rezende de Freitas e Jaqueline de Moura Gonçalves, pela atenção e atendimento.

Enfim, a todas as pessoas e instituições que de forma direta ou indireta contribuíram para a realização deste trabalho.

SUMÁRIO

	Página
1 RESUMO	1
2 SUMMARY	3
3 INTRODUÇÃO	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	7
4.1 Colhedoras de Soja	7
4.1.1 Corte e alimentação	9
4.1.2 Trilha e separação	10
4.1.3 Limpeza	13
4.1.4 Distribuição de palha	14
4.1.5 Armazenamento e descarga de grãos	15
4.2 Desempenho operacional e energético de máquinas agrícolas	15
4.3 Perdas quantitativas de grãos	18
4.4 Perdas qualitativas de grãos	23
4.5 Distribuição de palha	27
4.6 Ergonomia	30
5 MATERIAL E MÉTODOS	34
5.1 Material	34
5.1.1 Área experimental	34
5.1.2 Características da soja	35
5.1.3 Colhedoras	36
5.1.3.1 Colhedora A	36
5.1.3.2 Colhedora B	39
5.1.3.3 Colhedora C	42
5.1.4 Instrumentação das colhedoras	45
5.1.4.1 Fluxômetro e cronômetro	45
5.1.4.2 Decibelímetro	46
5.1.4.3 Termômetro e sensores de umidade	47
5.1.4.4 Coletor de palha	47

5.1.4.5 Outros materiais utilizados	48
5.2 Métodos	49
5.2.1 Determinação da produtividade da soja, população e comprimento de plantas, inserção de primeira vagem ao caule da soja e altura das plantas acamadas	49
5.2.2 Colheita	49
5.2.3 Demanda energética e operacional	50
5.2.3.1 Determinação da velocidade de deslocamento	51
5.2.3.2 Capacidade de campo efetiva	51
5.2.3.3 Capacidade de campo operacional	52
5.2.3.4 Tempo efetivo demandado	52
5.2.3.5 Tempo operacional demandado	52
5.2.3.6 Consumo horário de combustível efetivo	53
5.2.3.7 Consumo de combustível efetivo por área	53
5.2.3.8 Consumo horário de combustível operacional	54
5.2.3.9 Consumo de combustível operacional por área	54
5.2.3.10 Eficiência	55
5.2.3.11 Tempo de descarga	55
5.2.4 Perdas na colheita	55
5.2.4.1 Perdas quantitativas	55
5.2.4.1.1 Perdas de pré-colheita	55
5.2.4.1.2 Perdas pela plataforma de corte	56
5.2.4.1.3 Perda total da colhedora	57
5.2.4.1.4 Perdas pelo mecanismo de trilha, separação e limpeza	57
5.2.4.2 Perdas qualitativas	58
5.2.4.2.1 Determinação de grãos quebradas	58
5.2.4.2.2 Massa de 1000 grãos	58
5.2.4.2.3 Teste de tetrazólio	58
5.2.4.2.4 Teste de germinação	59
5.2.4.2.5 Teste de envelhecimento acelerado	59
5.2.4.2.6 Teor de água	59

5.2.4.2.7 Condutividade elétrica	59
5.2.4.2.8 Índice de velocidade de germinação	60
5.2.5 Distribuição de palha na superfície	60
5.2.6 Ergonomia	61
5.2.6.1 Nível de ruído	61
5.2.6.2 Temperatura e umidade relativa do ar	63
5.2.7 Análise estatística	63
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO	64
6.1 Caracterização da cultura da soja	65
6.2 Síntese dos resultados e interpretação da análise estatística dos parâmetros velocidade, tempo efetivo e capacidade de campo efetiva	66
6.3 Síntese dos resultados e interpretação da análise estatística dos parâmetros de consumo de combustível efetivo e operacional	67
6.4 Síntese dos resultados e interpretação da análise estatística dos parâmetros tempo e capacidade operacional, eficiência e tempo de descarga	69
6.5 Síntese dos resultados e interpretação da análise estatística dos parâmetros perda de grãos da plataforma, sistema de separação e limpeza e total	70
6.6 Síntese dos resultados e interpretação da análise estatística dos parâmetros teor de água, massa de 1000 grãos, percentual de germinação e índice de velocidade de germinação (IVG)	71
6.7 Síntese dos resultados e interpretação da análise estatística dos parâmetros condutividade elétrica, teste do tetrazólio, grãos quebrados e envelhecimento acelerado	72
6.8 Síntese dos resultados e interpretação da análise estatística do parâmetro coeficiente de variação da distribuição de palha	73
6.9 Síntese dos resultados e interpretação da análise estatística dos parâmetros temperatura e umidade relativa dentro e fora das cabines	76
6.10 Síntese dos resultados e interpretação da análise estatística do parâmetro ruído em operação, parado e descarga dentro e fora das cabines	77
7 CONCLUSÕES	79
8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	81

APÉNDICE	94
----------------	----

LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
01. Classificação das colhedoras (ANFAVEA, 2007)	8
02. Valores do comprimento de plantas, altura das plantas acamadas e altura da inserção de primeira vagem ao caule da soja	65
03. População de plantas, produtividade de grãos e perdas de pré-colheita	66
04. Síntese da análise de variância e o teste de médias para os parâmetros velocidade, tempo efetivo e capacidade de campo efetiva das colhedoras ensaiadas	67
05. Síntese da análise de variância e o teste de médias para o parâmetro consumo horário de combustível efetivo e operacional ($L h^{-1}$) e consumo de combustível efetivo e operacional por área ($L ha^{-1}$) para as colhedoras ensaiadas	68
06. Síntese da análise de variância e o teste de médias para o parâmetro tempo e capacidade de campo operacional, eficiência e tempo de descarga para as colhedoras ensaiadas	69
07. Síntese da análise de variância e o teste de médias para o parâmetro perda de grãos pela plataforma; separação e limpeza; e total para as colhedoras ensaiadas	70
08. Síntese da análise de variância e o teste de médias para os parâmetros teor de água, massa de 1000 grãos, percentual de germinação e índice de velocidade de germinação dos grãos de soja	71
09. Síntese da análise de variância e o teste de médias para os parâmetros condutividade elétrica, teste de tetrazólio (Classes 6-8), grãos quebrados e envelhecimento acelerado dos grãos de soja colhidos pelas colhedoras	72
10. Síntese da análise de variância e o teste de médias para o parâmetro coeficiente de variação da distribuição de palha para as colhedoras ensaiadas	73
11. Síntese da análise de variância e o teste de médias para os parâmetros temperatura e umidade dentro e fora das cabines das colhedoras ensaiadas	76
12. Síntese da análise de variância e o teste de médias para o parâmetro ruído em operação, parado e descarga dentro e fora das cabines das colhedoras ensaiadas	77

LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 Colhedora de soja e suas principais funções	9
2. Plataforma de corte e seus principais componentes	10
3. Sistema de trilha convencional e seus componentes	11
4. Sistema de trilha axial de duplo rotor (a) e rotor único (b)	12
5. Sistema de trilha híbrido e seus componentes	13
6. Sistema de limpeza e seus componentes	14
7. Distribuição de palha durante a colheita	14
8. Sistema de descarga dos grãos durante a colheita	15
9. Vista da área experimental em que se realizou o ensaio	35
10. Característica da soja no estágio fenológico de colheita	35
11. Colhedora A	36
12. Plataforma da Colhedora A	37
13. Sistema de trilha (a) e detalhe do sistema de polia dupla (b)	37
14. Sistema de separação da colhedora A	38
15. Peneira autonivelante da colhedora A	38
16. Cabine da colhedora A	39
17. Colhedora B	39
18. Plataforma da Colhedora B	40
19. Sistema de trilha da colhedora B	40
20. Sistema de separação da colhedora B	41
21. Peneira fixa da colhedora B	41
22. Cabine da colhedora B	42
23. Colhedora C	42
24. Plataforma da Colhedora C	43
25. Sistema de trilha da colhedora C	43
26. Sistema de separação da colhedora C	44
27. Peneira fixa da colhedora C	44

28. Cabine da colhedora C	45
29. Sistema para determinação do consumo de combustível instalado na colhedora (a). Acoplamento ao painel de visualização dos dados (1), fluxômetro (2) e filtro de combustível (3). Sistema de visualização dos dados e cronômetro (b)	46
30. Decibelímetro	46
31. Sensor utilizado para a coleta de dados de temperatura do ambiente (a) e umidade relativa do ar (b)	47
32. Detalhe do coletor utilizado para medição da distribuição da palha	48
33. Parcelas demarcadas para execução de ensaio de capacidade de campo efetiva (a) e operacional (b)	50
34. Determinação das perdas de pré-colheita	56
35. Determinação das perdas de plataforma	56
36. Determinação da perda total da colhedora	57
37. Avaliação da distribuição de palha	61
38. Determinação do nível de ruído externamente	62
39. Distribuição da palha da colhedora A	74
40. Distribuição da palha da colhedora B	74
41. Distribuição da palha da colhedora C	75

LISTA DE APÊNDICES

Apêndice	Página
1. Valores da velocidade de deslocamento (km h^{-1}), capacidade de campo efetivo (ha h^{-1}), tempo efetivo demandado (h ha^{-1}) das colhedoras ensaiadas	95
2. Valores do consumo horário efetivo de combustível (L h^{-1}) e consumo de combustível efetivo por área (L ha^{-1}) das colhedoras ensaiadas	96
3. Valores da capacidade operacional (ha h^{-1}), tempo operacional demandado para colheita (h ha^{-1}), consumo horário de combustível operacional (L h^{-1}), consumo de combustível operacional por área (L ha^{-1}), eficiência de operação e tempo operacional gasto no descarregamento das colhedoras ensaiadas	97
4. Valores das perdas totais, plataforma e trilha das colhedoras ensaiadas	98
5. Valores de condutividade elétrica e germinação dos grãos de soja	99
6. Valores de envelhecimento acelerado, teor de água e teste de tetrazólio dos grãos de soja	100
7. Valores do índice de velocidade de germinação, massa de 1000 grãos e porcentagem de grãos quebrados de soja	101
8. Valores (kg ha^{-1}) da distribuição transversal de palha da colhedora A	102
9. Valores (kg ha^{-1}) da distribuição transversal de palha da colhedora B	102
10. Valores (kg ha^{-1}) da distribuição transversal de palha da colhedora C	102
11. Valores de ruído (dB) dentro e fora das cabines das colhedoras durante operação de descarregamento, colheita e parado	103
12. Valores de temperatura e umidade relativa do ar, dentro e fora das cabines das colhedoras	104

1 RESUMO

A colheita é uma das atividades mais importantes na agricultura devido ao seu alto valor agregado, compreendendo operações custosas do processo produtivo, devido a alta demanda energética. Sua boa execução contribui para o retorno dos investimentos realizados em todo o ciclo produtivo de uma cultura. Informações dos desempenhos operacional, energético e ergonômico são de grande importância no gerenciamento de sistemas mecanizados agrícolas, auxiliando nas decisões a serem tomadas, visando a racionalização operacional. O objetivo do presente estudo consistiu na avaliação de três colhedoras de soja, sendo a primeira com plataforma de 7,62 m, motor de 176,4 kW e tanque graneleiro de 7.200 L, a segunda com plataforma de 7,01 m, motor de 161,7 kW e tanque graneleiro de 6.700 L e a terceira com plataforma de 6,71 m, motor de 165,4 kW e tanque graneleiro de 6.000 L com seus respectivos mecanismos atuadores, para identificar os sistemas mais eficientes quanto à racionalização da demanda energética, ergonomia e desempenho operacional relativos a perdas quantitativas e qualitativas de soja, em área de plantio direto na palha. O experimento foi realizado no campo de produção da fazenda Igreja Velha, Município de Tibagi/PR e as análises laboratoriais no Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA) da FCA-UNESP, Campus de Botucatu/SP e no laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Fitotecnia da FEIS-UNESP, Campus de Ilha Solteira/SP. A avaliação do consumo energético foi realizada através da utilização de um

fluxômetro, em condições normais de operação da colhedora, e para o desempenho operacional foram obtidos todos os tempos de operação das máquinas. Para a análise das perdas de grãos foram determinadas as perdas de pré-colheita; na plataforma; na trilha, separação e limpeza; e as totais. Em todos os tratamentos foi avaliada a qualidade dos grãos aplicando-se o teste de germinação, condutividade elétrica, teste do tetrazólio, velocidade de germinação e envelhecimento acelerado. As colhedoras, também, foram analisadas quanto a qualidade de distribuição de palha, através de coletores posicionados atrás das máquinas, sendo que após a coleta, as palhas foram separadas e pesadas, obtendo-se as quantidades distribuídas ao longo da largura operacional da máquina. Para todas as máquinas ensaiadas foram avaliadas suas características ergonômicas, sendo que para a obtenção do nível de ruído foi utilizado um decibelímetro e para determinação do conforto térmico interno da cabine, utilizou-se um termômetro e um sensor de umidade. A colhedora que apresentava plataforma de maior largura operacional, tanque graneleiro de maior capacidade, motor de maior potência, separador rotativo no sistema de separação e sistema de auto-nivelamento das peneiras apresentou maior desempenho operacional, menor consumo de combustível e menores índices de perdas quantitativas de grãos, em relação as outras colhedoras ensaiadas. Quanto aos parâmetros de avaliação das perdas qualitativas dos grãos colhidos, não houve diferença estatística entre as colhedoras ensaiadas, evidenciando que o sistema de separação com separador rotativo não influenciou nos resultados de qualidade dos grãos. Para o coeficiente de distribuição de palha das colhedoras, todas as máquinas apresentaram distribuição de palha desuniforme, evidenciando a importância de se utilizar espalhador de palhico, para evitar concentração de palha no centro da linha de deslocamento das máquinas. As cabines das colhedoras ensaiadas apresentaram conforto térmico e acústico dentro dos padrões ergonômicos aceitáveis.

OPERATIONAL PERFORMANCE, ENERGETIC AND ERGONOMIC EVALUATIONS OF SOYBEAN (*Glycine max (L.) Merril*) COMBINE HARVERSTERS IN NO TILLAGE AREAS. Botucatu, 2008, 104f. Tese (Doutorado em Agronomia/Programa de Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: FLÁVIO RIELLI MAZETTO

Adviser: KLÉBER PEREIRA LANÇAS

2 SUMMARY

The harvest is one of the most important operation in agriculture due to its high cost, energy demand and its good execution depends the return of investment made in the crop season. Information concerning the operational and ergonomic performance is of great importance in management of agricultural machinery systems to rationalize mechanized operations in agricultural farm. The objective of the present study consisted of evaluating three soybean combine harvesters, the first one with 7,62 m width header, 176,4 kW engine power and 7.200 L grain tank size, the second one with 7,01 m width header, 161,7 kW engine power and 6.700 L grain tank size and the third one with 6,71 m width header, 165,4 kW engine power and 6.000 L grain tank size with its respective mechanisms actuators, to identify the most efficient system in rationalization energy demand, ergonomics and operational performance. The combine harvest test was done at Igreja Velha farm, Tibagi/Parana State, the data analysis were done at Sao Paulo State University - Botucatu and the seed analysis at Sao Paulo State University - Ilha Solteira. The fuel consumption evaluation was made through the use of fluxometer in normal combine operation conditions and for the operational performance was determined all the running machine times. For the grain losses analysis, it was obtained previous losses before harvest; in the headers; in the separation and cleaning system; and total. In all treatments had been evaluated the seed qualities applying the test of germination,

electric conductivity, germination speed, accelerated aging and tetrazolio test. The straw distribution quality was analyzed through collectors located behind the machines. These collectors were weighted, obtaining the straw amounts distributed throughout the operational machine width. For all machines tested were evaluated its ergonomic characteristics, through decibelemeter to noise levels determination and moisture sensor and thermometer to thermal comfort evaluation. The combine with wider grain header, higher grain tank capacity, bigger engine power, rotary separator in the separation system and self-leveling sieves showed greater operational performance, lesser fuel consumption and better grain losses parameters in relation with the others combines tested. Regarding grain quality, machines did not have significant difference, evidencing that rotary separator from the separation system did not influence grain quality results. The evaluated machines didn't have significant difference for straw distribution coefficient, however all of them showed no uniform straw distribution, evidencing the importance to use chaff spreader to prevent straw concentration in the medium of straw distribution line. The combine cabs had acceptable thermal and acoustic comfort values.

Keywords: combine harvesters, ergonomic, performance test, energy, soybeans

3 INTRODUÇÃO

O aumento da população e a necessidade de produzir mais alimentos, aliados à redução do número de pessoas empregadas na agricultura, têm conduzido a uma crescente mecanização das operações de colheita.

No Brasil, a frota de colhedoras é de 43.425 unidades para uma área cultivada de grãos de 57,44 milhões de hectares na safra 2006, ou seja, uma média de 1.322 hectares por máquina, demonstrando a oportunidade de crescimento da frota de máquinas para os próximos anos (ANFAVEA, 2007).

A colheita é uma das atividades mais importantes na agricultura devido ao seu alto valor agregado, compreendendo operações custosas do processo produtivo e de alta demanda energética. Sua boa execução contribui para o retorno dos investimentos realizados em todo o ciclo produtivo de uma cultura.

As operações agrícolas devem ser executadas no prazo agronomicamente recomendado. No planejamento tradicional, a seleção e o dimensionamento de máquinas têm como objetivo realizar a operação no menor prazo possível, para evitar perdas por atrasos, sobretudo devido ao risco climático e falhas de equipamentos. Todavia, isso pode exigir elevada capacidade operacional das máquinas, resultando na elevação dos custos da operação. Por outro lado, menor capacidade não permite a conclusão da operação no prazo ótimo, resultando em perdas quantitativas e qualitativas dos grãos.

Por isso as informações de desempenho operacional e consumo energético das colhedoras auxiliam no gerenciamento de sistemas mecanizados agrícolas, permitindo a racionalização do emprego de máquinas e do consumo energético, bem como a otimização das operações de colheita com menores perdas de grãos.

As perdas quantitativas e qualitativas de soja têm causado grandes prejuízos financeiros aos agricultores e instituições produtoras de sementes. Sales & Constantin (2000) citado por Campos et al. (2005), relatam que o Brasil perde aproximadamente 1,5 milhão de toneladas com a colheita de soja, sendo que na safra 2006, a produção nacional de soja foi de 52,3 milhões de toneladas para uma área de 20,5 milhões de hectares (IBGE, 2007).

Além dos fatores relacionados a perdas de grãos e desempenho operacional das colhedoras, é necessário, também, avaliar a segurança e conforto de quem vai operá-las, sendo de grande importância a aplicação de critérios ergonômicos de avaliação e projeto que permitam estabelecer a perfeita interação do sistema homem-máquina, pois a capacidade operacional e a eficiência do trabalho agrícola dependem das condições em que são realizados.

Diante da importância do estudo da operação de colheita mecanizada, o objetivo geral do presente estudo constituiu na avaliação de três colhedoras de soja com seus diferentes sistemas de alimentação, trilha, separação, limpeza, armazenagem, distribuição de palha e cabine, para identificar os sistemas mais eficientes quanto a racionalização da demanda energética, ergonomia e desempenho operacional relativo a perdas quantitativas e qualitativas, em área de plantio direto.

4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

4.1 Colhedoras de soja

No Brasil, a cultura de soja se caracteriza pelo uso intenso da mecanização durante a operação de colheita, pois devido às incertezas climáticas podem ocorrer atrasos que prejudiquem a colheita dos grãos. A EMBRAPA (2002), recomenda que a colheita deve começar quando a soja atingir o estágio fenológico R8, pois a partir desse estágio, a tendência é a deterioração dos grãos e a deiscência em intensidade proporcional ao tempo em que a soja permanecer no campo. Borges et al. (2006) avaliaram a influência do atraso da colheita no dimensionamento de colhedoras e no custo de operação, e para isso, foi desenvolvido um modelo computacional para simular cenários de colheita, com a finalidade de determinar a capacidade ótima da colhedora e identificar possíveis ociosidades da frota de colhedoras. Os autores concluíram que a capacidade ótima da colhedora varia conforme as características dos cultivares de soja, sendo que cultivares com menores tendências de perdas por atraso na colheita (menor custo de perdas) demandam capacidade menor (menor custo do serviço) e, por conseguinte, proporcionam maior renda líquida na operação, enquanto que para cultivares com maiores tendências de perdas é necessário máquinas de maiores capacidades. Ademais, a renda líquida pode ser maior com o uso de cultivares de menor tendência de perdas associadas ao escalonamento da colheita, porém os agricultores preferem sempre

realizar o investimento em máquinas com excesso de capacidade, para evitar riscos de atrasos na colheita devido a possibilidade de avarias da colhedora e fatores climáticos adversos.

Diante disso, o mercado brasileiro de colhedoras vêm crescendo e rejuvenescendo a cada ano, dado que no ano 2000 o total de unidades vendidas anualmente pela indústria era de 3.780 máquinas, passando para 5.605 unidades em 2004, representando um aumento das vendas de 48% em apenas 4 anos (ANFAVEA, 2007).

Diante do mercado crescente de máquinas para a colheita de grãos, as indústrias fabricantes de máquinas estão em desenvolvimento constante de equipamentos mais competitivos, para tornar o processo de colheita mais eficiente. As colhedoras que utilizavam tração animal, tal como a primeira máquina desenvolvida por Obed Hussey, nos Estados Unidos em 1833 (WIKIPEDIA, 2007), evoluíram para máquinas com 441,42 kW de potência e plataformas de 12,80 m.

O mercado mundial de colhedoras classifica as máquinas por classes, conforme a potência de seus motores. A Tabela 1 contém a descrição das classes de colhedoras, em função da potência nominal de seus motores.

Tabela 1. Classificação das colhedoras (ANFAVEA, 2007).

Classe	Potência nominal do motor
Classe 3	< 121,7 kW
Classe 4	121,7 – 151,2 kW
Classe 5	151,9 – 192 kW
Classe 6	192,8 – 222,3 kW
Classe 7	223 – 298,6 kW
Classe 8	299,4 – 349,2 kW
Classe 9	> 349,2 kW

As colhedoras de grãos desempenham cinco funções básicas que compreende corte e alimentação, trilha, separação, limpeza, distribuição de palha e sistema de armazenamento e descarga dos grãos, conforme ilustrado na Figura 1.

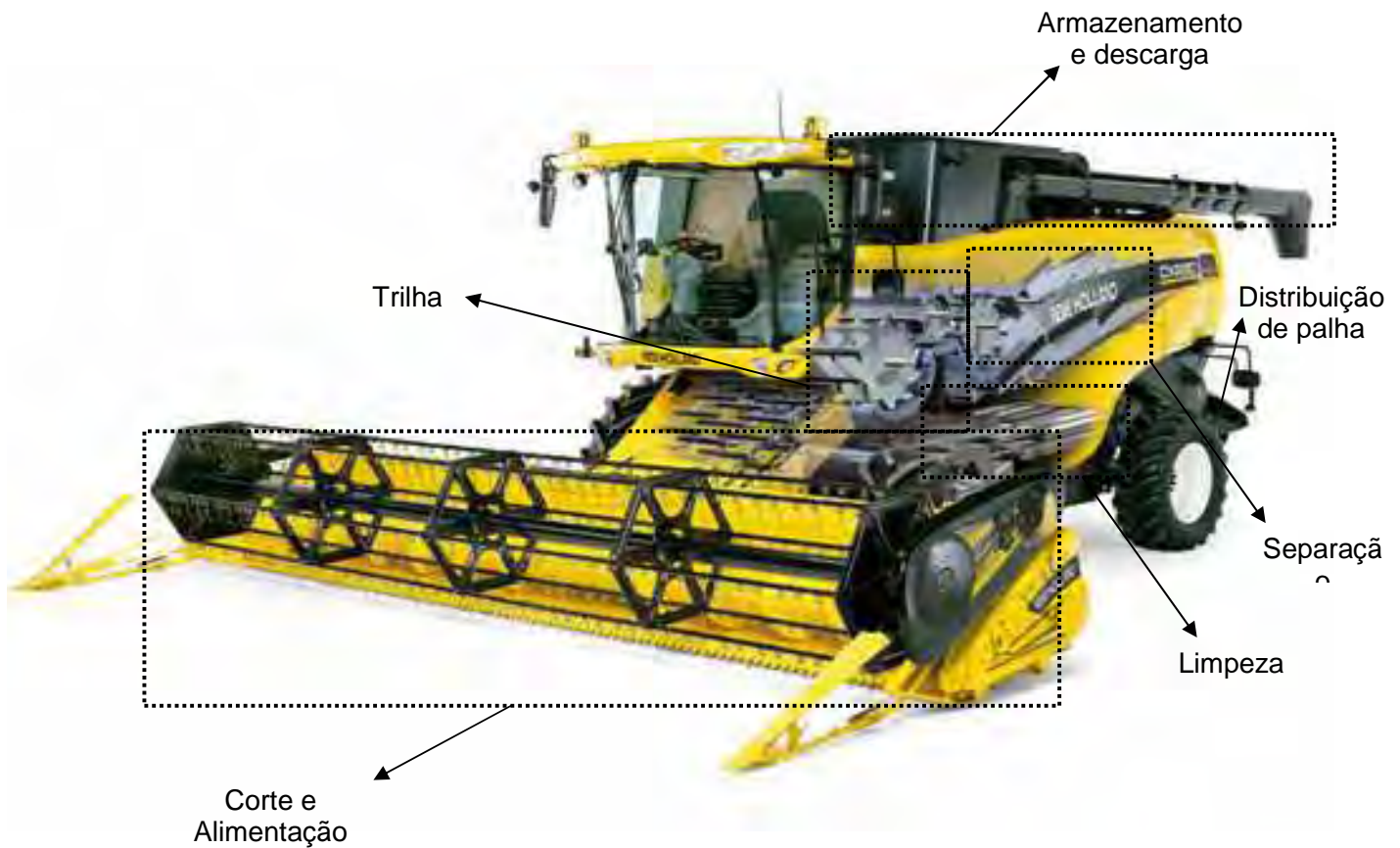


Figura 1. Colhedora de soja e suas principais funções.

4.1.1 Corte e alimentação

O corte e a alimentação são funções desempenhadas pelas plataformas de corte que consiste em cortar as plantas e transportá-las até o elevador de palha para entregar o material colhido ao sistema de trilha.

Na parte superior da plataforma está localizado o molinete que através de movimento rotativo, alinha e direciona as plantas ao encontro da barra de corte, na parte inferior da plataforma, para serem cortadas (NEW HOLLAND, 2000).

O material colhido é levado para o centro do condutor helicoidal, de onde é conduzido pelos dedos retráteis, para o elevador de palhas. O elevador de palhas conduz o material ao cilindro de debulha e côncavo, passando antes sobre o coletor de pedras. O coletor de pedras está projetado para retirar pedras e outros objetos estranhos que possam danificar componentes internos da colhedora (NEW HOLLAND, 2000).

As plataformas de colheita de soja apresentam um sistema automático de controle de altura e flutuação lateral, realizado por sensores posicionados nos bicos divisores, para que a plataforma acompanhe as irregularidades do terreno (NEW HOLLAND, 2000). A Figura 2 ilustra os componentes principais da plataforma.



Figura 2. Plataforma e seus principais componentes.

4.1.2 Trilha e separação

Trilha é o processo onde os grãos são debulhados das vagens, panículas ou espigas, durante o processo de separação dos grãos da palha.

O processo de trilha e separação pode ser executado através de diferentes sistemas denominados convencional, axial e híbrido.

- Sistema Convencional

A trilha se realiza quando o material colhido é conduzido entre as barras estriadas do cilindro e côncavo. O cilindro, com seu movimento rotativo, pressiona as plantas contra as barras e os arames do côncavo, separando assim, os grãos da palha (NEW HOLLAND, 2000).

A grande maioria dos grãos é separada da palha na área de trilha e caem através das aberturas do côncavo sobre o bandejão. A maior parte da palha e os grãos remanescentes são direcionados ao batedor que realiza outra ação de trilha, para então seguir ao processo de separação (NEW HOLLAND, 2000).

O processo de separação ocorre no saca-palhas, mediante movimentos alternados, separando os grãos da palha. Os grãos e a palha fina são conduzidos ao bandejão, enquanto a palha maior é lançada para fora da máquina. Os grãos e palhas pequenas são conduzidos pelo movimento alternado do bandejão para as peneiras, onde ocorre a limpeza (NEW HOLLAND, 2000).

Algumas colhedoras apresentam um separador rotativo entre o batedor e o saca-palhas, com a finalidade de aumentar a capacidade de separação dos grãos (NEW HOLLAND, 2000). A Figura 3 apresenta o sistema de trilha convencional e seus componentes.

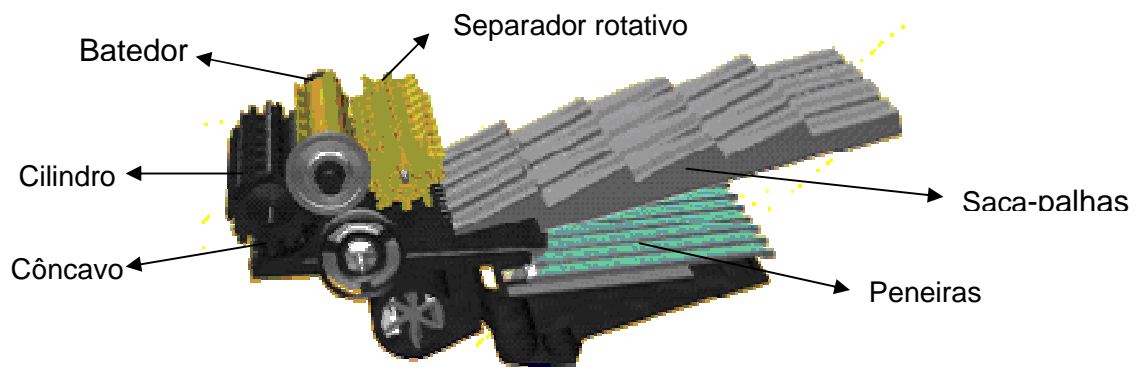


Figura 3. Sistema de trilha convencional e seus componentes.

- Sistema Axial

O sistema axial é composto por um ou mais rotores posicionados longitudinalmente, em relação a linha de deslocamento da colhedora e realiza as funções de trilha e separação dos grãos. Essas funções são realizadas na área da gaiola do rotor (estrutura que envolve o rotor), sendo que a trilha é feita na sua primeira porção e a separação em sua parte posterior. O material colhido é levado para a área de trilha do rotor, em alguns casos, por um batedor alimentador e, em outros, por lâminas helicoidais (CASE IH, 2006).

A trilha é realizada pelo movimento rotativo do material colhido dentro do rotor, sendo que nessa área do rotor existem pequenas barras de debulha que agem sobre côncavos, fazendo com que os grãos trilhados caiam para a área de limpeza e os grãos remanescentes na palha seguem para o processo de separação. Os côncavos apresentam diferentes configurações para cada tipo de cultura e condição de colheita (CASE IH, 2006).

A separação é completada na metade posterior da área da gaiola usando barras de separação posicionadas no rotor e grelhas entre o rotor e o sistema de limpeza, fazendo com que os grãos sejam separados da palha. A palha segue o movimento rotativo no interior do rotor e é lançada para fora da máquina através de um batedor, localizado posteriormente ao rotor, enquanto os grãos são direcionados para o sistema de limpeza (CASE IH, 2006). A Figura 4 apresenta o sistema axial de colheita.



Figura 4. Sistema de trilha axial de duplo rotor (a) e rotor único (b).

- Sistema Híbrido

O sistema híbrido é uma união do sistema convencional com o axial, ou seja, a trilha é realizada por um cilindro, batedor e côncavo posicionados transversalmente em relação a linha de deslocamento da colhedora e, a separação é realizada por dois rotores longitudinais envolvidos com grelhas de separação (CLASS, 2001). A Figura 5 ilustra o sistema de trilha híbrido e seus componentes.

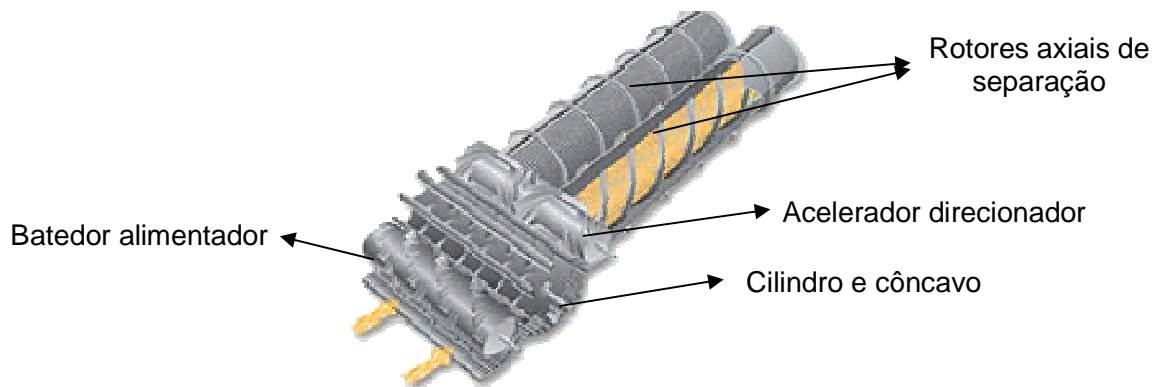


Figura 5. Sistema de trilha híbrido e seus componentes.

4.1.3 Limpeza

O sistema de limpeza é composto pelo bandejão e pelas peneiras superior e inferior. O bandejão apresenta movimento alternado, promovendo o movimento dos grãos para baixo da palha, enquanto a palha fina se desloca para cima dos grãos, possibilitando uma prévia limpeza do material antes de chegar às peneiras. Em algumas máquinas axiais, o bandejão é substituído por sem-fins transportadores, com função exclusiva de levar os grãos e a palha fina para as peneiras (NEW HOLLAND, 2000).

Nas peneiras, o material sofre ação do ventilador que sopra a palha fina para fora da máquina, enquanto os grãos passam pela peneira superior e chegam até a peneira inferior. As vagens e espigas não debulhadas passam pela peneira superior, porém são retidas na peneira inferior, retornando ao sem-fim de retilha, para serem enviadas ao sistema de debulha e serem novamente trilhadas (NEW HOLLAND, 2000).

Os grãos limpos que passam pela peneira superior e inferior são conduzidos, através do sem-fim e elevador de grãos, para o tanque graneleiro (NEW HOLLAND, 2000). A Figura 6 apresenta o sistema de limpeza e seus componentes.

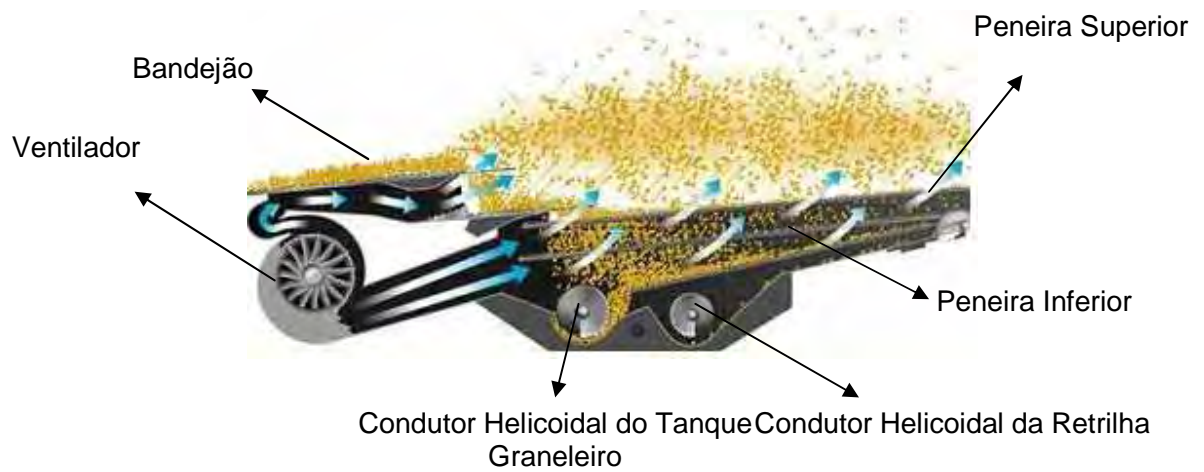


Figura 6. Sistema de limpeza e seus componentes.

4.1.4 Distribuição de palha

A palha proveniente do saca-palhas e rotor são picadas e distribuídas ao solo, através do picador de palhas e aletas direcionadoras. O comprimento da palha pode ser regulado pela rotação do picador, velocidade de deslocamento da colhedora e distância das contra-facas. O picador pode ser substituído por um espalhador de palha (NEW HOLLAND, 2000). A Figura 7 ilustra a operação de distribuição de palha durante a colheita.



Figura 7. Distribuição de palha durante a colheita.

4.1.5 Armazenamento e descarga dos grãos

O armazenamento dos grãos é realizado no tanque graneleiro e a descarga é efetuada através de um tubo articulado. A Figura 8 ilustra o sistema de descarga dos grãos durante a colheita.



Figura 8. Sistema de descarga dos grãos durante a colheita.

4.2 Desempenho operacional e energético de máquinas agrícolas

Diversos métodos podem ser considerados ao se estudar o desempenho de máquinas agrícolas, desde o método que decorrem de uma avaliação direta realizada em operações agrícolas, até a adoção de modelos matemáticos que prevêm o desempenho a partir das características decorrentes do regime de operação do motor e sua interação com as características ponderodimensionais das máquinas e as condições físicas do meio que a suporta (CORDEIRO, 1994).

Os métodos diretos são assim denominados porque decorrem da instrumentação e monitoramento das máquinas, permitindo a determinação dos fatores que otimizam os seus desempenhos, tais como: capacidade operacional, eficiência e consumo de combustível (CORDEIRO, 2000).

De acordo com Mialhe (1996), dentre os diversos parâmetros de desempenho que devem ser avaliados em uma máquina agrícola, o consumo de combustível

constitui-se um dos mais importantes aspectos de avaliação da eficiência, pois está diretamente relacionado com o custo de produção.

Malcolm et al. (1984) desenvolveram uma instrumentação para monitorar o desempenho de um trator. As variáveis analisadas incluem rotação das rodas dianteiras e traseiras, velocidade de deslocamento, rotação do motor, rotação do diferencial, força de tração na barra, torque no eixo e consumo de combustível.

Wang & Zoerb (1988) desenvolveram um sistema de informação ao operador do trator baseado em um microprocessador que indica a conjugação de rotação e marcha de melhor rendimento.

Gamero et al. (1986) construíram um medidor de consumo volumétrico de combustível, que fornece o valor do consumo de combustível em milímetros, necessitando fazer a conversão da leitura de nível da coluna num correspondente em volume. A montagem no trator é feita interceptando os fluxos de combustível do tanque e do retorno, de maneira que o medidor, através da abertura e fechamento sincronizado das eletro-válvulas, substitua os fluxos do tanque de combustível do trator pelo fluxo do medidor.

Silva (1997) projetou e construiu um sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e implementos agrícolas em trabalhos de campo, utilizando indicadores digitais e sistema computadorizado de aquisição de dados. O sistema de aquisição de dados computadorizado (“datalogger”), em conjunto com os painéis, reduziu o risco de perda de dados e proporcionou duas formas de aquisição, a manual e a computadorizada. Nos ensaios de campo este sistema mostrou que a frequência de aquisição de 1 a 5 Hz proporcionou resultados de alta precisão das grandezas monitoradas com grande quantidades de dados coletados, sendo muito utilizado para ensaios de máquinas tanto no âmbito científico como comercial.

Gamero et al. (1997) instrumentaram um trator e verificaram que no preparo de solo com arado de discos seguido por uma gradagem leve, o consumo de combustível foi de 22,26 L ha⁻¹, ao passo que o preparo com enxada rotativa, utilizando dois pares de lâminas por flange, com rotação mínima no rotor e anteparo traseiro totalmente levantado, consumiu 9,65 L ha⁻¹, evidenciando a economia de combustível que esse equipamento pode proporcionar.

Siqueira et al. (1996), em estudos com rolo faca na velocidade de trabalho de $3,6 \text{ km h}^{-1}$, encontraram valores de capacidade de campo de $0,73 \text{ ha h}^{-1}$ e consumo de combustível de $9,7 \text{ L ha}^{-1}$.

Na operação de semeadura de aveia preta em um solo argiloso, Silveira et al (2005) trabalhando com duas velocidades de deslocamento ($5,2$ e $7,1 \text{ km h}^{-1}$) e duas profundidades de semeadura ($2,0$ e $2,7 \text{ cm}$), verificaram que o incremento da velocidade aumentou em $6,9\%$ a demanda de força na barra e, por outro lado, o aumento da profundidade aumentou de forma significativa a demanda de força de tração e potência na barra.

Malh (2006) avaliou o desempenho de semeadoras-adubadoras com três mecanismos sulcadores de abertura de sulco para fertilizante (tipo disco duplo desencontrado e haste) em solo de textura arenosa com vegetação de braquiária e concluiu que a haste e disco duplo defasado demandaram força de tração e potência por cm de profundidade do sulco semelhantes. O sulcador de hastes em solo argiloso demandou 15% a menos de potência por cm de abertura do sulco em relação ao sulcador de discos duplos desencontrados.

Segundo Ripoli (1996), na análise do desempenho operacional de cortadoras e colhedoras de cana-de-açúcar deve-se considerar a qualidade de matéria-prima, suas perdas, capacidade operacional e não se restringir, apenas, à capacidade efetiva em kg h^{-1} ou t dia^{-1} . O autor definiu que o desempenho operacional é o conjunto de atributos que caracterizam a habilidade da colhedora para execução da operação de colheita, sob determinadas condições operacionais.

O desempenho operacional da colhedora de cana-de-açúcar foi avaliado por Furlani Neto et al. (1996), onde encontraram capacidade efetiva de $57,78 \text{ t h}^{-1}$ e velocidade de deslocamento de $4,65 \text{ km h}^{-1}$ para canavial de cana crua e capacidade efetiva de $66,79 \text{ t h}^{-1}$ e velocidade de $5,50 \text{ km h}^{-1}$ para canaviais com queima prévia.

Kronka & Monteiro (1996) avaliaram o desempenho operacional da colhedora Brastoft 7700, em canaviais de cana crua, obtendo eficiência de $64,64\%$ e capacidade operacional de $37,67 \text{ t h}^{-1}$.

Ripoli et al. (2001) estudaram o desempenho operacional e econômico de colhedoras Brastoft de cana crua e concluíram que o consumo de combustível por tonelada de cana colhida reduziu com o aumento da velocidade de deslocamento da colhedora, sendo que não houve aumento das perdas de cana.

Seki (2007) avaliou o desempenho operacional e energético na colheita de milho de grãos úmidos (33% de teor de água) e secos (15,4% de teor de água). Na colheita de grãos úmidos, a colhedora apresentou velocidade de 3,27 km h⁻¹, capacidade operacional efetiva de 1,12 ha h⁻¹, consumo horário de combustível de 15,31 L h⁻¹ e consumo de combustível por área de 13,59 L ha⁻¹. Na colheita de grãos secos, a colhedora apresentou velocidade de 3,63 km h⁻¹, capacidade operacional efetiva de 1,25 ha h⁻¹, consumo horário de combustível de 12,64 L h⁻¹ e consumo de combustível por área de 10,14 L ha⁻¹, ou seja, a capacidade de campo efetiva da colheita de grão seco foi 10% superior, o consumo horário de combustível e o consumo por área apresentaram valores 17% e 25% inferiores, respectivamente aos obtidos na colheita de grão úmido.

4.3 Perdas quantitativas de grãos

A colheita constitui uma importante etapa no processo produtivo da soja, principalmente pelos riscos a que está sujeita a lavoura destinada a produção de grãos ou de sementes. Durante o processo de colheita é normal que ocorram algumas perdas, porém é necessário que essas perdas sejam sempre reduzidas a um mínimo para que a rentabilidade seja maior (EMBRAPA, 1999b).

No Brasil, os primeiros estudos sobre as perdas na colheita datam da década de 1970, quando Dall'Agnol et al. (1973), em 8 localidades do Rio Grande do Sul, estimaram a perda média na colheita de soja em 203 kg ha⁻¹ (3,4 sacas ha⁻¹). Nas safras 78/79 e 79/80, Mesquita et al. (1980) e Finardi & Souza (1983) divulgaram perdas médias de 192 kg ha⁻¹ (3,2 sacas ha⁻¹) e de 180 kg ha⁻¹ (3 sacas ha⁻¹), respectivamente em 43 e 210 propriedades das principais regiões produtoras do Paraná.

Vários fatores podem contribuir para o aumento considerável das perdas na colheita, dentre eles pode-se citar: o mau preparo do solo; a inadequação da época da semeadura, o espaçamento e a densidade da cultura; as cultivares não-adaptadas à região; ocorrência de plantas daninhas; o tempo e o teor de água dos grãos na colheita; e a regulação e condução incorreta da colhedora (EMBRAPA, 1999a). Esses fatores são responsáveis pelos índices de perdas de grão, que atingem de 9% a 10% da produção agrícola nacional, segundo

Pinheiro Neto & Gamero (2000), que citam Marchezan & Costa (1980), Ocepar (1985) e Brasil (1993).

Segundo a EMBRAPA (1997), as perdas ocorridas numa lavoura de soja são definidas em: perdas de pré-colheita, perdas causadas pela plataforma de corte e perdas por trilha, separação e limpeza.

As perdas de pré-colheita podem ser definidas, como sendo sementes livres e sementes dentro de vagens existentes sobre o solo antes da operação de colheita (MESQUITA et al., 1980; BRAGACHINI et al., 1992). De acordo com Araújo (1995), as perdas de pré-colheita estão diretamente relacionadas com a época de colheita. Portanto, numa colheita de soja atrasada, a tendência é a deterioração dos grãos e deiscência em intensidade proporcional ao tempo de permanência da soja no campo (BRAGACHINI et al., 1992).

Avaliações efetuadas por Cuenca (1983), mostraram que o atraso na colheita de soja aumentou consideravelmente as perdas de pré-colheita, representadas principalmente por maior quantidade de grãos e de plantas caídas que não podem ser recuperadas pela plataforma.

Lamp et al. (1962) demonstraram através de ensaios realizados entre 1956 e 1960 que, na colheita de soja nos Estados Unidos, o total de perdas por colhedora variou de 9,8% a 19,3% naquele período. Os autores concluíram ainda, que a perda por deiscência aumentou quando o teor de água decresceu.

Além da perda por deiscência, as perdas de plataforma são muito importantes para serem avaliadas, pois corresponde a maior parte das perdas durante a colheita. As perdas de plataforma são devidas aos grãos que são debulhados pelo molinete, pelas plantas cortadas e que são jogadas ao solo e pelas vagens que permanecem abaixo do corte, devido à elevada altura da barra de corte (PINHEIRO NETO, 1999).

Estudando as perdas de grãos influenciadas pela plataforma, Lamp et al. (1962), concluíram que 80% de todas as perdas são ocasionadas pelo recolhimento do material ou pela plataforma de corte e que 55% dessas perdas ocorrem pela deiscência ou debulha induzida por ação mecânica de impacto e/ou compressão e/ou atrito. Dunn et al. (1973) e Quick (1973) afirmam que 80% das perdas são causadas pela barra de corte. Segundo Bichel et al. (1975), as perdas na plataforma provocadas pela barra de corte flexível e flutuante, são

25% inferiores àquelas ocasionadas pela utilização da barra de corte fixa. Esta redução de perdas pode ser atribuída basicamente à altura de corte das plantas (Finardi & Souza, 1983).

Conforme Pinheiro Neto & Gamero (2000), a presença de plantas daninhas no momento da colheita de soja ocasionou 62% de perda total. As perdas pela plataforma de corte representaram 87% das perdas totais também quando a cultura apresentou-se infestada de plantas daninhas no momento da colheita.

Esse fenômeno também foi observado por Sales & Constantin (2000) citado por Campos et al. (2005) que estudaram o efeito das plantas daninhas na perda de grãos. Os autores relatam que dependendo do nível de infestação, pode aumentar a quantidade de plantas daninhas colhidas, dificultando a trilha, separação e limpeza no processo de colheita. Além disso, as plantas daninhas podem provocar vibração nas plantas de soja no recolhimento, pelo fato de se entrelaçarem nessas plantas durante a ação giratória do condutor helicoidal. Essas plantas daninhas podem ocasionar até 80% das perdas totais da colhedora durante a colheita.

Pinheiro Neto (1999), analisando perdas quantitativas na colheita da soja, relatou que quanto menor a umidade dos grãos durante a colheita, maior foi a perda na plataforma de corte, sendo que o mecanismo de corte foi o responsável por 61,9% a 88,6% das perdas totais. Já Boller et al. (1998) definiram que a plataforma foi responsável por 78,8% a 97,5% das perdas totais.

Portella (1997) estudou a influência da umidade nas perdas de grãos de soja em duas colheitas. Na primeira, quando a umidade era de 17,5%, as perdas na plataforma foram de 68% da perda média total; na segunda época de colheita, com 14,7% de umidade no grão, a perda média total diminuiu, ao passo que as perdas de plataforma aumentaram para 76%. O autor concluiu que existe uma interação acentuada entre o nível de perda de grãos na colheita e a umidade no grão.

Segundo Bragachini (1991), a velocidade periférica do molinete deve ser de 15 a 20% superior à velocidade de avanço da colhedora, reduzindo a agitação das plantas cortadas.

Estudando as perdas de plataforma de corte, mais especificamente o efeito da velocidade e alturas do molinete de 7,5 a 20 cm acima da barra de corte, Quick &

Buchele (1974) concluíram que as perdas foram reduzidas significativamente quando o molinete operou na altura e velocidades mais elevadas.

Resultados de trabalhos conduzidos pela EMBRAPA (1997) mostram que a barra de corte deve trabalhar próxima ao solo, procurando deixar o mínimo de vagens presas nos restos da cultura que permanecem na lavoura. Segundo EMBRAPA (1997), a velocidade de deslocamento da colhedora deve ser de 4 a 5 km h⁻¹, mas para Balastreire (1987), a velocidade ideal da máquina na colheita de soja está entre 3 e 5 km h⁻¹.

Brasil (1993) avaliou as origens das perdas de grãos na operação de colheita mecânica e concluiu que 12% delas são ocasionadas pelos mecanismos internos das máquinas.

Mantovani (1989) classifica as perdas causadas pelos mecanismos internos da colhedora em perdas na unidade de trilha, ocasionadas pelo cilindro, perdas de separação (as que ocorrem nos saca-palhas e peneiras) e perdas por fuga, que podem ocorrer em qualquer ponto da colhedora. Entretanto para Balastreire (1987), as perdas nos saca-palhas são consideradas de separação e das peneiras superior e inferior, de limpeza.

As perdas na unidade de trilha são devido as vagens parcialmente trilhadas, que saem da colhedora, através dos saca-palhas e peneiras, devido principalmente pela grande abertura entre cilindro e côncavo, baixa rotação do cilindro, planta sem condições de ser colhida e a velocidade de deslocamento da máquina que pode alterar a quantidade de material no sistema de alimentação (BALASTREIRE, 1987).

As regulagens de rotação do cilindro de trilha e da distância entre o cilindro e côncavo são essenciais à qualidade do produto e na redução das perdas que ocorrem na unidade de trilha (PINHEIRO NETO, 1999).

Para Finch et al. (1980), as perdas de separação são formadas por aqueles grãos soltos que não foram separados da palha e saem pelo saca-palhas para fora da colhedora.

A função do saca-palhas é continuar o processo de separação, agitando a palha e fazendo com que os grãos não separados caiam para a unidade de limpeza, além de transportar a palha para ser expulsa da máquina (PINHEIRO NETO, 1999).

As perdas de grãos provocadas pelo saca-palhas são devidas, principalmente, à velocidade muito baixa do cilindro de trilha, abertura muito grande entre o

cilindro e o côncavo, desajuste na extensão do côncavo, sobrecarga e obstrução no saca-palhas (COSTA & TAVARES, 1995).

As perdas de grãos ocorridas nas peneiras são representadas por aqueles grãos que saem pelas peneiras para fora da colhedora. Suas causas são: rotação inadequada do ventilador, direção incorreta do fluxo de ar, velocidade de deslocamento da colhedora muito alta em culturas de grande rendimento, produto com excesso de umidade, peneira superior muito fechada, acúmulo de impurezas sobre as peneiras, peneiras sobrecarregadas ou alta rotação do cilindro, ou ainda, desalinhamento entre o côncavo e cilindro (PINHEIRO NETO, 1999).

Boller et al. (1998), constataram que as perdas dos mecanismos de separação e de limpeza foram insignificantes e indiferentes à variação da umidade.

Segundo Mesquita et al. (2001), as perdas e quebras de grãos tendem a aumentar de forma acentuada com velocidades de trabalho superiores a 7 km h^{-1} e com redução do teor de água dos grãos, respectivamente.

Levantamentos efetuados, em nível de propriedades, têm demonstrado índices elevados de perdas na colheita de soja, sendo que a perda aceitável é de até 60 kg ha^{-1} (EMBRAPA, 1999b).

Pinheiro Neto & Troli (2003) avaliaram as perdas de grãos em função da idade das colhedoras e observaram que as máquinas com mais de 10 anos de utilização perderam mais grãos que as demais, ultrapassando em média o nível de tolerância estabelecido pela EMBRAPA.

Franz et al. (2001) verificaram que a perda média na colheita de soja no Distrito Federal foi de $1,7 \text{ sacas ha}^{-1}$ na safra 98/99 e concluíram que os fatores que levaram a esse resultado foram: frota de máquinas obsoletas (71% com mais de 10 anos), alta relação área/máquina ($376,3 \text{ ha máquinas}^{-1}$), seleção inadequada de equipamentos, incapacitação dos operadores, falta de avaliação de perdas (apenas 10% dos produtores faziam avaliação).

Em diagnóstico realizado no município de Dourados, Mato Grosso do Sul, Alves Sobrinho & Hoogerheide (1998), relataram que a perda média total ocorrida na colheita da soja na safra 96/97 foi de 92 kg ha^{-1} . Logo concluíram haver necessidade de um programa de treinamento para operadores de máquina e da conscientização dos produtores rurais para um monitoramento freqüente dos prejuízos durante a colheita.

Campos et al. (2005), avaliaram as perdas na colheita de soja em função da idade, velocidade de trabalho, sistema de trilha (axial e radial) e condição de propriedade das colhedoras (própria ou alugada) na safra 2002-2003. Os resultados permitiram concluir que as perdas de grãos independem da velocidade das colhedoras e que as máquinas com até cinco anos, independentemente da sua taxa de utilização anual, tiveram menores perdas do que as colhedoras com mais de seis anos. As colhedoras próprias apresentaram menores perdas comparadas com as alugadas, e as máquinas com sistema de trilha axial foram mais eficientes do que aquelas com sistema radial.

Segundo Garcia (1995), a determinação das perdas de grãos durante a colheita mecânica é de fundamental importância no sistema produtivo. É a partir desta determinação que pode ser verificada a correta regulagem da colhedora quanto a abertura do côncavo, rotação do cilindro e velocidade de deslocamento da máquina, para obtenção de maior rentabilidade do produto.

Mesquita & Gaudêncio (1982) desenvolveram um copo medidor que permite avaliar de forma simples, rápida e mais precisa, as perdas de grãos durante a colheita. De acordo com esses autores, essa metodologia proporciona uma maior facilidade na determinação das perdas. Costa & Tavares (1995) recomendam a utilização desta metodologia, uma vez que a mesma permite a determinação direta das perdas em sacas ha⁻¹, através de simples leitura dos níveis impressos no copo medidor.

4.4 Perdas qualitativas de grãos

Segundo Mello & Guedes (1994), citado por Pinheiro Neto (1999) a operação de colheita é responsável por 10,26% dos custos de produção de sementes de soja. Para Costa et al. (1996), esta é a operação onde ocorrem os grandes desperdícios de grãos e ou de sementes nas lavouras do Brasil. Além das perdas quantitativas, existem as perdas qualitativas, que são danos mecânicos ocasionados nas sementes, reduzindo a sua germinação e vigor (CERQUEIRA & POPINIGS, 1981; BRAGACHINI et al., 1992; ARAÚJO, 1995).

Araújo (1995) considera que as perdas qualitativas das sementes têm causado grandes prejuízos financeiros aos produtores de sementes. Observa ainda que o

mecanismo de debulha ou de trilha é o principal responsável pela danificação mecânica das sementes.

Para Dassou & Kuenemam (1984), as perdas de qualidade das sementes devem-se principalmente às adversidades ambientais no campo, a rápida deterioração no armazenamento em ambientes úmidos e quentes e aos danos mecânicos causados à semente nas operações de trilha, transporte, manuseio, beneficiamento e semeadura.

Delouche & Andrews (1964) esclarecem que os danos mecânicos não são apenas de aparência física das sementes afetadas, e sim, das conseqüências desses danos sobre a qualidade fisiológica da semente.

Segundo Carbonell & Krzyzanowski (1993), o dano mecânico pode reduzir em até 10% o poder germinativo das sementes, atribuindo-se a alta velocidade do cilindro de trilha como responsável pelo aumento de sementes trincadas e quebradas. Em estudo realizado por Costa et al. (1997) encontraram-se percentual de 8% de grãos quebrados, sendo o cilindro de trilha o principal responsável pelas quebras de grãos e de sementes.

A inadequação dos sistemas de alimentação, trilha, retrilha, separação e limpeza, geralmente, tem proporcionado maiores quebras, rachaduras e danos às sementes, contribuindo muitas vezes para a redução da germinação e do vigor (ANDREWS, 1995; MESQUITA et al., 1994), motivo por que merece muitos cuidados na sua regulação.

A semente de soja é muito sensível aos impactos mecânicos, uma vez que as partes vitais do embrião, como radícula, hipocótilo e plúmula, estão situadas sob o tegumento pouco espesso, que praticamente não lhes oferece proteção (BRAGACHINI et al., 1992; COSTA et al., 1996).

Moore (1972) relata que a estrutura essencial de sementes muito secas tornou-se mais susceptível a trincas, especialmente o eixo hipocótilo-radícula. Portanto o conhecimento da estrutura das sementes e da natureza das injúrias nestas estruturas pode ajudar na prevenção de danos excessivos e perdas precoces de viabilidade.

Para Delouche (1972), Nóbrega (1991) e Bragachini et al. (1992), os danos mecânicos podem ser visíveis, correspondendo a tegumentos quebrados e invisíveis que são trincas microscópicas, os quais se caracterizam pela queda do vigor e viabilidade da semente.

Jijón & Barros (1983), afirmam que qualquer lesão mecânica pode reduzir a qualidade da semente. Para esses pesquisadores, a intensidade, número e local de impactos na semente têm muita interferência sobre o grau de dano mecânico. Carvalho & Nakagawa (1988) relacionam além desses fatores, a umidade das sementes no momento do impacto e as características das sementes, como fundamentais na deterioração do grau de injúria mecânica. Segundo Green et al. (1966), a umidade da semente, no momento do impacto, é o fator mais importante na determinação do grau de dano mecânico sofrido pelas sementes.

Segundo Carvalho & Nakagawa (1988), a quebra de sementes começa a ser mais intensa entre umidade de 12% a 14%, e o amassamento de 16% a 18%, sendo que na faixa intermediária 14% a 16%, a intensidade da injúria seria mínima. Estes mesmos autores citam que o local do impacto tem muita influência, sendo um fator totalmente imprevisível. Para os autores, os danos mecânicos são conseqüências de regulagens não adequadas das máquinas ou equipamentos que realizam operações de manuseio das sementes, principalmente quando apresentam elevada ou baixa umidade. Estes danos podem atingir diferentes partes da semente, o que pode comprometer totalmente um determinado lote.

Estudo realizado por Moore (1972), sobre o efeito da injúria mecânica na colheita de soja com umidades de 12% e 13,4% e com diferentes rotações do cilindro de trilha (700 e 900 rpm), ficou demonstrado que o grau de danos depende principalmente da força do choque e do teor de água da semente, sendo que a medida que se aumentou a velocidade do cilindro de trilha e quanto menor teor de água das sementes colhidas, maior foi a porcentagem de sementes com danos mecânicos.

Mesmo resultado obtido por Pinheiro Neto & Troli (2003) que avaliaram a quebra de grãos em função da rotação do cilindro de trilha e teor de umidade dos grãos no Município de Maringá, Estado do Paraná. Os autores concluíram que a quebra de grãos aumentou com a elevação da rotação do cilindro de trilha e diminuição dos teores de água dos grãos, indicando a necessidade de capacitação dos operadores na regulagem do sistema de trilha para uma boa colheita.

Outros trabalhos têm demonstrado o efeito prejudicial que acarreta o hábito de deixar a semente de soja no campo depois de alcançar o ponto de colheita (GREEN et al., 1966; MONDRAGON & POTTS, 1974). A exposição no campo de sementes, a

períodos alternadamente úmidos e secos, pode diminuir sua qualidade. Portanto, a soja deve ser colhida o mais cedo possível, assim que atingir o máximo de viabilidade e vigor, ou seja, a maturidade fisiológica.

Para Pereira (1981), a semente de soja atinge o máximo de germinação e vigor bem antes das vagens estarem secas. O autor define esse ponto como maturação fisiológica, que é caracterizada pelo acúmulo máximo de matéria seca.

De acordo com Delouche (1974) e Jacinto & Carvalho (1974), a maturação fisiológica é alcançada com umidade entre 30% e 50%. Isto obriga a semente a ficar armazenada no campo até alcançar a umidade que permita o processo de colheita. Segundo Araújo (1995), este retardamento obrigatório pode comprometer a qualidade das sementes. A EMBRAPA (1997) afirma que a colheita de soja com umidade entre 13% e 15% tem minimizado os problemas de danos mecânicos. Por outro lado, afirma que sementes de soja colhidas com umidade superior a 15% estão sujeitas a maior incidência de danos mecânicos latentes, e com teor de água abaixo de 12%, estão susceptíveis a dano imediato.

Costa et al. (1981), estudando os prejuízos causados por danos mecânicos em sementes de soja com três teores de água, colhidas por operação manual e mecânica e armazenada por seis meses, verificaram que as menores perdas ocorreram no teor de água de 11,5% a 14% e concluíram que o poder germinativo e o vigor decresceram significativamente após o armazenamento.

Para Marcos Filho et al. (1987), a importância do conhecimento do teor de água na qualidade fisiológica da semente, é que permite a escolha de procedimento mais adequado para preservação física, fisiológica e sanitária das sementes.

Os efeitos do teor de água e da velocidade do cilindro de trilha na qualidade da semente de soja foram estudados por Green et al. (1966), durante três anos. Os autores submeteram as colheitas manual e mecânica, sementes de soja de duas cultivares, com três teores de água: acima de 14%, entre 12% e 14% e abaixo de 12%. Na colheita mecânica, foram usadas velocidades do cilindro de trilha de 500, 700 e 900 rpm. Os pesquisadores concluíram que o dano mecânico varia de 2% a 8% nas sementes debulhadas manualmente; 4 a 32% nas sementes colhidas por operação mecânica com 500 rpm; de 9% a 38% nas colhidas com 700 rpm e de 17% a 49% com 900 rpm. Observaram, também, que a incidência de danos foi inversamente proporcional ao teor de água dos grãos.

Analisando as perdas qualitativas na colheita da soja, Pinheiro Neto & Gamero (2000) verificaram que a porcentagem de sementes quebradas aumentou com a intensificação da rotação do cilindro de trilha e com a diminuição do nível de umidade das sementes. A alta rotação do cilindro, associada à pequena abertura do côncavo, elevou os danos mecânicos, principalmente quando as sementes foram colhidas com umidade inferior a 12,5%.

Mesquita et al. (1998) afirmam que o sistema de trilha na colheita da soja provoca quebra de pequenos fragmentos nos grãos e que, muitas vezes, esses danos não são percebidos nos restos culturais ou até em medições de perdas. As perdas com a quebra dos grãos representam de 1,7% a 14,5% das perdas da colheita. De acordo com Mesquita et al. (2002), colhedoras que possuem sistema de trilha longitudinal ou axial apresentam menores danos mecânicos às sementes quando comparados com sistema de trilha radial.

Skromme (1977), citado por Costa et al. (2002), confirma que as colhedoras axiais possuem maior capacidade de colheita e apresentam redução de danos mecânicos às sementes, embora ainda tenham um custo de aquisição considerado elevado para os produtores brasileiros.

Segundo Costa et al. (2002), a alta variabilidade encontrada em estudos da qualidade de sementes durante a colheita demonstram que as causas estão relacionadas a fatores como manutenção deficiente e regulagens inadequadas das colhedoras, além da ocorrência de chuvas durante o período de colheita.

4.5 Distribuição de palha

O sistema plantio de direto é o sistema de manejo do solo onde a semeadura é realizada com revolvimento mínimo do solo, preservando-se a palha de culturas anteriores sobre a superfície do solo (MUZILLI, 1981; GASSEN & GASSEN, 1996; ARAÚJO et al., 2001).

No sistema de plantio direto, bem como no sistema de preparo convencional do solo não apenas a rotação de culturas, mas o manejo da palha passa a ser muito importante. A eficiência do sistema de plantio direto no controle da erosão, aumento do teor de água do solo, redução da emergência de plantas daninhas e outros benefícios às plantas

e ambiente, é muito dependente de uma boa cobertura do solo (DECHEN et al. 2004). Por isso é importante que os resíduos estejam uniformemente distribuídos sobre a superfície após a colheita (LEVIEN et al. 2004).

Araújo et al. (2001), recomendam que no processo mecânico, as máquinas usadas para o manejo da cobertura vegetal devem cortar e acamar o material e distribuí-lo uniformemente sobre a superfície do solo, pois segundo ele, o objetivo é que se tenha uma redução no comprimento das palhas, evitando o acúmulo destas junto aos sulcadores das semeadoras. Ainda segundo os autores, a máquina usada para o manejo, depende entre outras, da quantidade de palha sobre o solo e da capacidade da semeadora.

O picador e distribuidor de palha acoplada às colhedoras automotrizes constituem um método eficiente e de baixo custo para o manejo da palha (ARAÚJO et al. 2001).

Para Smith (1996), a grande capacidade operacional das colhedoras equipadas com plataformas de grãos de 6,1 a 7,32 m ou de 8 a 12 linhas milho, dificulta a distribuição da fitomassa. Quando o material da cultura é coletado em 9,14 m de largura e depositado na parte traseira da colhedora numa largura de 1,83 m, são relatados vários problemas de manejo destas palhas.

Orlando et al. (2005a) estudaram a distribuição de resíduos de trigo em três colhedoras de cilindro transversal e sem espalhador de palhiço, e constataram uma grande desuniformidade de distribuição, com maior acúmulo no centro das máquinas (entre 3 Mg ha⁻¹ e 4 Mg ha⁻¹), mesmo estas tendo tamanho de plataforma entre 3,96 e 5,18 m. Ainda, segundo o autor, esta má distribuição da palha pode ocasionar faixas de fertilidade diferentes dentro da largura de corte após a decomposição dos resíduos.

Orlando et al. (2005b), verificaram que houve irregularidade na distribuição da palha pelas colhedoras, independente da largura de corte. Os autores citam ainda que essa desuniformidade de distribuição ocasiona uma disponibilização de nutrientes desuniforme, concordando com Grespan (2005), que observou maiores teores de nutrientes nas faixas onde ocorre a deposição da palha proveniente das peneiras da colhedora. Os autores destacam ainda a importância de um sistema de distribuição de palhiço (material proveniente das peneiras) para se conseguir uma distribuição de palha mais próxima do ideal.

Veseth et al. (1997) estudaram a distribuição de resíduos de trigo com produção de massa seca total em torno de $11,9 \text{ Mg ha}^{-1}$, sendo desse total $6,7 \text{ Mg ha}^{-1}$ palha e $5,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ soqueira (parte da cultura que ficou no solo sem passar pela colhedora) e constatou que as colhedoras com cilindros originais (sem alteração), apresentaram a distribuição de resíduos muito desiguais, variando de $5,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ (só a soqueira) perto das bordas da largura de colheita e $22,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ no centro da colhedora. O palhicho compôs 65% das $22,2 \text{ Mg ha}^{-1}$ de resíduo. Segundo os autores, o picador de palha somente reduziu o tamanho das partículas, já com o distribuidor de palhicho conseguiu-se uma distribuição mais uniforme, porém além da largura da plataforma, causando sobreposição. Os autores observaram que essa sobreposição pode ser ajustada através da redução da velocidade do distribuidor de palhicho.

Segundo Veseth et al. (1997), em colhedoras com cilindro axial e sem espalhador de palhicho, verificou-se o mesmo comportamento de distribuição que máquinas com cilindro normal e sem distribuidor. Porém, com distribuidor protótipo obteve-se distribuição de resíduo mais uniformemente, variando de $9,6 \text{ Mg ha}^{-1}$ a $14,1 \text{ Mg ha}^{-1}$.

Atualmente, a maioria das máquinas disponíveis do mercado possui somente o picador com aletas difusoras para distribuir a palha, sem a presença de um mecanismo distribuidor de palhas nas peneiras. Para Agriculture Food and Rural Development (2005) três tipos de mecanismos espalhadores de resíduo estão disponíveis nas colhedoras: picador para a palha do saca-palhas, distribuidor de palhicho para as palhas provenientes das peneiras e espalhador conjugado de palha e palhicho, comumente utilizado em colhedoras axiais que promovem a distribuição simultânea das palhas do rotor e peneira.

Kunz (2007) estudou a uniformidade de distribuição de palha de 9 colhedoras, com sistema de trilha convencional e axial na colheita da soja e concluiu que todas as colhedoras apresentaram distribuição desuniforme, resultando em faixas com elevada concentração de palha na parte central da linha de deslocamento da colhedora, independentemente da largura da plataforma de corte. As colhedoras com sistema de distribuição de palhicho das peneiras proporcionaram uma distribuição de palha próxima do ideal, justificando a utilização de tal equipamento.

4.6 Ergonomia

A atividade fundamental dos operadores das colhedoras combinadas é realizada no posto de condução na cabine, sendo de grande importância a aplicação de critérios ergonômicos que permitam estabelecer a correta adaptação dos componentes do sistema homem-máquina. Para isso, é preciso considerar as características dos operadores e do trabalho que se realiza, alcançando, desse modo, maior eficiência produtiva, maior grau de conforto e segurança, obtendo assim, melhores condições de trabalho.

A ergonomia é o estudo do relacionamento entre o homem e o trabalho, englobando equipamentos, ambiente e a aplicação dos conhecimentos de anatomia, fisiologia e psicologia na solução dos problemas surgidos desse relacionamento (IIDA, 1997). De acordo com Grandjean (1982) citado por Silva et al. (2004), a ergonomia tem como objetivo prático a adaptação do posto de trabalho, instrumentos, máquinas, horários e ambiente às exigências do homem.

Para a realização dos seus objetivos, a ergonomia estuda uma diversidade de fatores que são: homem e suas características físicas, fisiológicas e psicológicas; as máquinas, mobiliário, equipamentos e instalações; o ambiente, que contempla a temperatura, ruídos, vibrações, luz, cores, etc.; a organização, que constitui todos os elementos citados no sistema produtivo, considerando horários, turnos e equipes, e as consequências do trabalho nos quais entram as questões relacionadas com os erros e acidentes, além da fadiga e do estresse (IIDA, 1997).

Alguns autores têm desenvolvido trabalhos para estudar a aplicação da ergonomia em máquinas agrícolas. Baeza & Casabella (1991) desenvolveram um estudo para avaliar a ergonomia da cabine de comando de colhedoras de cana-de-açúcar em Cuba, analisando o ajuste dimensional da mesma às características do operador e vias de acesso à cabine. Meirelles (1976), propôs vários princípios para a disposição dos comandos de um trator agrícola, dentre os quais se destaca a posição do pedal de embreagem, do volante e do acelerador. Ribeiro (2000) realizou uma avaliação comparativa da ergonomia no posto do operador em três tratores agrícolas de rodas de diferentes potências, concluindo que o trator com potência de 77,3 kW (105,2 cv) foi o que apresentou o projeto ergonômico mais adaptado às normas internacionais.

Schlosser et al. (2002), avaliaram o padrão antropométrico dos operadores de tratores agrícolas da Depressão Central do Rio Grande do Sul e concluíram que existem diferenças entre esse padrão e os parâmetros utilizados pela indústria, confirmando a hipótese de que os tratores agrícolas atualmente comercializados no Brasil podem não oferecer o conforto necessário aos operadores da região estudada.

Com o propósito de fornecer dados para a avaliação de características ergonômicas no posto do operador de colhedoras combinadas, Fontana et al. (2004) avaliaram as colhedoras NH TC 57, SLC 6200 e MF 3640 e concluíram que a colhedora NH TC 57 foi a que apresentou maior número de comandos dentro da área de ótimo e máximo acesso, sendo também a melhor avaliada pelos operadores, dentro daquelas avaliadas nesse trabalho.

Dentre os diferentes parâmetros para avaliação da ergonomia de máquinas agrícolas, o ruído é um importante fator que interfere na relação homem-máquina, portanto seu estudo é essencial para que essa relação seja perfeita. O conceito de ruído é associado a uma intensidade do som, enquanto o som é definido como sendo a variação da pressão atmosférica dentro dos limites de amplitude e bandas de frequências aos quais o ouvido humano responde (GERGES, 1992). Asete (1983) define o ruído como sendo um som desagradável ou indesejado, propagado em meio elástico como ar, água e sólidos. Outra definição de ruído é dada pela norma ISO (ISO, 1975), que o classifica como uma classe de sons, geralmente de natureza aleatória, em que não existe definição clara da frequência de seus componentes. De acordo com Grandjean (1982) citado por Silva et al. (2004), o ruído é um complexo de sons que causam sensação de desconforto e está presente de forma contínua, na vida diária dos seres humanos.

Hilbert (1998) afirma que, para a diminuição do nível de ruído com a conseqüente melhora do ambiente de trabalho, é necessário entender os princípios básicos de sua geração, transmissão e recepção. O reconhecimento do som é feito no ouvido pela mudança de pressão do ar ambiente. Do ponto de vista fisiológico e da ergonomia do posto de trabalho do operador, são duas as características de interesse do ruído emitido por tratores: altura e intensidade (MIALHE, 1996). O ruído é medido em uma escala logarítmica denominada decibel (dB) (PMAC, 1994), existindo duas medidas fundamentais de ruído: uma que se refere ao ruído transmitido ao ambiente e outra que estabelece o ruído que afeta o operador. Os limites são estabelecidos de acordo com as medidas realizadas a 7,5 m de

distância da fonte sonora, admitindo-se um nível máximo de ruído de 85 dB, independente da condição de movimento (CAÑAVATE, 1982). O nível de ruído em tratores agrícolas é avaliado segundo normas internacionais e nacionais que, de acordo com Hilbert (1998), são extensivas às máquinas autopropelidas, como as colhedoras combinadas. Os critérios para a medição do ruído e estimativa do risco para o trabalhador foram inicialmente estabelecidas pela Norma ISO 1999 (ISO, 1975). Posteriormente, uma revisão dessa Norma (ISO, 1982) estabeleceu limites mais severos para os níveis de ruído que ocorrem no posto de trabalho.

No Brasil, a Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) possui algumas normas sobre medições de ruído em máquinas agrícolas, sendo as principais a NBR 9999 (ABNT, 1987) e a NBR 10400 (ABNT, 1988). A Norma NB 95 (ABNT, 1987) estabelece níveis máximos de ruído que permitem o mínimo de conforto aos ocupantes de um ambiente. O máximo estabelecido é de 85 dB, e acima desse limite o ruído, além de perturbar as atividades humanas, pode causar sérios danos à audição. Para o ruído contínuo ou intermitente, a NBR-15 (Norma Regulamentadora), estabelece que, para indivíduos que não estejam adequadamente protegidos, não é permitida a exposição a níveis de ruído acima de 115 dB (MINISTÉRIO DO TRABALHO, 2003, citado por SILVA et al., 2004).

Campana (1984), ao estudar o nível de ruído em tratores com cabines, concluiu que 94,5% dos tratores avaliados apresentaram nível de ruído igual ou superior a 85 dB. Resultados semelhantes também foram obtidos por Zamberlan et al. (1988), que chegaram à conclusão de que, tanto em ensaios padronizados quanto em condições reais de trabalho, nenhum dos tratores estudados apresentaram condições aceitáveis de trabalho aos tratoristas.

Silva et al. (2004), ao determinarem os níveis de pressão sonora nas cabines de colhedoras combinadas, também concluíram que todas as colhedoras estudadas apresentaram ruído acima do nível máximo estabelecido pelas normas técnicas.

Além do ruído, Santos et al. (2004) citam que o conforto térmico é um fator muito importante para ser avaliado em projetos ergonômicos, já que operadores de máquinas agrícolas estão sujeitos a condições térmicas diversas, podendo estar expostos ao calor ou ao frio que podem comprometer seriamente a saúde, caso não sejam adotadas medidas eficazes de controle da temperatura, deixando o posto em condições compatíveis com a natureza humana.

Os autores avaliaram o conforto térmico em tratores agrícolas sem cabine e concluíram que as atividades realizadas pelos operadores eram insalubres, em função do calor ter sido superior ao limite máximo permitido de 22°C (NR 17, 1990). Constatou-se ainda, um aumento da temperatura devido ao aquecimento proveniente do motor da máquina, não utilização de protetores solar, má ou nenhuma programação de horários de almoço e descanso, além da utilização de tipos errados de vestimenta. Esses fatores, além de comprometer a saúde dos operadores, reduzem o rendimento das operações.

5 MATERIAL E MÉTODOS

5.1 Material¹

5.1.1 Área Experimental

O experimento foi realizado no campo de produção da fazenda Igreja Velha, Município de Tibagi – PR, com localização definida pelas coordenadas 24° 31' de Latitude Sul e 50° 25' de Longitude Oeste de Greenwich, altitude média de 800 metros, declividade média de 16%. As análises laboratoriais foram realizadas no Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (NEMPA) da FCA-UNESP, Campus de Botucatu-SP e no Laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Fitotecnia da FEIS-UNESP, Campus de Ilha Solteira-SP.

A caracterização da área pode ser visualizada na Figura 09.

¹ As citações de marcas comerciais não implicam na recomendação de uso pelo autor.



Figura 09. Vista da área experimental em que se realizou o ensaio.

5.1.2 Características da soja

A variedade de soja utilizada foi a Embrapa 48, semeada com espaçamento entre linhas de 0,40 m em área de plantio direto na palha e produção de matéria seca de 5400 kg ha^{-1} . A Figura 10 ilustra a cultura no estágio fenológico de colheita.



Figura 10. Característica da soja no estágio fenológico de colheita.

5.1.3 Colhedoras

Para a condução do ensaio foram utilizadas três colhedoras de classe 5 descritas a seguir, sendo que para melhor caracterização das mesmas, cada sub-item foi dividido em sistema de alimentação, trilha, separação, limpeza, armazenagem, motor, distribuição de palha e cabine.

5.1.3.1 Colhedora A

Ano de fabricação 2006, com 1.138 horas de utilização do motor, transmissão hidrostática com três faixas de velocidades e pneus dianteiros duplados 20.8-38 R1 e traseiros 14.9-24 R1. A Figura 11 ilustra a colhedora A utilizada no ensaio.



Figura 11. Colhedora A.

- Alimentação: Plataforma de 7,62 m de largura de corte, com acionamento hidráulico do molinete e dedos de polietileno em toda sua extensão. Rotação do molinete sincronizada com a velocidade de deslocamento da máquina. Barra de corte flexível, com dedos de fixação das facas duplos e curtos. Conductor helicoidal flutuante com dedos retráteis em toda extensão. Elevador de palha flexível com reversor hidráulico. Flutuação lateral e controle automático de altura da plataforma através de sensores pneumáticos. Ajustes horizontal e vertical do

molinete hidráulico. As características da plataforma podem ser observadas na Figura 12.



Figura 12. Plataforma da Colhedora A.

- Trilha: Sistema composto por cilindro de oito barras de debulha e quatro barras de alta inércia, sendo duas com pinos em toda extensão. Diâmetro do cilindro de 0,60 m e largura de 1,56 m, com velocidade variável de 425 a 1150 rpm, através de motor elétrico. Côncavo de nove barras, com área de envolvimento de $0,95 \text{ m}^2$ e ângulo de ataque de 76° . Batedor cilíndrico de chapas com rotação de 875 rpm. Sistema de polia dupla no acionamento do eixo do cilindro que tenciona constantemente a correia, evitando da correia patinar na polia. O sistema de trilha e o detalhe do sistema de polia dupla podem ser vistos na Figura 13.

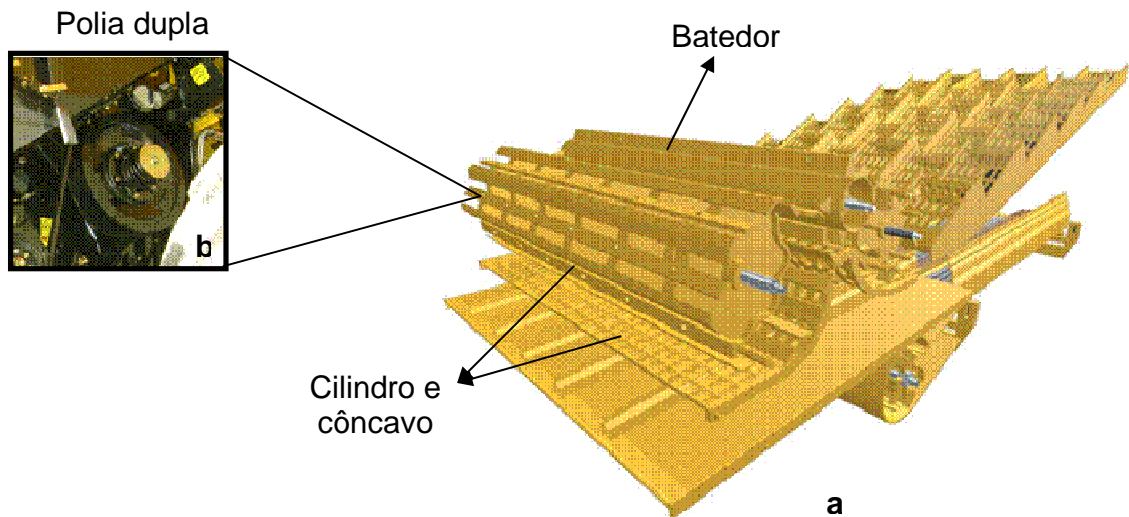


Figura 13. Sistema de trilha (a) e detalhe do sistema de polia dupla (b).

- Separação: Sistema composto por um separador rotativo cilíndrico, com rotação de 400 ou 760 rpm e côncavo com área de $1,30 \text{ m}^2$. Apresenta seis saca-palhas com seis degraus e cristas distribuídas ao longo dos mesmos, perfazendo uma área total de separação de $6,16 \text{ m}^2$, como ilustrado na Figura 14.

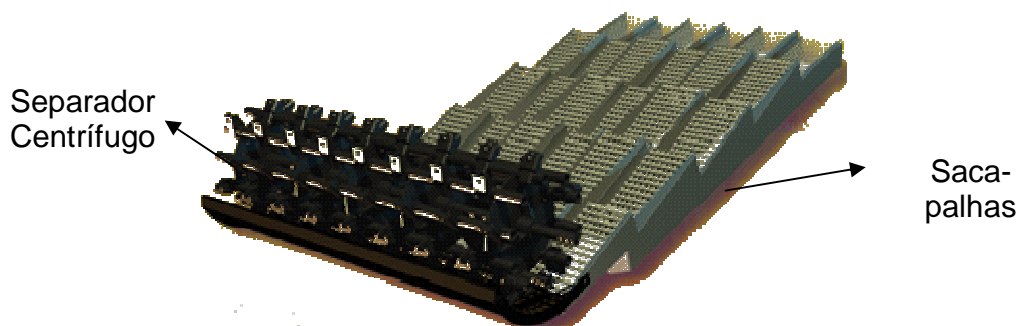


Figura 14. Sistema de separação da colhedora A.

- Limpeza: Peneiras autonivelantes com área total de $4,5 \text{ m}^2$ e ventilador com velocidade variável de 350 a 1000 rpm. A peneira autonivelante pode ser observada na Figura 15.

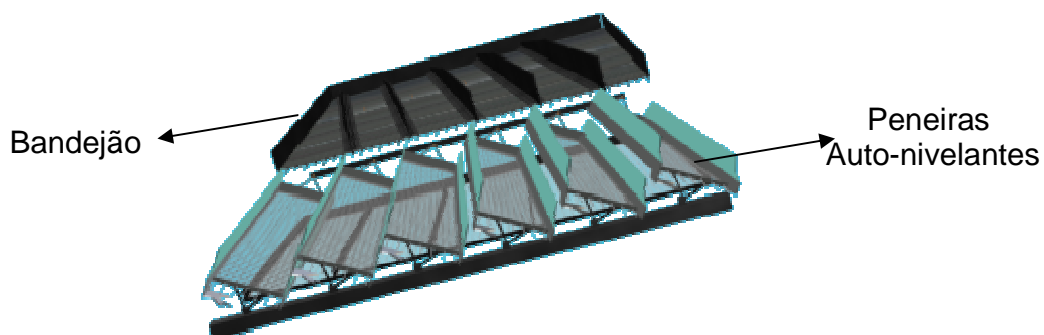


Figura 15. Peneira autonivelante da colhedora A.

- Armazenagem: Capacidade do tanque graneleiro de 7200 L e velocidade de descarga de 63 L s^{-1} .

- Motor: Turbinado com intercooler de 176,4 kW de potência, com rotação nominal de 2100 rpm e capacidade do tanque de combustível de 400 L.

- Distribuição de palha: Picador com 38 facas e 19 contra-facas, apresentando aletas direcionadoras de palha. Velocidade variável de 1600 e 2800 rpm.

- Cabine: Climatizada, com os comandos posicionados próximos ao operador. Monitores e sensores de alerta de funcionamento da máquina e de perda de grãos. Alavanca multi-função para manobrabilidade e acionamento dos principais comandos da plataforma. Assento regulável, coluna de direção ajustável e assento para acompanhante. A cabine pode ser vista na Figura 16.



Figura 16. Cabine da colhedora A.

5.1.3.2 Colhedora B

Ano de fabricação 1999, com 4.973 horas de utilização do motor, transmissão hidrostática de quatro faixas de velocidades e pneus dianteiros 800/65R32 e traseiros 16.0/70-20. A Figura 17 ilustra a colhedora B utilizada no ensaio.



Figura 17. Colhedora B.

- Alimentação: Plataforma de 7,01 m de largura de corte, com acionamento mecânico do molinete e dedos de aço em toda sua extensão. Barra de corte flexível, com dedos de fixação das facas duplos e curtos. Conductor helicoidal flutuante com dedos retráteis em toda sua extensão. Elevador de palha flexível com reversor hidráulico. Flutuação lateral e controle automático de altura da plataforma através de sensores pneumáticos. Ajustes horizontal e vertical do molinete hidráulico. As características da plataforma podem ser observadas na Figura 18.



Figura 18. Plataforma da Colhedora B.

- Trilha: Sistema composto por cilindro de 8 barras de debulha e 4 barras de alta inércia, sendo duas com pinos em toda extensão. Diâmetro do cilindro de 0,60 m e largura de 1,56 m, com velocidade variável de 425 a 1150 rpm. Côncavo de nove barras, com área de envolvimento de $0,95 \text{ m}^2$ e ângulo de ataque de 76° . Batedor cilíndrico de chapas com rotação de 875 rpm. O sistema de trilha pode ser visto na Figura 19.

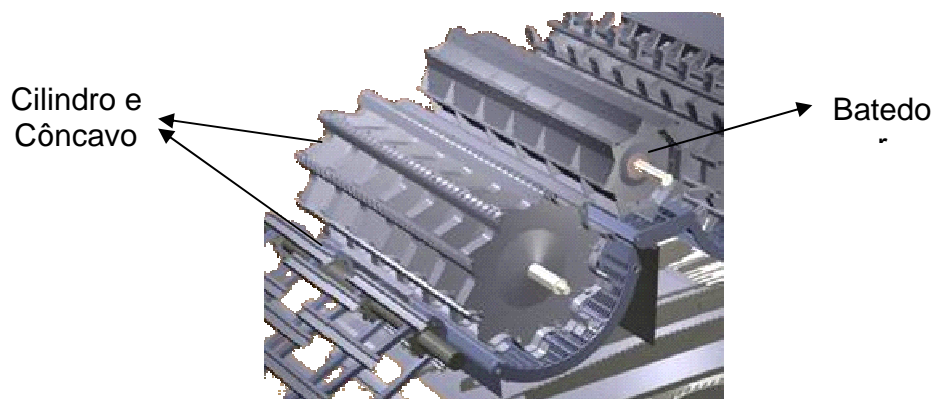


Figura 19. Sistema de trilha da colhedora B.

- Separação: Sistema composto por um separador rotativo cilíndrico, com rotação de 400 ou 760 rpm e côncavo com área de $1,30 \text{ m}^2$. Apresenta seis saca-palhas com seis degraus e cristas distribuídas ao longo dos mesmos, perfazendo uma área total de separação de $6,16 \text{ m}^2$, como ilustrado na Figura 20.

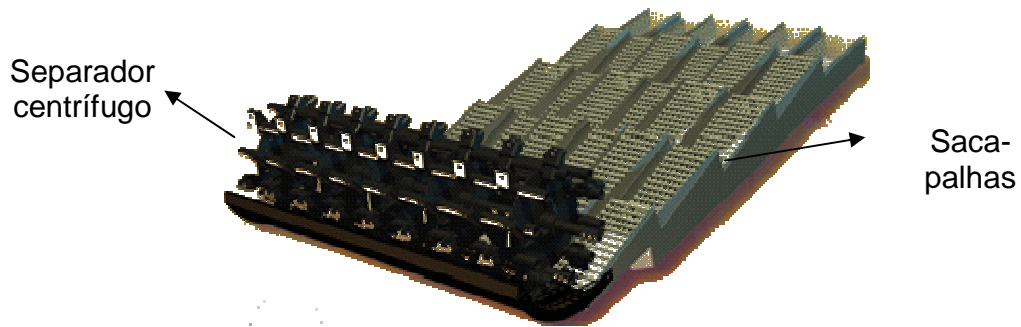


Figura 20. Sistema de separação da colhedora B.

- Limpeza: Peneiras fixas com área total de $4,5 \text{ m}^2$ e ventilador com velocidade variável de 350 a 1000 rpm. A peneira fixa pode ser observada na Figura 21.



Figura 21. Peneira fixa da colhedora B.

- Armazenagem: Capacidade do tanque graneleiro de 6700 L e velocidade de descarga de 63 L s^{-1} .

- Motor: Turbinado com intercooler de 161,7 kW de potência, com rotação nominal de 2100 rpm e capacidade do tanque de combustível de 400 L.

- Distribuição de palha: Picador com 38 facas e 19 contra-facas, apresentando aletas direcionadoras de palha. Velocidade variável de 1600 e 2800 rpm.

- Cabine: Climatizada, com os comandos posicionados próximos ao operador. Monitores e sensores de alerta de funcionamento da máquina e de perda de grãos. Alavanca multi-função para manobrabilidade e acionamento dos principais comandos da plataforma. Assento regulável e coluna de direção ajustável. A cabine pode ser vista na Figura 22.



Figura 22. Cabine da colhedora B.

5.1.3.3 Colhedora C

Ano de fabricação 2002, com 2.265 horas de utilização do motor, transmissão hidrostática de três faixas de velocidades e pneus dianteiros 30.5-32 e traseiros 16.9-24. A Figura 23 ilustra a colhedora C utilizada no ensaio.



Figura 23. Colhedora C.

- Alimentação: Plataforma de 6,71 m de largura de corte, com acionamento hidráulico do molinete e dedos de aço em toda extensão. Barra de corte flexível, com dedos de fixação das facas individuais e alongados. Conductor helicoidal rígido com dedos retráteis em toda sua extensão. Elevador de palha flexível com reversor hidráulico. Flutuação lateral e controle automático de altura da plataforma através de sensores elétricos. Ajustes horizontal e vertical do molinete hidráulico. As características da plataforma podem ser observadas na Figura 24.



Figura 24. Plataforma da Colhedora C.

- Trilha: Sistema composto por cilindro de dez barras de debulha. Diâmetro do cilindro de 0,61 m e largura de 1,56 m, com velocidade variável de 450 a 1150 rpm. Côncavo de 14 barras, com área de envolvimento de $0,93 \text{ m}^2$ e ângulo de ataque de 112° . Sistema de tencionamento da correia de acionamento do cilindro de trilha que evita da correia patinar na polia. Batedor quadrangular de chapas com rotação fixa. O sistema de trilha pode ser visto na Figura 25.

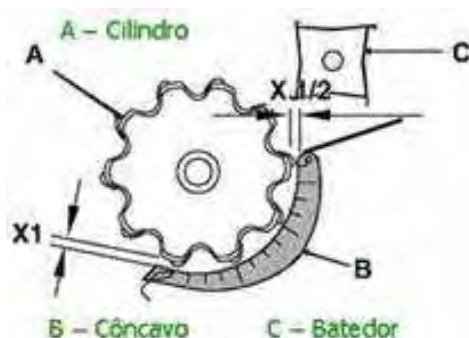


Figura 25. Sistema de trilha da colhedora C.

- Separação: Apresenta seis saca-palhas com cristas distribuídas ao longo dos mesmos, perfazendo uma área total de separação de 6,81 m², como ilustrado na Figura 26.

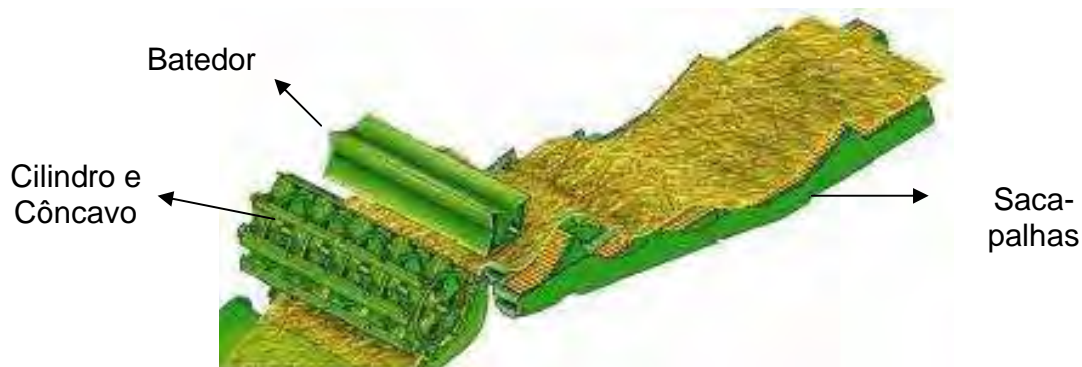


Figura 26. Sistema de separação da colhedora C.

- Limpeza: Peneiras fixas com área total de 5,60 m² e ventilador com velocidade variável de 550 a 1150 rpm. A peneira fixa pode ser observada na Figura 27.



Figura 27. Peneira fixa da colhedora C.

- Armazenagem: Capacidade do tanque graneleiro de 6000 L e velocidade de descarga de 55Ls⁻¹.

- Motor: Turbinado com intercooler de 165,4 kW de potência, com rotação nominal de 2200 rpm e capacidade do tanque de combustível de 470 L.

- Distribuição de palha: Picador com 36 facas e 18 contra-facas, apresentando aletas direcionadoras de palha. Velocidade variável de 1300 e 2500 rpm.

- Cabine: Climatizada, com os comandos posicionados próximos ao operador. Monitores e sensores de alerta de funcionamento da máquina e de perda de grãos. Alavanca multi-função para manobrabilidade e acionamento dos principais comandos da plataforma. Assento regulável, coluna de direção ajustável e assento para acompanhante. A cabine pode ser vista na Figura 28.



Figura 28. Cabine da colhedora C.

5.1.4 Instrumentação das colhedoras

5.1.4.1 Painel de aquisição de dados, sistema para medir o consumo de combustível e cronômetro

Para monitorar e avaliar os dados de consumo de combustível e desempenho operacional utilizou-se um painel de aquisição de dados munido de um totalizador de pulsos e cronômetro, um medidor de combustível tipo “fluxômetro” de marca Flowmate Oval MIII, modelo FLSN 45 (Figura 29), precisão de 99,8% (calibrado antes da realização dos ensaios) o qual emitiu ao sistema de visualização dos dados, uma unidade de pulso a cada 1mL de combustível.

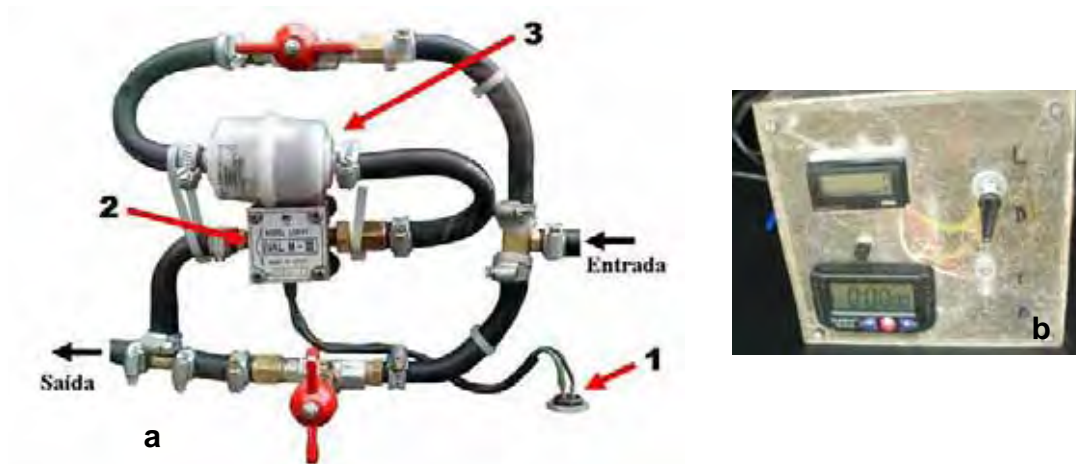


Figura 29. Sistema para determinação do consumo de combustível instalado na colhedora (a). Acoplamento ao painel de visualização dos dados (1), fluxômetro (2) e filtro de combustível (3). Painel de visualização dos dados e cronômetro (b).

5.1.4.2 Decibelímetro

Os níveis de ruídos foram determinados conforme a norma NBR 9999 (ABNT, 1987), fazendo-se a medição do nível de pressão sonora através de um decibelímetro digital Modelo DEC-460 e Marca Instrutherm, com escala de 35 a 130 dB, precisão de 1,5 dB e taxa de atualização de 0,5 segundos, conforme pode ser observado na Figura 30.



Figura 30. Decibelímetro

5.1.4.3 Termômetro e sensor de umidade

Para a determinação da temperatura e umidade relativa do ar foram utilizados termômetro e sensor de umidade digital modelo MT3804 com precisão de temperatura de 0,5°C e umidade de 2% e tempo de resposta de 10 segundos, como pode ser visto na Figura 31.



Figura 31. Sensor utilizado para a coleta de dados de temperatura do ambiente (a) e umidade relativa do ar (b).

5.1.4.4 Coletor de palha

Para a realização das avaliações de distribuição de palha e palhiço confeccionou-se um coletor com dez metros de comprimento por um metro de largura, subdividido em seções de 0,5 m² (Figura 32) baseado na norma ASAE S396.2 (1998).

O coletor foi confeccionado utilizando lona plástica, barras de alumínio e cabo de aço. Os espaçadores (fita adesiva branca) foram fixados, distanciados 0,5 m um do outro, constituindo desta forma as subdivisões, seguindo metodologia de Orlando (2005) e Kunz (2007).



Figura 32. Detalhe do coletor utilizado para medição da distribuição da palha.

5.1.4.5 Outros materiais utilizados

- Receptor Global Positioning System (GPS – Garmin), com precisão de 10 a 15 m, para demarcação das áreas de realização dos ensaios.
- Balança marca Toledo, digital, com capacidade de 5 kg e com precisão de 1×10^{-5} kg.
- Balança analítica Salton, com capacidade de 0,16 kg e com precisão de 1×10^{-7} kg.
- Germinadores
- Câmara de envelhecimento precoce
- Gerboxes
- Estufa a 105°C
- Sal tetrazólio
- Condutivímetro
- Bandejas
- Trena de 50 m e 5 m
- Cronômetros
- Estacas de 0,50 m
- Peneiras para classificação de sementes
- Sacos e lonas

- Quadro de 1m²

5.2 Métodos

5.2.1 Determinação da produtividade da soja, população e comprimento de plantas, inserção de primeira vagem ao caule da soja e altura das plantas acamadas

A população de plantas de soja foi determinada a partir da contagem das plantas presentes em 3 linhas de 1 metro de comprimento por amostragem, sendo realizadas dez repetições aleatoriamente na área experimental. A partir da contagem, as plantas foram colhidas e trilhadas mecanicamente para a separação dos grãos e palha, que foram pesados separadamente. Para cada amostra de grãos e palhas foram determinadas as massas e teores de água, sendo corrigidos para o teor de água de 13% (armazenamento e comercialização).

Posteriormente, estimou-se a população de plantas, produtividade de grãos e matéria seca por hectare.

O comprimento de plantas, inserção de primeira vagem ao caule e altura das plantas acamadas foram obtidas com trena métrica, medindo-se as plantas aleatoriamente na área experimental.

5.2.2 Colheita

As colhedoras foram reguladas conforme indicação de cada fabricante, como descrito a seguir:

- Colhedora A: Rotação do motor de 2100 rpm e 2^a marcha. Rotação do molinete de 28 rpm. Altura do sem-fim em relação ao piso da plataforma de 0,01 m. Cilindro com rotação de 750 rpm e côncavo com distância em relação ao cilindro de 0,020 m. Separador rotativo cilíndrico com 760 rpm e côncavo com distância de 0,015 m em relação ao separador. Peneira superior com abertura de 0,015 m e inferior com 0,01m e rotação do ventilador com 800 rpm. Picador de palha com rotação de 2800 rpm e suas aletas direcionadas ao máximo de abertura.

- Colhedora B: Rotação do motor de 2100 rpm e 2ª marcha. Rotação do molinete de 28 rpm. Altura do sem-fim em relação ao piso da plataforma de 0,01 m. Cilindro com rotação de 680 rpm e côncavo com distância em relação ao cilindro de 0,020 m. Separador rotativo cilíndrico com 760 rpm e côncavo com distância de 0,015 m em relação ao separador. Peneira superior com abertura de 0,015 m e inferior com 0,01 m e rotação do ventilador com 800 rpm. Picador de palha com rotação de 2800 rpm e suas aletas direcionadas ao máximo de abertura.

- Colhedora C: Rotação do motor de 2200 rpm e 2ª marcha. Rotação do molinete de 30 rpm. Altura do caracol em relação ao piso da plataforma de 0,015 m. Cilindro com rotação de 550 rpm e côncavo com distância em relação ao cilindro de 0,030 m. Peneira superior com abertura de 0,012 m e inferior com 0,01m e rotação do ventilador com 750 rpm. Picador de palha com rotação de 2800 rpm e suas aletas direcionadas ao máximo de abertura.

5.2.3 Demanda energética e operacional

Para as avaliações de consumo de combustível e capacidade de campo efetivos foram demarcadas parcelas de 100 m de comprimento, com trena métrica. Para demarcar as áreas nos ensaios de capacidade operacional, foi utilizado um receptor de GPS (Global Positioning System), sendo essas áreas superiores a 1 hectare (Figura 33). A metodologia para avaliar a demanda energética e operacional foi baseada na norma ASAE S396.2 (1998).



Figura 33. Parcelas demarcadas para execução de ensaio de capacidade de campo efetiva (a) e operacional (b).

5.2.3.1 Determinação da velocidade de deslocamento

A determinação da velocidade de deslocamento foi realizada através do tempo gasto para percorrer cada parcela. A velocidade média foi obtida pela Equação 1:

$$V = \frac{L}{\Delta t} \cdot 3,6 \quad (1)$$

onde:

V = velocidade de deslocamento da colhedora (km h^{-1});

L = comprimento da parcela experimental (m);

Δt = tempo gasto para percorrer a parcela experimental (s);

3,6 = fator de conversão.

5.2.3.2 Capacidade de campo efetiva

A capacidade de campo efetiva foi determinada pela relação entre a área útil da parcela trabalhada (largura da plataforma por 100 m de deslocamento da máquina) e o tempo gasto no percurso da parcela, por meio da Equação 2:

$$CE = \frac{Atr}{\Delta t} \cdot 0,36 \quad (2)$$

onde:

CE = capacidade de campo efetiva (ha.h^{-1});

Atr = área útil da parcela trabalhada (m^2);

Δt = tempo gasto no percurso da parcela experimental (s);

0,36 = fator de conversão.

5.2.3.3 Capacidade de campo operacional

A capacidade de campo operacional foi determinada pela relação entre a área trabalhada e o tempo gasto na realização da operação, por meio da Equação 3:

$$CO = \frac{A}{\Delta_{t1}} \cdot 0,36 \quad (3)$$

onde:

CO = capacidade de campo operacional (ha h^{-1});

A = área trabalhada (m^2);

Δ_{t1} = tempo gasto na operação (s);

0,36 = fator de conversão.

5.2.3.4 Tempo efetivo demandado

O tempo efetivo demandado para percorrer a parcela foi calculado pela seguinte Equação 4:

$$Te = \frac{1}{CE} \quad (4)$$

onde:

Te = tempo efetivo demandado (h ha^{-1});

CE = capacidade de campo efetiva (ha h^{-1}).

5.2.3.5 Tempo operacional demandado

O tempo operacional demandado para percorrer a parcela foi calculado pela seguinte Equação 5:

$$To = \frac{1}{CO} \quad (5)$$

onde:

T_o = tempo operacional demandado (h ha^{-1});

CO = capacidade de campo operacional (ha h^{-1}).

5.2.3.6 Consumo horário de combustível efetivo

O consumo horário de combustível efetivo foi quantificado por meio do fluxômetro, instalado próximo ao filtro de combustível de cada colhedora ensaiada, e registrou uma unidade de pulso a cada 1 mL de combustível consumido. O cálculo foi obtido pela quantidade de pulsos e o tempo gasto nas operações, o consumo horário de combustível foi calculado pela Equação 6:

$$CChe = \frac{\sum p \cdot 3,6}{\Delta t} \quad (6)$$

onde:

$CChe$ = consumo horário de combustível efetivo (L h^{-1});

$\sum p$ = somatório de pulsos, equivalente a mL de combustível gasto (mL);

Δt = tempo gasto para percorrer a parcela experimental (s);

3,6 = fator de conversão.

5.2.3.7 Consumo de combustível efetivo por área

Através dos valores de tempo efetivo e consumo horário de combustível calculou-se o consumo de combustível por área efetivamente trabalhada, através da seguinte Equação 7:

$$CCae = Te \cdot CChe \quad (7)$$

onde:

$CCae$ = consumo de combustível efetivo por área (L ha^{-1});

Te = tempo gasto efetivo (h ha^{-1});

$CChe$ = consumo horário efetivo de combustível (L h^{-1}).

5.2.3.8 Consumo horário de combustível operacional

O consumo horário de combustível operacional foi quantificado por meio do fluxômetro que registrou uma unidade de pulso a cada 1 mL de combustível consumido. O cálculo foi obtido pela quantidade de pulsos e o tempo gasto nas operações, o consumo horário operacional de combustível foi calculado pela Equação 8:

$$CCho = \frac{\sum p \cdot 3,6}{\Delta_{t1}} \quad (8)$$

onde:

$CCho$ = consumo horário de combustível operacional ($L h^{-1}$);

$\sum p$ = somatório de pulsos, equivalente a mL de combustível gasto (mL);

Δ_{t1} = tempo gasto na operação (s);

3,6 = fator de conversão.

5.2.3.9 Consumo de combustível operacional por área

Através dos valores de tempo efetivo e consumo horário de combustível calculou-se o consumo de combustível por área trabalhada, através da seguinte Equação 9:

$$CCao = To \cdot CCho \quad (9)$$

onde:

$CCao$ = consumo de combustível operacional por área ($L ha^{-1}$);

To = tempo operacional demandado ($h ha^{-1}$);

$CCho$ = consumo de combustível horário operacional ($L h^{-1}$).

5.2.3.10 Eficiência

Através dos valores de capacidade de campo efetiva e operacional, permitiu-se calcular a eficiência, através da seguinte Equação 10:

$$E = \frac{CO}{CE} \cdot 100 \quad (10)$$

onde:

E = eficiência (%);

CO = capacidade de campo operacional (ha.h⁻¹);

CE = capacidade de campo efetiva (ha.h⁻¹).

5.2.3.11 Tempo de descarga

O tempo de descarga foi avaliado através de cronômetro digital, onde foi determinado o tempo demandado para cada colhedora descarregar os grãos contidos no tanque graneleiro.

5.2.4 Perdas na colheita

5.2.4.1 Perdas quantitativas

As perdas quantitativas de grãos foram divididas em perdas de pré-colheita; plataforma; trilha, separação e limpeza; e totais, como descrito a seguir:

5.2.4.1.1 Perdas de pré-colheita

Para a determinação dessas perdas, a área foi marcada, posicionando-se a armação de 1 m² (Figura 34), antes da colheita de cada parcela e foram coletados grãos, que não poderiam ser recolhidos pela plataforma de corte da colhedora.



Figura 34. Determinação das perdas pré-colheita.

5.2.4.1.2 Perdas pela plataforma de corte

As perdas de plataforma foram determinadas parando a colhedora, depois de avançar em operação normal por vinte metros aproximadamente; levantou-se a plataforma de corte e deu-se marcha-a-ré por um espaço de quatro a cinco metros, conforme metodologia descrita por Pinheiro Neto (1999). Neste espaço, marcou-se uma área de 1 m de comprimento pela largura total da plataforma, através do uso de armação de ferro e barbante (Figura 35). Nessa área, procedeu-se a coleta dos grãos e vagens que permaneceram sobre o solo, para posterior definição de suas massas (Costa & Tavares, 1995). A massa dos grãos deixados sobre o solo foi subtraída das perdas de pré-colheita, para assim, determinar os valores de perdas de plataforma.



Figura 35. Determinação das perdas de plataforma.

5.2.4.1.3 Perda total da colhedora

As perdas totais de grãos foram determinadas após a passagem da máquina, operando com fluxo normal de palha pelo sistema de limpeza. Para a avaliação deste parâmetro, os picadores de palha das colhedoras foram desligados e retirados, para evitar trituração dos grãos. As áreas de amostragens foram determinadas com 1 m de comprimento pela largura total da plataforma, sendo marcadas através da utilização de armação de ferro e barbante (Figura 36). Nessas áreas foram coletados os grãos presentes, para posterior pesagem e definição da massa dos mesmos (Costa & Tavares, 1995). Para a obtenção das perdas totais da colhedora subtraiu-se a massa dos grãos amostrados pelas perdas de pré-colheita.



Figura 36. Determinação da perda total da colhedora.

5.2.4.1.4 Perdas pelo mecanismo de trilha, separação e limpeza

Para determinação das perdas ocasionadas pelos sistemas de trilha, separação e limpeza, subtraiu-se dos resultados de perda total da colhedora, as perdas de pré-colheita e plataforma, conforme Equação 11:

$$PTSL = PT - (Pr e + Plat) \quad (11)$$

onde:

PTSL = Perdas de trilha, separação e limpeza;

PT = Perda total da colhedora;

Pre = Perdas de pré-colheita;

Plat = Perdas da plataforma.

5.2.4.2 Perdas qualitativas

Após a colheita do experimento no campo, foram realizados os testes laboratoriais. As amostras de grãos foram coletadas nas carretas graneleiras e acondicionadas em saco de papel. As amostras foram encaminhadas ao laboratório de Análise de Sementes do Departamento de Fitotecnia da FEIS – UNESP, Campus de Ilha Solteira.

5.2.4.2.1 Determinação de grãos quebrados

A determinação da porcentagem de grãos quebrados foi realizada em amostras de 0,20 kg de sementes separadas manualmente em cada tratamento. Em seguida, os grãos quebrados foram pesados e os resultados expressos em porcentagem.

5.2.4.2.2 Massa de 1000 grãos

Para determinação da massa de 1000 grãos foram separados e pesados 100 grãos da amostra de grãos colhidos, em quatro repetições. Os valores obtidos foram convertidos para 1000 grãos, conforme metodologia de Brasil (1992).

5.2.4.2.3 Teste de tetrazólio

O teste de tetrazólio foi realizado conforme critérios estabelecidos por França Neto et al. (1988), utilizando-se 200 grãos, sendo quatro repetições de 50 grãos por tratamento. Os resultados foram expressos em porcentagens de danos mecânicos. Para a avaliação do dano mecânico, os grãos foram inseridos nas classes Tetrazólio 6-8.

5.2.4.2.4 Teste de germinação

O teste de germinação foi realizado com 4 sub-amostras de 50 grãos em rolos de papel germinador mantidos a 25°C. O papel foi umedecido com água destilada numa quantidade equivalente a 2,5 vezes o peso do papel, de forma a uniformizar o teste. As contagens de plântulas normais (maiores que 3,75 cm) foram realizadas aos 5º e 8º dias após a semeadura, de acordo com os critérios estabelecidos pelas Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 1992).

5.2.4.2.5 Teste de envelhecimento acelerado

O teste de envelhecimento acelerado foi realizado conforme metodologia descrita por Marcos Filho et al. (1987), no qual foram utilizados 200 grãos, sendo quatro repetições de 50 grãos por tratamento. Os grãos foram colocados na câmara de envelhecimento acelerado em caixas gerbox apropriadas para o teste, por um período de 48 horas, à temperatura de 41°C. Após este período, os grãos foram submetidos ao teste de germinação, conforme já descrito no item anterior, sendo que a contagem de plântulas normais foi realizada no 5º dia.

5.2.4.2.6 Teor de água

O teor de água foi determinado pelo método gravimétrico, a 105°C \pm 3°C durante 24 horas, com utilização de 2 amostras para cada tratamento, conforme a metodologia indicada pelas Regras de Análise de Sementes (BRASIL, 1992).

5.2.4.2.7 Condutividade elétrica

Quatro sub-amostras de 25 grãos foram pesadas com precisão de três casas decimais e, posteriormente colocadas em copo plástico contendo 75 mL de água deionizada e, então levada a uma câmara de germinação a 25°C por 24 horas. Após esse

período foram realizadas as leituras da condutividade elétrica da solução de embebição. Os dados foram transformados em $\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$, conforme Marcos Filho et al. (1987).

5.2.4.2.8 Índice de velocidade de germinação

O índice de velocidade de germinação foi realizado em conjunto com o teste de germinação, onde o índice de velocidade para cada tratamento foi calculado segundo a Equação 12 proposta por Maguire (1962):

$$\text{IVG} = \text{N1}/\text{D1} + \text{N2}/\text{D2} + \dots + \text{Nn}/\text{Dn} \quad (12)$$

onde;

IVG = velocidade de germinação;

N1, N2,..., Nn = número de plântulas germinadas a 1, 2,..., n dias após a semeadura, respectivamente;

D1, D2,..., Dn = número de dias após a implantação do teste.

5.2.5 Distribuição de palha na superfície

As colhedoras foram avaliadas a campo, em condições normais de operação, com o auxílio do coletor de palha. Com a colhedora parada, o coletor foi colocado entre os eixos dianteiro e traseiro da máquina. Duas pessoas, uma em cada lado da colhedora, seguravam as extremidades da armação (Figura 37a) e acompanhavam o deslocamento da máquina até a normalização do fluxo de palha, momento em que o coletor era disposto sobre o chão (Figura 37b), coletando-se desta forma a palha proveniente das peneiras e do picador da colhedora (Figura 37c), conforme metodologia definida por Kunz, (2007).

A palha presente em cada subdivisão foi coletada individualmente, e acondicionada em sacos de papel (Figura 37d). Após a coleta do material, foram pesados e realizados os cálculos, determinando os perfis da distribuição da palha dos picadores das colhedoras.



Figura 37. Avaliação da distribuição de palha.

5.2.6 Ergonomia

5.2.6.1 Nível de ruído

Os níveis de ruídos foram determinados conforme a norma NBR 9999 (ABNT, 1987), fazendo-se a medição do ruído no posto de operação das colhedoras e externamente a 7,5 m do motor. Essa norma prevê que a medição do nível de ruído da cabine deve ser feita considerando-se a posição do ouvido do operador (zona auditiva), estabelecida em relação a um ponto pré-determinado do assento e com a colhedora operando em condições de trabalho.

Para realizar as medições, colocou-se o medidor de ruído a altura do ouvido do operador, entre 0,79 m acima, 0,15 m a frente e 0,20 m lateralmente em relação ao ponto de referência do assento - PRA, de acordo com a norma NBR 9405 (ABNT, 1985), onde se realizaram cinco leituras, com intervalos de 5 segundos entre as leituras com a máquina

parada, descarregando e em operação. Em todas as amostragens realizadas, foram aguardados três minutos antes da medição, tempo esse necessário para que a colhedora entrasse em regime de trabalho. A determinação do ruído da colhedora, externamente, a 7,5 m do motor pode ser observado na Figura 38.



Figura 38. Determinação do nível de ruído externamente.

Os valores médios foram determinados através da Equação 13:

$$M = 10 \cdot \log \left(\frac{10^{\frac{n_1}{10}} + \dots + 10^{\frac{n_n}{10}}}{L} \right) \quad (13)$$

onde:

M = média logarítmica;

Log = Logaritmo;

L = número de leituras;

n = leitura obtida do decibelímetro.

5.2.6.2 Temperatura e umidade relativa do ar

As medições da temperatura e umidade relativa do ar foram realizadas dentro das cabines das colhedoras, após 10 minutos do acionamento do ar condicionado (posição máximo) e fora das cabines, tomando como referência a temperatura e umidade relativa do ar do ambiente externo. O instrumento utilizado foi posicionado no ponto de referência do assento (PRA), realizando as leituras após a estabilização do instrumento, assim determinou-se o decremento de temperatura e umidade relativa do ar dentro das cabines, ou seja, as diferenças entre os referidos parâmetros dentro e fora das cabines.

5.2.7 Análise estatística

Os dados de caracterização da cultura foram submetidos a avaliações com dez repetições e os resultados foram submetidos a uma análise descritiva, sendo avaliado a média, desvio padrão e coeficiente de variação.

O experimento seguiu o delineamento inteiramente casualizado com três tratamentos formados por três colhedoras com seus respectivos mecanismos de atuação e quatro repetições.

Os resultados dos ensaios das colhedoras foram tabulados e interpretados estatisticamente, por meio de análise de variância e submetidos ao teste de comparação de médias de Tukey a 5% de probabilidade, conforme citação de Banzatto & Kronka (1995).

6 RESULTADOS E DISCUSSÃO

No presente capítulo os resultados estão apresentados na forma de Figuras e Tabelas e, para melhor interpretação dos resultados, a apresentação geral das Tabelas encontra-se na seguinte ordem:

- análise descritiva dos resultados de caracterização da cultura soja na área de realização dos ensaios;
- síntese das análises de variância e teste de médias das variáveis comparativas, nos quais as médias seguidas de mesmas letras maiúsculas nas colunas não diferem estatisticamente entre si, pelo teste de Tukey, a 5% de probabilidade.

Nos apêndices estão inseridos os dados originais e médios de todos os tratamentos realizados.

6.1 Caracterização da cultura da soja

O comprimento das plantas, altura das plantas acamadas e altura da inserção da primeira vagem ao caule da soja estão apresentados na Tabela 02, enquanto a população de plantas, produtividade de grãos por hectare e perdas de pré-colheita na Tabela 03.

Tabela 02. Valores do comprimento das plantas, altura das plantas acamadas e altura da inserção da primeira vagem ao caule da soja.

Repetições	Comprimento das plantas (cm)	Altura das plantas acamadas (cm)	Altura da inserção da primeira vagem ao caule (cm)
R1	66	35	17
R2	78	33	12
R3	80	38	15
R4	79	40	10
R5	80	29	13
R6	87	34	14
R7	79	32	11
R8	88	30	17
R9	86	31	13
R10	80	33	16
Média	80,30	33,50	13,80
Desvio	6,23	3,43	2,44
CV%	7,76	10,26	17,68

O comprimento das plantas de soja e altura da inserção da primeira vagem ao caule da variedade Embrapa 48 apresentaram valores maiores que a característica média da variedade que é de 63 cm e 10 cm, respectivamente (EMBRAPA SOJA, 2008). A variedade apresentou alto índice de acamamento, com altura das plantas acamadas de 33,50 cm, discordando com a Embrapa soja (2008) que evidencia que essa variedade é resistente ao

acamamento. Os valores de coeficientes de variação para comprimento de plantas foram inferiores ao limite máximo aceitável de 12% estabelecido por Carvalho et al. (2003) e para altura de plantas acamadas e altura da inserção da primeira vagem ao caule são considerados valores de coeficiente de variação intermediários, conforme classificação de Pimentel-Gomes (1985).

Tabela 03. População de plantas, produtividade de grãos e perdas de pré-colheita.

Repetições	População de plantas (pl ha ⁻¹)	Produtividade de grãos (kg ha ⁻¹)	Perdas de Pré-Colheita (kg ha ⁻¹)
R1	283.333	4.723	0
R2	250.000	4.103	0
R3	266.666	4.437	0
R4	258.333	4.431	0
Média	264.583	4.423	0
Desvio	14.231	253	0
CV%	5,37	5,72	0

O valor médio da população de plantas de soja da área experimental foi inferior ao estabelecido pela Embrapa soja (2008) de 360.000 a 400.000 plantas/ha e não foi encontrado qualquer perda de pré-colheita. O coeficiente de variação da produtividade dos grãos de soja foi inferior ao limite máximo aceitável de 16% estabelecido por Carvalho et al. (2003) e para população de plantas e perdas de pré-colheita são considerados valores de coeficiente de variação baixos, conforme classificação de Pimentel-Gomes (1985).

6.2 Síntese dos resultados e interpretação da análise estatística dos parâmetros velocidade, tempo efetivo e capacidade de campo efetiva

A síntese da análise estatística é apresentada para grupos de parâmetros na Tabela 04.

Tabela 04. Síntese da análise de variância e o teste de médias para os parâmetros velocidade, tempo efetivo e capacidade de campo efetiva das colhedoras ensaiadas.

Colhedoras	Velocidade (km h ⁻¹)	Tempo Efetivo (h ha ⁻¹)	Capacidade de Campo Efetiva (ha h ⁻¹)
A	6,02 A	0,222 B	4,52 A
B	5,01 B	0,285 A	3,50 B
C	5,06 B	0,287 A	3,49 B
F	82,08 ^{**}	195,30 ^{**}	161,76 ^{**}
DMS	0,248	0,010	0,183
CV (%)	2,34	1,99	2,42

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

^{**} Significativo a 1% de probabilidade.

Analisando-se a Tabela 04, observou-se que todos os parâmetros analisados apresentaram diferença estatística significativa para as colhedoras ensaiadas. A colhedora A apresentou maior velocidade de deslocamento e, por consequência, menor tempo efetivo de colheita em comparação com as colhedoras B e C que não diferiram estatisticamente. O parâmetro capacidade de campo efetiva foi maior para a colhedora A, já que conseguiu obter maior velocidade de deslocamento aliado a maior largura operacional de colheita em comparação com as outras colhedoras ensaiadas, evidenciando a superioridade do sistema de alimentação, trilha, separação e limpeza da respectiva colhedora. Seki (2007) obteve valores menores para velocidade (3,63 km h⁻¹) e capacidade de campo efetiva 1,25 ha h⁻¹ e maiores para tempo efetivo (0,8 h ha⁻¹), porém o autor avaliou colhedora de classe 3 com menor dimensão e largura operacional.

6.3 Síntese dos resultados e interpretação da análise estatística dos parâmetros de consumo de combustível efetivo e operacional

A síntese da análise estatística é apresentada para grupos de parâmetros na Tabela 05.

Tabela 05. Síntese da análise de variância e o teste de médias para o parâmetro consumo horário de combustível efetivo e operacional ($L h^{-1}$) e consumo de combustível efetivo e operacional por área ($L ha^{-1}$) para as colhedoras ensaiadas.

Colhedoras	Consumo Horário de Combustível Efetivo ($L h^{-1}$)	Consumo de Combustível Efetivo por Área ($L ha^{-1}$)	Consumo Horário de Combustível Operacional ($L h^{-1}$)	Consumo de Combustível Operacional por Área ($L ha^{-1}$)
A	29,71 A	6,58 B	26,01 A	6,73 C
B	22,05 B	6,30 B	19,83 B	8,27 B
C	30,15 A	8,63 A	27,98 A	11,70 A
F	156,37**	105,71**	48,92**	45,36**
DMS	1,44	0,48	2,40	1,49
CV (%)	2,67	3,45	4,94	8,51

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

** Significativo a 1% de probabilidade.

Pela Tabela 05, nota-se que todos os parâmetros analisados apresentaram diferença estatística significativa para as colhedoras ensaiadas. A colhedora B apresentou menor consumo horário de combustível efetivo e operacional em comparação com as colhedoras A e C que não diferiram estatisticamente, porém o parâmetro consumo de combustível efetivo por área foi menor para as colhedoras A e B e maior para a máquina C, enquanto o consumo de combustível operacional por área foi menor para a máquina A, em relação as demais colhedoras. Isso se deve porque a colhedora A apresenta maior potência do motor, acarretando maior consumo horário, porém a colhedora A tem um desempenho operacional maior, fazendo com que o consumo de combustível por área de colheita seja menor. Isso mostra a importância de avaliar nos ensaios de máquinas agrícolas o consumo de combustível por área, pois é a informação mais relevante para determinação dos custos operacionais, conforme Lopes (2000). Esse comportamento está de acordo com Seki (2007) que obteve valores de consumo horário de combustível de $12,64 L h^{-1}$ e consumo de combustível por área de $10,14 L ha^{-1}$ para colhedora de menor capacidade operacional, evidenciando que a utilização de colhedoras de maiores capacidades operacionais

proporcionam menores consumos de combustíveis por área colhida e, conseqüentemente menores custos operacionais.

6.4 Síntese dos resultados e interpretação da análise estatística dos parâmetros tempo e capacidade operacional, eficiência e tempo de descarga

A síntese da análise estatística é apresentada para grupos de parâmetros na Tabela 06.

Tabela 06. Síntese da análise de variância e o teste de médias para o parâmetro tempo e capacidade de campo operacional, eficiência e tempo de descarga para as colhedoras ensaiadas.

Colhedoras	Tempo Operacional (h ha ⁻¹)	Capacidade de Campo Operacional (ha h ⁻¹)	Eficiência (%)	Tempo de Descarga (s)
A	0,253 B	3,91 A	86,56 A	153,25 C
B	0,410 A	2,41 B	68,81 B	202,75 B
C	0,423 A	2,40 B	68,67 B	208,00 A
F	6,47*	18,70**	1472,33**	1194,63**
DMS	0,15	0,793	1,059	3,45
CV (%)	20,60	13,81	0,72	0,93

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

** Significativo a 1% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade.

Analisando-se a Tabela 06, observou-se que todos os parâmetros analisados apresentaram diferença estatística significativa para as colhedoras ensaiadas. A colhedora A apresentou menor tempo operacional, maior capacidade de campo operacional e maior eficiência de colheita em comparação com as colhedoras B e C que não diferiram estatisticamente. O parâmetro tempo de descarga foi menor para a colhedora A em relação as outras colhedoras, porém a máquina C apresentou maior tempo de descarga que a máquina B. Isso mostra que a máquina A foi superior não somente no sistema de alimentação, trilha, separação e limpeza, mas também nos fatores relacionados ao tempo gasto para realizar

manobras, capacidade de armazenagem e descarregamento de grãos, concordando com Kronka & Monteiro (1996), Furlani Neto (1996) e Ripoli et al. (2001), que obtiveram maiores capacidades operacionais das colhedoras de cana quando a eficiência de manobras e descarregamento foram superiores.

6.5 Síntese dos resultados e interpretação da análise estatística dos parâmetros perda de grãos da plataforma, sistema de separação e limpeza e total

A síntese da análise estatística é apresentada para grupos de parâmetros na Tabela 07.

Tabela 07. Síntese da análise de variância e o teste de médias para o parâmetro perda de grãos pela plataforma; separação e limpeza; e total para as colhedoras ensaiadas.

Colhedoras	Perda de grãos Plataforma (kg ha ⁻¹)	Perda de grãos Separação e limpeza (kg ha ⁻¹)	Perda de grãos Total (kg ha ⁻¹)
A	46,12 B	8,17 C	54,28 B
B	57,49 AB	50,36 A	107,86 A
C	65,33 A	40,76 B	106,09 A
F	10,69**	99,20**	662,81**
DMS	11,67	8,77	4,67
CV (%)	10,49	13,42	2,64

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

** Significativo a 1% de probabilidade.

Analisando-se a Tabela 07, observa-se que todos os parâmetros analisados apresentaram diferença estatística significativa para as colhedoras ensaiadas. A colhedora C apresentou maiores índices de perdas de grãos pela plataforma, enquanto a colhedora B apresentou maiores valores de perdas de grãos pelo sistema de separação e limpeza. A colhedora A obteve os menores valores para todos os parâmetros analisados, apresentando maior eficiência do sistema de alimentação, trilha, separação e limpeza. Os menores índices de perdas de grãos da colhedora A se deve, provavelmente, ao sistema de

separador rotativo aliado a atuação das peneiras auto-nivelantes que permitem com que a máquina apresente elevado desempenho operacional com baixos índices de perdas de grãos, atingindo o índice de perdas aceitável de até 60 kg ha⁻¹ (EMBRAPA, 1999b). Esse comportamento está de acordo com Lamp et al. (1962), Dunn et al. (1973), Quick (1973) e Boller et al. (1998) que observaram maiores percentuais de perdas pela plataforma.

6.6 Síntese dos resultados e interpretação da análise estatística dos parâmetros teor de água, massa de 1000 grãos, percentual de germinação e índice de velocidade de germinação (IVG)

A síntese da análise estatística é apresentada para grupos de variáveis na Tabela 08.

Tabela 08. Síntese da análise de variância e o teste de médias para os parâmetros teor de água, massa de 1000 grãos, percentual de germinação e índice de velocidade de germinação dos grãos de soja.

Colhedoras	Teor de água (%)	Massa de 1000 grãos (g)	Germinação 5 dias (%)	Germinação 8 dias (%)	IVG
A	10,85	187,6	75	78,00	7,69
B	10,82	191,5	76	81,00	7,91
C	10,72	187,4	77	81,50	7,98
F	0,11 ^{n.s.}	2,21 ^{n.s.}	0,071 ^{n.s.}	0,26 ^{n.s.}	0,17 ^{n.s.}
DMS	---	--	---	---	---
CV (%)	3,74	1,63	10,30	9,25	9,39

^{n.s.} não significativo.

Pela Tabela 08, nota-se que para todos os parâmetros analisados não houve diferença estatística significativa para as colhedoras ensaiadas, comprovando que as colhedoras A e B com separador rotativo e barras de alta inércia no cilindro de trilha proporcionam qualidade de semente semelhante a colhedora C que não apresenta esses dispositivos.

6.7 Síntese dos resultados e interpretação da análise estatística dos parâmetros condutividade elétrica, teste do tetrazólio, grãos quebrados e envelhecimento acelerado

A síntese da análise estatística é apresentada para grupos de parâmetros na Tabela 09.

Tabela 09. Síntese da análise de variância e o teste de médias para os parâmetros condutividade elétrica, teste de tetrazólio (Classes 6-8), grãos quebrados e envelhecimento acelerado dos grãos de soja colhidos pelas colhedoras.

Colhedoras	Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$)	Teste do tetrazólio (%)	Grãos quebrados (%)	Envelhecimento acelerado (%)
A	93,54 A	13	16,20 A	62,5
B	79,67 B	10	15,00 B	58,0
C	81,41 AB	13	15,40 B	59,0
F	5,73*	0,24 ^{n.s.}	24**	0,34 ^{n.s.}
DMS	12,47	---	0,492	---
CV (%)	7,44	59,32	1,61	13,54

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

** Significativo a 1% de probabilidade; * Significativo a 5% de probabilidade; ^{n.s.} não significativo.

Pela Tabela 09, nota-se que para os parâmetros teste de tetrazólio e envelhecimento acelerado não houve diferença estatística significativa para as colhedoras ensaiadas, enquanto que para o parâmetro condutividade elétrica e grãos quebrados houve diferença estatística. Os grãos colhidos pela colhedora B apresentaram menores valores de condutividade elétrica do que a colhedora A e para o parâmetro grãos quebrados, os grãos colhidos pelas máquinas B e C foram os que apresentaram menores porcentagens. Todos os parâmetros não visíveis de determinação da qualidade de grãos mostraram nenhuma diferença estatística significativa entre as colhedoras, com exceção para o parâmetro condutividade elétrica, por isso a importância de se realizar os diferentes testes de qualidade de grãos, para evitar interpretação errônea dos resultados. Estando de acordo com Delouche (1972), Nóbrega

(1991) e Bragachini et al. (1992) que recomendam a análise laboratorial, além da análise visual, para caracterização do vigor e viabilidade dos grãos.

6.8 Síntese dos resultados e interpretação da análise estatística do parâmetro coeficiente de variação da distribuição de palha

A síntese da análise estatística é apresentada para grupos de parâmetros na Tabela 10.

Tabela 10. Síntese da análise de variância e o teste de médias para o parâmetro coeficiente de variação da distribuição de palha para as colhedoras ensaiadas.

Colhedoras	Coeficiente de variação da distribuição de palha (%)
A	56,15
B	56,82
C	58,28
F	0,05 ^{ns}
DMS	19,40
CV (%)	17,21

^{ns}: não significativo.

Pela Tabela 10, nota-se que para o parâmetro coeficiente de variação da distribuição de palha não houve diferença estatística significativa para as colhedoras ensaiadas. Para melhor visualização e entendimento da qualidade de distribuição de palha das colhedoras, as Figuras 39, 40 e 41 apresentam perfil da distribuição transversal de palha por colhedora em função da largura da plataforma, bem como a quantidade média de palha considerada como a distribuição ideal para cada máquina.

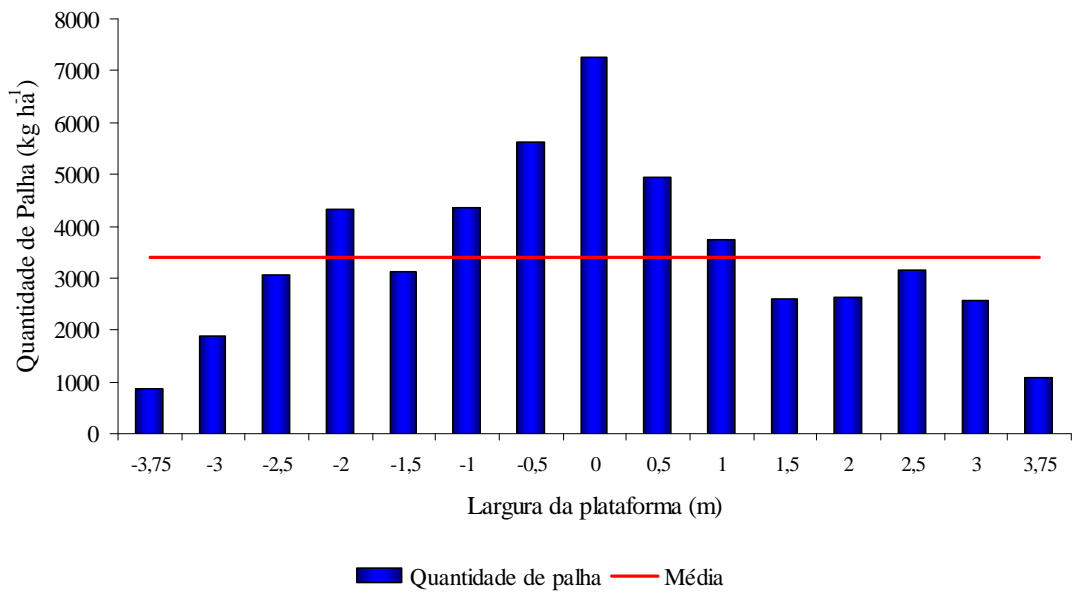


Figura 39. Distribuição da palha da colhedora A.

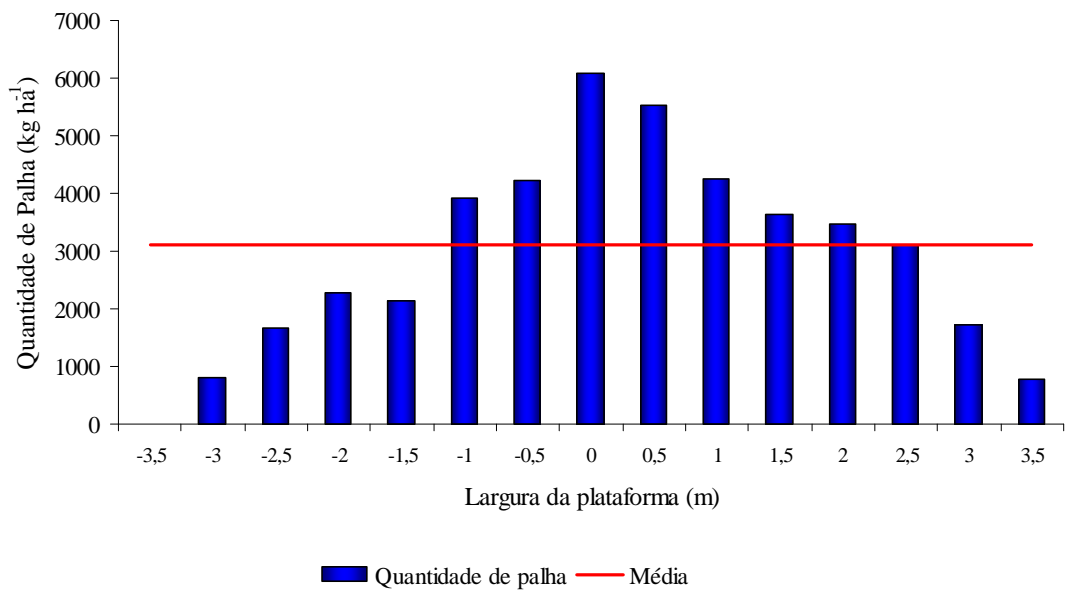


Figura 40. Distribuição da palha da colhedora B.

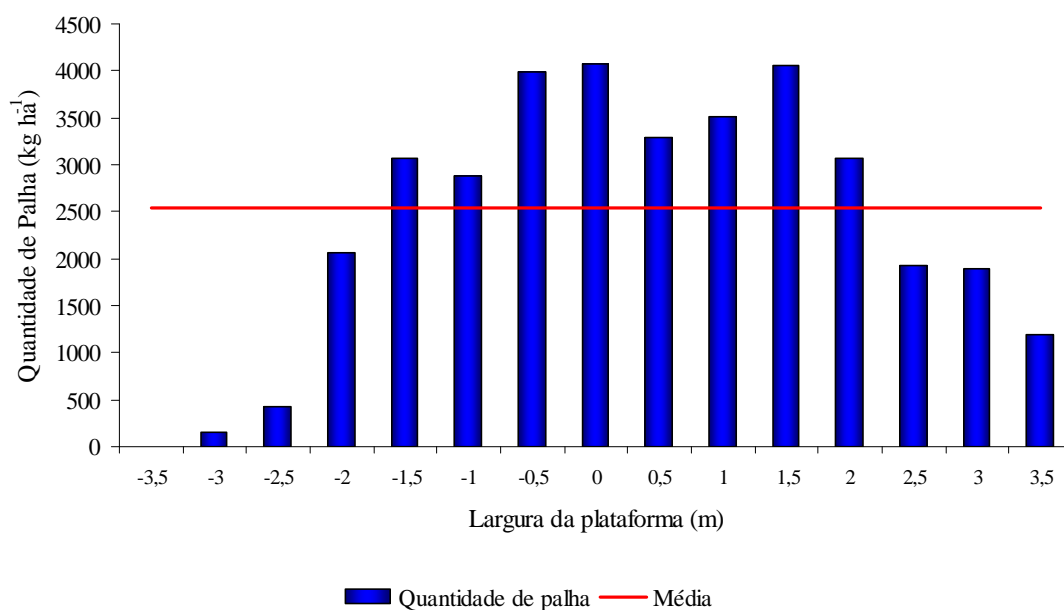


Figura 41. Distribuição da palha da colhedora C.

As colhedoras B e C equipadas com plataformas de corte menores que a máquina A apresentaram uma distribuição de palha irregular com acentuada concentração no centro da colhedora, demonstrando que mesmo trabalhando com plataformas de corte menores, a distribuição não é uniforme, discordando do relato de Veseth et al (1997) e concordando com os resultados obtidos por Orlando et al. (2005 b) e Kunz (2007).

O sistema de distribuição de palha das colhedoras A, B e C apresentaram distribuição irregular de palha concentrada no centro e com menor quantidade de palha na periferia da linha de deslocamento da máquina.

A concentração de palha no centro das máquinas é devido a palha proveniente das peneiras comumente denominada de “palhiço”, onde as máquinas avaliadas não apresentavam equipamentos específicos de distribuição. Por isso a utilização desses equipamentos, denominados espalhadores de palhiço, apresentam função muito importante para diminuir a desuniformidade e acúmulo de palhiço no centro da linha de deslocamento das colhedoras, concordando com Orlando et al (2005 a) e Kunz (2007).

6.9 Síntese dos resultados e interpretação da análise estatística dos parâmetros temperatura e umidade relativa dentro e fora das cabines

A síntese da análise estatística é apresentada para grupos de parâmetros na Tabela 11.

Tabela 11. Síntese da análise de variância e o teste de médias para os parâmetros temperatura e umidade dentro e fora das cabines das colhedoras ensaiadas.

Colhedoras	Dentro da Cabine		Fora da Cabine		Decremento Dentro e Fora da Cabine	
	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Umidade (%)	Temperatura (°C)	Umidade (%)
A	19,50 B	71,35 A	24,28 A	84,50 C	-4,78 A	-13,15 B
B	18,40 C	57,80 B	21,85 B	87,30 B	-3,45 B	-29,50 A
C	20,65 A	57,55 B	22,00 B	87,63 A	-1,35 C	-30,08 A
F	198,13**	1626,54**	223,44**	512,13**	229,68**	2449,10**
DMS	0,316	0,773	0,359	0,299	0,450	0,767
CV (%)	0,82	0,63	0,80	0,18	7,14	1,60

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

** Significativo a 1% de probabilidade.

Analisando-se a Tabela 11, observa-se que todos os parâmetros analisados apresentaram diferença estatística significativa para as colhedoras ensaiadas. A colhedora B apresentou menor valor de temperatura dentro da cabine em relação as demais máquinas e a colhedora A maior valor de umidade relativa do ar. Os valores de temperatura fora da cabine foram menores para as colhedoras B e C enquanto a umidade relativa do ar fora da cabine foi maior para a máquina C. A máquina A apresentou maior eficiência no decréscimo da temperatura externa da cabine em relação as demais colhedoras, porém todas as máquinas apresentaram temperatura interna da cabine entre 19° e 22°C que corresponde aos valores recomendados pela NR 17 (1990). Quanto ao parâmetro umidade relativa do ar dentro da cabine, as colhedoras B e C apresentaram valores entre 40 a 70% que corresponde aos valores recomendados pela NR 17 (1990).

6.10 Síntese dos resultados e interpretação da análise estatística do parâmetro ruído em operação, parado e descarga dentro e fora das cabines

A síntese da análise estatística é apresentada para grupos de parâmetros na Tabela 12.

Tabela 12. Síntese da análise de variância e o teste de médias para o parâmetro ruído em operação, parado e descarga dentro e fora das cabines das colhedoras ensaiadas.

Colhedoras	Ruído Dentro da Cabine			Ruído Fora da Cabine	
	Operação (dBA)	Parado (dBA)	Descarga (dBA)	Parado (dB)	Descarga (dB)
A	84,63 A	84,34 A	83,54 A	87,24 A	85,39 B
B	80,27 B	77,29 B	78,03 B	84,42 B	81,16 C
C	75,26 C	73,10 C	71,72 C	84,39 B	87,13 A
F	890,96**	14431,47**	856,06**	97,65**	189,30**
DMS	0,620	0,186	0,798	0,653	0,881
CV (%)	0,39	0,12	0,52	0,39	0,53

Médias seguidas de mesma letra, nas colunas, não diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

** Significativo a 1% de probabilidade.

Pela Tabela 12, nota-se que todos os parâmetros analisados apresentaram diferença estatística significativa para as colhedoras ensaiadas. A colhedora C apresentou menores índices de ruído dentro da cabine durante a operação de colheita, parada e durante descarregamento. O ruído fora da cabine com a colhedora estática foi menor para as colhedoras C e B e durante a descarga para a máquina B.

Todas as colhedoras ensaiadas apresentaram níveis de ruído inferiores ao estabelecido pela Norma NB 95 (ABNT, 1987) que estabelece o nível máximo de ruído de 85 dB, sendo que acima desse limite o ruído, além de perturbar as atividades humanas, pode causar sérios danos à audição. O comportamento do ruído das colhedoras ensaiadas difere de Silva et al. (2004), que determinaram ruído acima do nível máximo estabelecido pelas normas técnicas para outras colhedoras disponíveis no mercado.

7 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos, nas análises realizadas e para as condições em que este experimento foi conduzido, pode-se concluir que:

A colhedora A, por apresentar plataforma de maior largura, tanque graneleiro de maior capacidade, motor de maior potência, sistema de separação com separador rotativo e debulha composta pelo sistema de polias duplas e barras pinadas no cilindro de trilha, apresentou maior desempenho efetivo e operacional em relação as outras colhedoras ensaiadas.

A colhedora A apresentou maior consumo horário de combustível por possuir motor de maior potência, porém seu consumo por área mostrou-se menor em função de seu melhor desempenho operacional, em comparação com as demais colhedoras.

A colhedora A obteve as menores perdas quantitativas de grãos, devido principalmente ao sistema de auto-nivelamento das peneiras, em relação as outras máquinas que não possuíam esse dispositivo.

Quanto aos parâmetros de avaliação das perdas qualitativas dos grãos colhidos, não houve diferença estatística para as colhedoras ensaiadas, ou seja, a qualidade dos grãos foi semelhante independente da colhedora.

Para o coeficiente de distribuição de palha das colhedoras, todas as colhedoras apresentaram distribuição desuniforme de palha, evidenciando a importância de se

utilizar espalhador de palhico, para evitar concentraçao de palha no centro da linha de deslocamento das máquinas.

A cabine da colhedora C proporcionou menor nível de ruído ao operador, porém todas as cabines das colhedoras ensaiadas mostraram conforto térmico e acústico dentro dos padrões ergonômicos aceitáveis.

Para avaliações técnicas das perdas qualitativas de grãos entre colhedoras deve-se utilizar a maior quantidade de parâmetros de análise de grãos e não apenas um teste isolado, pois pode induzir a interpretações errôneas dos resultados.

8 REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGRICULTURE, FOOD AND RURAL DEVELOPMENT. Residue Management for Successful Direct Seeding. Disponível em: <<http://www1.agric.gov.ab.ca>>. Acesso em: 11 set. 2005.

ALVES SOBRINHO, T.; HOOGERHEIDE, H. C. Diagnóstico de colheita mecânica da cultura de soja no Município de Dourados-MS. In: COGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. *Anais...* Poços de Caldas: Universidade Federal de Lavras, 1998.

ANDREWS, C. Mechanical injury on seed. In: SHORT COURSE FOR SEEDSMEN, 1., 1965, Mississippi. *Proceedings...* Mississippi: Seed Technology Laboratory, 1995. p. 24-29.

ANUÁRIO DA INDÚSTRIA AUTOMOBILÍSTICA BRASILEIRA-ANFAVEA. Frota mundial de tratores de rodas e colheitadeiras. Disponível em <http://www.anfavea.com.br/anuario_2007/cap115>. Acessado em 10/06/2007

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. *Combine capacity and performance test procedure*. St. Joseph, 1998. não paginado.

ARAÚJO, G. A.; CASÃO, R. J.; SIQUEIRA, R. *Mecanização do plantio direto problemas e soluções*. Londrina: Instituto Agrônomo do Paraná, 2001. não paginado.

ARAÚJO, R. F. *Efeito da colheita mecanizada nas perdas quantitativas e qualitativas de sementes de milho (Zea mays, L.)*. 1995. 98 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Fitotecnia)- Universidade Federal de Viçosa, Viçosa, 1995.

ASETE, M. G. W. *Ruído e vibrações*. São Paulo: FUNDACENTRO, 1983. 23p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Determinação do P.R.A. de tratores e máquinas agrícolas autopropelidas: procedimento: NBR 9405*. Rio de Janeiro, 1985. 2 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Medição do nível de ruído, no posto de operação de tratores e máquinas agrícola: NBR 9999*. Rio de Janeiro, 1987. 21 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Tratores agrícolas: determinação das características técnicas e desempenho: NBR 10400*. Rio de Janeiro, 1988. 22 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. *Legislação brasileira de ergonomia: procedimento: NR 17*. Brasília, 2002. 101 p.

BAEZA, A. B.; CASABELLA, E. P. Avaliação ergonômica de uma cabine para colhedora de cana-de-açúcar. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, São Paulo, v. 19, n. 72, p. 59-64, 1991.

BALASTREIRE, L. A. *Máquinas agrícolas*. São Paulo: Manole, 1987. 307 p.

BANZATTO, D. A.; KRONKA, S. N. *Experimentação agrícola*. Jaboticabal: FUNEP, 1995. 247 p.

BICHEL, D. C.; HENGEN, E. J.; MOTT, R. E. New concept header for combine harvest. *ASAE Paper*, St. Joseph, n. 75-1534, p. 1-4, 1975.

BOLLER, W.; KLEIN, V. A.; PANISSON, E. Perdas na colheita mecanizada de soja em função de diferentes níveis e umidade dos grãos. In: COGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. *Anais...* Poços de Caldas: Universidade Federal de Lavras, 1998. p.310-312.

BORGES, I. O.; MACIEL, A. J. S.; MILAN, M. Programa computacional para dimensionamento de colhedoras considerando a pontualidade na colheita de soja. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 26, n. 1, p. 131-141, 2006.

BRAGACHINI, M. et al. Cosecha de soja. In: INSTITUTO NACIONAL DE TECNOLOGIA AGROPECUARIA. INFOINTA. Manfredi, 1992. p. 63-176.

BRAGACHINI, M. A. *Uso de molinete neumático y de sistema de corte de paso angosto para reducir las perdidas por cabezal durante la cosecha de soja*. 1991. 172 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Mecanização Agraria)-Faculdade de Agronomia, Universidad Nacional de La Plata, La Plata, 1991.

BRASIL. Ministério da Agricultura. *Regras para análises de sementes*. Brasília, DF: SNAD, CLAV, 1992, 365 p.

BRASIL. Ministério da Agricultura e Reforma Agrária. *Perdas na agropecuária brasileira: relato preliminar da comissão técnica para redução das perdas na agropecuária*. Brasília, DF: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Soja, 1993. 20 p.

CAMPANA, C. L. Insalubridade residual por ruído em tratores cabinados. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, São Paulo, v. 12, n. 47, p. 50-53, 1984.

CAMPOS, M. A. O. et al. Perdas na colheita mecanizada de soja no estado de minas gerais. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 25, n. 1, p. 207-213, 2005.

CAÑAVATE, J. O. Ergonomia, higiene e segurança nos tratores e máquinas agrícolas. In: _____. *Máquinas y tractores agrícolas*. Madrid: Mundi-Prensa, 1982. v. 3, p. 57-65.

CARBONELL, S. A. M.; KRZYZANOWSKI, F. C. Dano mecânico em soja: um problema que poderá ser resolvido com cultivares resistentes. *Informe Abrates*, Londrina, v. 3, n. 4, p. 32-7, 1993.

CARVALHO, N. M.; NAKAGAWA, J. *Sementes: ciência, tecnologia e produção*. 3. ed. Campinas: Fundação Cargill, 1988. 424 p.

CARVALHO, C. G. P. et al. Proposta de classificação dos coeficientes de variação em relação à produtividade e altura da planta de soja. *Pesquisa Agropecuária Brasileira*, Brasília, v. 38, n. 2, p. 100-106, 2003.

CASE IH. *Manual do operador*. Curitiba: CNH, 2006. 471 p.

CERQUEIRA, W. P.; POPINIGS, F. Qualidade de semente. In: _____. *A soja no Brasil*. S.1: ITAL, 1981. p. 711-714.

CLASS. *Manual do operador*. Stuttgart: CLASS, 2001. 290 p.

CORDEIRO, M. A. L. *Estudo do efeito de lastragem no desempenho de um trator agrícola*. 1994. 112 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1994.

CORDEIRO, M. A. L. *Desempenho de um trator agrícola em função do pneu, da lastragem e da velocidade de deslocamento*. 2000. 153 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

COSTA, N. P. et al. Efeito da colheita mecânica sobre a qualidade da semente de soja. *Revista Brasileira de Sementes*, Londrina, v. 18, p. 252-257, 1996.

COSTA, N. P.; MESQUITA, C. M.; HENNING, A. A. Avaliação das perdas e dos efeitos da colheita mecânica sobre a qualidade fisiológica e a incidência de patógenos em sementes de soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE SEMENTES, 1., 1979, Curitiba. *Resumos...* Curitiba: Associação Brasileira de Tecnologia de Sementes, 1981. p.30-31.

COSTA, N. P. et al. Redução de perdas na colheita de soja: tecnologia ao alcance de técnicos e produtores. *Caderno de Ciência & Tecnologia*, Brasília, v. 14, p. 465-472, 1997.

COSTA, N. P. et al. Avaliação da qualidade de sementes e grãos de soja provenientes da colheita mecanizada, em diferentes regiões do Brasil. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v.22, n.2, p.211-19, 2002.

COSTA, N. P.; TAVARES, L. C. V. Fatores responsáveis pelos elevados percentuais de perdas de grãos durante a colheita mecânica de soja. *Informativo ABRATES*, Londrina, v. 5, p. 17-25, 1995.

CUENCA, F. Evaluación de pérdidas de granos en la cosecha de soja. *Hoja Informativo*, Buenos Aires, n. 103, p. 1-3, 1983.

DALL'AGNOL, D. A. et al. Perda de soja na colheita mecânica. In: REUNIÃO CONJUNTA DE PESQUISA DE SOJA, 1., 1973, Passo Fundo. *Anais...* Passo Fundo: IEPAS, Estação Experimental de Passo Fundo, 1973. p.78-82.

DASSOU, S. J.; KUENEMAN, E. A. Screening methodology for resistance to field weathering of soybean seed. *Crop Science*, St. Joseph, v. 24, p. 774-779, 1984.

DECHEN, S. C. F. et al. Manejo de solos tropicais no Brasil. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 1 CD-ROM.

DELOUCHE, J. C. Maintaining soybean seed quality. In: _____. *The soybean: production, marketing and use*. Alabama: American Soybean Association, 1974. p. 46-62.

DELOUCHE, J. C. Harvesting, handling and storage of soybean seed. In: SHORT COURSE FOR SEEDSMEN, 15., 1972, Mississippi, *Proceedings...* Mississippi: Mississippi State University, 1972. p.78 - 86.

DELOUCHE, J. C.; ANDREWS, C. H. Test show how injury lowers quality of seed. *Seed World*, Alabama, v. 95, n. 6, p. 10, 1964.

DUNN, W. E.; NAVE, W. R.; BUTLER, B. J. Combine header component losses in soybeans. *Transactions. ASAE*, St. Joseph, v. 16, p. 1032-1035, 1973.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. *Recomendações técnicas para a cultura da soja no Paraná 1997/98*. Londrina, 1997. 213 p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. *Recomendações técnicas para a cultura de soja no Paraná 1998/99*. Doc. Cent. Nac. Pesqui. Soja/EMBRAPA, nº 131, 1999a. 213p.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. *Recomendações técnicas para a cultura de soja no Paraná 1999/2000*. Londrina, 1999b. 236 p. (Documentos, 131).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. *Sistemas de produção 2 – Tecnologias de produção de soja – Paraná 2003*. Londrina, 2002. 195 p. (Documentos, 131).

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. Centro Nacional de Pesquisa de Soja. *Embrapa 48*. Disponível em: <<http://www.carol.com.br/embrapa48.htm>>. Acesso em: 10 jan. 2008.

FINARDI, C. E.; SOUZA, G. L. Ação da extensão rural no levantamento e prevenção de perdas na colheita de soja - 4/80. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 11., 1981, Brasília. *Anais...* Brasília: Universidade Federal de Brasília, 1983. p.153-158.

FINCH, E. O.; COELHO, A. M.; BRANDINI, A. Colheita de milho. *Informe Agropecuário*, v.6, n.72, p.61-6, 1980.

FONTANA, G. et al. Avaliação de características ergonômicas no posto do operador em colhedoras combinadas. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 24, n. 3, p. 207-213, 2004.

FRANÇA NETO, J.B. et al. *Metodologia do teste de tetrazólio em semente de soja*. Londrina: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa de Soja, 1988. 58 p (Documento, n.32).

FRANZ, C. A. B. et al. Perdas na colheita de soja no Distrito Federal e entorno. In: REUNIÃO DE PESQUISA DE SOJA NA REGIÃO CENTRAL DO BRASIL, 23., 2001, Londrina. *Resumos...* Londrina: EMBRAPA Soja, 2001. p.136-141.

FURLANI NETO, V. L.; RIPOLI, T. C. C.; VILLA NOVA, N. A. Colheita mecânica: perda de matéria prima em canaviais com e sem queima prévia. *STAB – Açúcar, Álcool e Subprodutos*, São Paulo, v. 14, n. 6, p. 14-18, 1996.

GAMERO, C. A.; BENEZ, S. H.; FURLANI JUNIOR, J. A. Análise do consumo de combustível e da capacidade de campo de diferentes sistemas de preparo periódico do solo. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 15, 1986, São Paulo. *Anais...* São Paulo: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1986. p. 1-9.

GAMERO, C. A.; SIQUEIRA, R.; LEVIEN, R.; SILVA, S. L. Decomposição da aveia preta (*Avena strigosa Schreb*) manejada com rolo-faca e triturador de palhas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, 1997, Campina Grande. *Anais...* Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1997. p. 16-23.

GARCIA, R. F. et al. Avaliação de danos nas sementes de milho durante a colheita mecânica. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 24., 1995, Viçosa. *Paper...* Viçosa: Universidade Federal Viçosa, 1995. p.180-186.

GASSEN, D. N.; GASSEN F. R. *Plantio direto o caminho do futuro*. Passo Fundo: UFRS, 1996. 207 p.

GERGES, S. N. Y. *Ruído: fenômeno e controle*. Florianópolis: UFSC, 1992. 660 p.

GREEN, D. E.; CAVANAH, L. E.; PINNELL, E. L. Effect of seed moisture content, field weathering and combine cylinder speed on soybean seed quality. *Crop Science*, Minneapolis, v. 6, n. 1, p. 7-10, 1966.

GRESPLAN, E. D. Influência da distribuição de fitomassa de uma colhedora autopropelida sobre a cultura do trigo. 2005. 28 p. Trabalho de Conclusão de Curso (Bacharel em Engenharia Agrícola)- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Marechal Cândido Rondon, 2005.

HILBERT, J. A. Niveles de ruido en el puesto de conducción de maquinas agrícolas autopropulsadas en Argentina. In: _____. *Ingeniería rural y mecanización agraria en el ambito latinoamericano*. La Plata: Rural, 1998. p. 78-84.

INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA. Levantamento sistemático da produção agrícola. Disponível em: <<http://www1.ibge.gov.br/home/estatistica/indicadores/agropecuaria/lspa>>. Acesso em: 10 jun. 2007.

IIDA, I. *Ergonomia: projeto e produção*. São Paulo: Edgar Blücher, 1997. 468 p.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. *Norma ISO 1999: acoustics: assessment of occupational noise exposure for hearing conservation purposes*. St. Joseph, 1975. não paginado.

INTERNATIONAL STANDARD ORGANIZATION. *Norma ISO 1999: determination of occupation noise exposure and estimation of noise: induced hearing impairment*. St. Joseph, 1982. não paginado.

JACINTO, J. B. C.; CARVALHO, N. M. Maturação de semente de soja. *Científica*, Brasília, v. 1, n. 1, p. 81-8, 1974.

JIJÓN, A. N.; BARROS, A. C. S. A. Efeito dos danos mecânicos na semeadura sobre a qualidade de semente de soja (*Glycine Max (L.) Merrill*). *Tecnologia de Sementes*, Brasília, v. 6. n. 1/2, p. 3-21, 1983.

KRONKA, P. F. B.; MONTEIRO, J. H. Desempenho operacional de colhedoras na usina Iturama. In: SEMANA DE CANA DE PIRACICABA, 4, 1999, Piracicaba. *Anais...* Piracicaba: Saccharum, 1996. p. 46-48.

KUNZ, V. L. *Distribuição transversal de palha por colhedoras autopropelidas na cultura da soja*. 2007. 34 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola/Sistemas Agroindustriais)- Universidade Estadual do Oeste do Paraná, Cascavel, 2007.

LAMP, G. J.; JOHNSON, W. H.; HARKNESS, K. A. Soybean harvesting: approaches to improved efficiency. *Buletin Ohio Agricultural*, Columbus, n. 899, p. 1-54, 1962.

LEVIEN, R. et al. Grau de fragmentação e forma de distribuição de resíduos pela colhedora na colheita de soja. In: REUNIÃO BRASILEIRA DE MANEJO E CONSERVAÇÃO DO SOLO E DA ÁGUA, 15., 2004, Santa Maria. *Anais...* Santa Maria: Universidade Federal de Santa Maria, 2004. 1 CD-ROM.

LOPES, A. *Desempenho de um trator agrícola em função do tipo de pneu, da lastragem e da velocidade de deslocamento em um solo argiloso*. 2000. 131 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2000.

MAGUIRE, J. D. Speed of germination-aid in selection and evaluation for seedling emergence and vigor. *Crop Science*, Madison, v. 2, n. 1, p. 176-177, 1962.

MALCOLM, K. G.; STOUT, A. S.; SEARCY, S. W. Instrumentation package for monitoring tractor performance. *ASAE Paper*, St. Joseph, n. 83-1562, p. 15-20, 1984.

MAHL, D. *Desempenho operacional de semeadora em função de mecanismos de corte, velocidade e solos, no sistema de plantio direto do milho*. 2006. 143 f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2006.

MANTOVANI, E. C. Colheita mecânica do milho. In: FUNDAÇÃO CARGILL. *Colheita mecânica, secagem e armazenamento do milho*. Campinas, 1989. 24 p. (Série técnica, 2).

MARCOS FILHO, J.; CÍCERO, S. M.; SILVA, W. R. *Avaliação da qualidade das sementes*. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Fundação de Estudos Agrários “Luiz de Queiroz”, 1987. 230 p.

MEIRELLES, C. E. Tratores agrícolas. *Revista Brasileira de Saúde Ocupacional*, São Paulo, v. 4, n. 14, p. 71-80, 1976.

MESQUITA, C. M. et al. Caracterização da colheita mecanizada da soja no Paraná. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 21, n. 2, p. 197-205, 2001.

MESQUITA, C. M.; COSTA, N. P.; QUEIROZ, E. F. Influência dos mecanismos das colhedoras e o manejo da lavoura de soja (*Glycine max (L.) Merrill*) sobre as perdas na colheita e a qualidade das sementes. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 9., 1979, Campina Grande. *Anais...* Campina Grande: Universidade Federal da Paraíba, 1980. p. 28-34.

MESQUITA, C. M. et al. *Manual do produtor: como evitar desperdícios na colheita de soja*. Londrina: EMBRAPA, Centro Nacional de Pesquisa Soja, 1994. 32 p. (Documentos, n. 82).

MESQUITA, C. M. ; MOLIN, J. P. ; COSTA, N. P. Avaliação preliminar de perdas “invisíveis” na colheita de soja. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27., 1998, Poços de Caldas. *Anais...* Lavras: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1998. p.105-112.

MESQUITA, C. M. et al. Perfil da colheita mecânica da soja no Brasil: safra 1998/1999. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 22, n. 3, p. 398-406, 2002.

MESQUITA, C. M.; GAUDÊNCIO, C. A. Medidor de perdas na colheita de soja e trigo. Londrina: *Com. Téc. Cent. Nac. Pesqui. Soja/EMBRAPA*, n.15, p.1-8, 1982.

MIALHE, L. G. *Máquinas agrícolas: ensaios & certificação*. Piracicaba: FEALQ, 1996. 22 p.

MONDRAGON, R. L.; POTTS, H. C. Field deterioration of soybean as effected by environment. *Soybean Environment. Analysis*, Minneapolis, n. 64. p. 63-71, 1974.

MOORE, R. P. Effect f mechanical injury on viability. In: _____. *Viability of seeds*. London: Chapman & Hall, 1972. p. 94-113.

MUZILLI, O. *Plantio direto no Paraná*. Londrina: IAPAR, 1981. 244 p.

NEW HOLLAND. *Manual do operador*. Curitiba: CNH, 2000. 322 p.

NÓBREGA, L. H. P. *Estrutura morfológica e qualidade de semente de soja*. Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 1991. 22 p.

ORLANDO, A. F. et al. Uniformidade de distribuição dos resíduos da cultura do trigo em colhedoras autopropelidas In: JORNADA CIENTÍFICA DA UNIOESTE, 3., 2005, Maringá. *Resumos...* Maringá: Unioeste, 2005a. 1 CD-ROM.

_____. et al. Uniformidade da distribuição de restos culturais da soja em colhedoras autopropelidas. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 34., 2005, Gramado. *Resumos...* Gramado: Unioeste, 2005b. 1 CD-ROM.

PEREIRA, L. A. G. Fatores que influenciam a qualidade da semente. In: _____. *A soja no Brasil*. S.1: ITAL, 1981. p. 718-28.

PIMENTEL-GOMES, F. *Curso de estatística experimental*. São Paulo: Esalq, 1985. 467 p.

PINHEIRO NETO, R. *Efeito da umidade dos grãos e das regulagens e dos mecanismos de trilha nas perdas quantitativas e qualitativas na colheita de soja (Glycine max (L.) Merril)*. 1999. 95f. Tese (Doutorado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1999.

PINHEIRO NETO, R.; GAMERO, C. A. Efeito da colheita mecanizada nas perdas qualitativas de grãos de soja (*Glycine max (L.) Merril*). *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 20, n. 3, p. 250-257, 2000.

PINHEIRO NETO, R.; TROLI, W. Perdas na colheita mecanizada da soja (*Glycine max (L.) Merril*), no município de Maringá, estado do Paraná. *Acta Scientiarum Agronomy*, Maringá, v. 25, n. 2, p. 393-398, 2003.

PMAC. Exposição ao ruído: norma para proteção de trabalhadores que trabalham em atividades com barulho. *Revista Proteção*, São Paulo, v. 6, n. 29, p. 136-8, 1994.

PORTELLA, J. A. Perdas de trigo, de soja e de milho x umidade de grão durante a colheita mecanizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26., 1997, Campina Grande. *Resumos...* Jaboticabal: Universidade Estadual Paulista, 1997. 1 CD-ROM.

QUICK, G. R. Laboratory analysis of the combine header. *Trans. ASAE (Am. Soc. Agric. Eng.)*, v.16, p.5-12, 1973.

QUICK, G. R.; BUCHELE, W. F. Reducing combine gathering losses in soybeans. *Transactions ASAE*, St. Joseph, v. 17, p. 1123-9, 1974.

RIBEIRO, M. P. *Avaliação ergonômica de tratores com potência de 55,2; 77,3 e 110 kW*. 2000. 49 f. Monografia (Graduação em Agronomia)-Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista, Jaboticabal, 2000.

RIPOLI, T. C. Ensaio & certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: _____. *Máquinas agrícolas: ensaios e certificação*. Piracicaba: FEALQ, 1996. p. 635-73.

RIPOLI, T. C. et al. Operational and economic performance of a green cane chopped harvester, in Brazil. In: ASAE INTERNATIONAL ANNUAL MEETING, 32, 2001, Sacramento. *Anais...* Sacramento: Asae, 2001. p. 718-726.

SANTOS, J. E. G.; SANTOS FILHO, A. G.; BÓRMIO, M. F. Conforto térmico: uma avaliação em tratores agrícolas sem cabine. In: SIMPÓSIO DE ENGENHARIA DE PRODUÇÃO, 11., 2004, Bauru. *Anais...* Bauru: Universidade Estadual Paulista, 2004. p.35-39.

SCHLOSSER, J. F. et al. Antropometria aplicada aos operadores de tratores agrícolas. *Ciência Rural*, Santa Maria, v. 32, n. 9, p. 983-8, 2002.

SEKI, A. S. *Demanda energética no processo de ensilagem de milho*. 2007. 101 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2007.

SILVA, R. P. et al. Avaliação do nível de ruído em colhedoras combinadas. *Engenharia Agrícola*, Jaboticabal, v. 24, n. 2, p. 381-387, 2004.

SILVA, S. L. *Projeto e construção de um sistema de aquisição de dados para avaliação do desempenho energético de máquinas e implementos agrícolas*. 1997. 148 f. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura)-Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 1997.

SIQUEIRA, R.; BOLLER, W.; GAMERO, C. A. Eficiência de corte e consumo de energia de um triturador de palhas em diferentes coberturas vegetais. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 25, 1996, Bauru. *Anais...* Bauru: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1996. p. 301-307.

SILVEIRA, J. C. M. et al. Força de tração e potência de uma semeadora em duas velocidades de deslocamento e profundidades de deposição de sementes. *Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental*, Campina Grande, v. 9, n. 1, p. 1125-128, 2005.

SMITH, J. A. Extension machinery systems engineer. Distribution of Crop Residue, A Requirement for Conservation Tillage. Electronic version September 1996. Disponível em: <<http://ianrpubs.unl.edu/fieldcrops/g782.htm>>. Acesso em: 15 set. 2005.

VESETH. R, et al. Uniform combine residue distribution for successful no-till and minimum tillage systems. Crop management series no-till and minimum tillage farming. Disponível em: <[http://pnwsteepest.wsu.edu/tillagehandbook/chapter 3/03/1997.htm](http://pnwsteepest.wsu.edu/tillagehandbook/chapter%203/03/1997.htm)>. Acesso em: 18 ago. 2005.

WANG, G.; ZOERB, G. C. A farm tractor driver's information system. *ASAE Paper*, St. Joseph, n. 88-3020, p. 40-48, 1988.

WIKIPEDIA. Obed Hussey – all inventors. Disponível em: <http://www.wikipedia.org/wiki/Obed_Hussey>. Acesso em: 10 ago. 2007.

ZAMBERLAN, M. C. P.P. L.; FERREIRA, D. M. P.; ALMEIDA, A. G. *Avaliação ergonômica de tratores agrícolas*. Rio de Janeiro: Instituto Nacional de Tecnologia, Unidade de Programas de Desenho Industrial, 1998. 138 p.

APÉNDICE

Apêndice 1. Valores da velocidade de deslocamento (km h^{-1}), capacidade de campo efetiva (ha h^{-1}), tempo efetivo demandado (h ha^{-1}) das colhedoras ensaiadas.

COLHEDORA	Repetição	Vel (km h^{-1})	CE (ha h^{-1})	Te (h ha^{-1})
A	R1	6,14	4,61	0,22
	R2	5,77	4,33	0,23
	R3	6,01	4,51	0,22
	R4	6,17	4,63	0,22
	Média	6,02	4,52	0,22
B	R1	5,09	3,56	0,28
	R2	4,99	3,49	0,29
	R3	4,89	3,42	0,29
	R4	5,07	3,54	0,28
	Média	5,01	3,50	0,29
C	R1	5,17	3,57	0,28
	R2	5,03	3,47	0,29
	R3	4,99	3,44	0,29
	R4	5,07	3,50	0,29
	Média	5,06	3,49	0,29

Apêndice 2. Valores do consumo horário efetivo de combustível ($L h^{-1}$) e consumo de combustível efetivo por área ($L ha^{-1}$) das colhedoras ensaiadas.

COLHEDORA	Repetição	CChe ($L h^{-1}$)	CCae ($L ha^{-1}$)
A	R1	29,43	6,39
	R2	29,81	6,89
	R3	29,63	6,57
	R4	29,97	6,48
	Média	29,71	6,58
B	R1	22,41	6,29
	R2	20,97	6,01
	R3	21,99	6,43
	R4	22,82	6,45
	Média	22,05	6,29
C	R1	29,48	8,26
	R2	30,20	8,70
	R3	29,44	8,55
	R4	31,48	9,00
	Média	30,15	8,63

Apêndice 3. Valores da capacidade operacional (ha h^{-1}), tempo operacional demandado para colheita (h ha^{-1}), consumo horário de combustível operacional (L h^{-1}), consumo de combustível operacional por área (L ha^{-1}), eficiência da operação e tempo operacional gasto no descarregamento das colhedoras ensaiadas.

COLHE DORA	Rep	CO (ha h^{-1})	To (h ha^{-1})	CCho (L h^{-1})	CCao (L ha^{-1})	Ef (%)	Tempo descarga (s)
A	R1	4,20	0,28	26,84	6,39	86,78	155
	R2	3,85	0,24	25,37	6,59	86,33	154
	R3	3,10	0,19	23,89	7,71	86,03	151
	R4	4,50	0,30	27,95	6,21	87,10	153
	Média	3,91	0,25	26,01	6,72	86,56	153
B	R1	2,76	0,49	21,42	7,76	69,55	205
	R2	2,49	0,45	19,42	7,80	68,90	203
	R3	2,10	0,34	19,10	9,10	68,10	202
	R4	2,30	0,36	19,38	8,43	68,70	201
	Média	2,41	0,41	19,83	8,27	68,81	203
C	R1	2,56	0,51	28,56	11,16	69,27	206
	R2	2,42	0,42	27,80	11,49	68,38	207
	R3	2,11	0,29	27,59	13,08	68,10	209
	R4	2,52	0,47	27,97	11,10	68,94	210
	Média	2,40	0,42	27,98	11,70	68,67	208

Apêndice 4. Valores das perdas totais, plataforma e trilha das colhedoras ensaiadas.

COLHEDORA	Repetição	Total (kg ha ⁻¹)	Plataforma (kg ha ⁻¹)	Trilha (kg ha ⁻¹)
A	R1	57,14	50,01	7,13
	R2	55,71	48,57	7,14
	R3	54,28	43,04	11,24
	R4	50,00	42,85	7,15
	Média	54,28	46,11	8,17
B	R1	105,71	55,71	50,00
	R2	110,00	65,71	44,29
	R3	108,57	57,14	51,43
	R4	107,14	51,42	55,72
	Média	107,86	57,50	50,36
C	R1	103,90	55,06	48,84
	R2	105,85	65,09	40,76
	R3	108,67	72,10	36,57
	R4	105,93	69,07	36,86
	Média	106,09	65,33	40,76

Apêndice 5. Valores de condutividade elétrica e germinação dos grãos de soja.

COLHEDORA	Repetição	Condutividade elétrica ($\mu\text{S cm}^{-1} \text{ g}^{-1}$)	Germinação (%)	
			5 dias	8 dias
A	R1	103,92	68	72
	R2	89,93	72	78
	R3	87,53	90	90
	R4	92,80	70	72
	Média	93,31	75	78
B	R1	82,87	70	76
	R2	79,83	82	82
	R3	75,06	76	88
	R4	80,94	76	78
	Média	79,67	76	81
C	R1	80,79	82	88
	R2	90,90	82	86
	R3	72,59	78	82
	R4	81,35	66	70
	Média	81,40	77	81,50

Apêndice 6. Valores de envelhecimento acelerado, teor de água e teste de tetrazólio dos grãos de soja.

COLHEDORA	Repetição	Envelhecimento acelerado (%)	Teor de água (%)	Teste de tetrazólio 1
A	R1	64	10,60	20
	R2	60	10,70	20
	R3	70	11,20	8
	R4	56	10,90	4
	Média	62,5	10,85	13
B	R1	62	11,20	8
	R2	46	10,50	4
	R3	66	10,40	12
	R4	58	11,20	16
	Média	58	10,82	10
C	R1	66	10,20	24
	R2	52	11,30	12
	R3	68	10,50	8
	R4	50	10,90	8
	Média	59	10,72	13

⁽¹⁾ Porcentagens de danos mecânicos. Para a avaliação o dano mecânico as sementes foram inseridas nas classes (Tz 6-8).

Apêndice 7. Valores do índice de velocidade de germinação, massa de 1000 grãos e porcentagem de grãos quebrados de soja.

COLHEDORA	Repetição	IVG	Massa de 1000 grãos (g)	Sementes quebradas (%)
A	R1	7,05	187,2	16,5
	R2	7,58	191,8	15,9
	R3	9,00	184,0	15,9
	R4	7,13	187,6	16,5
	Média	7,69	187,6	16,2
B	R1	7,38	196,2	15,2
	R2	8,20	188,8	15,2
	R3	8,35	192,8	14,8
	R4	7,73	188,2	14,8
	Média	7,91	191,5	15
C	R1	8,58	184,4	15,5
	R2	8,45	187,9	15,3
	R3	8,05	189,0	15,5
	R4	6,85	188,4	15,3
	Média	7,98	187,4	15,4

Apêndice 8. Valores (kg ha^{-1}) da distribuição transversal de palha da colhedora A.

*	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	7,5	Média	Desvio	CV (%)
R1	920	2080	3840	4360	3360	4900	6700	6520	3700	2940	2080	2680	2940	2540	380	3329	1781,71	53,52
R2	840	1300	3520	4600	4180	4860	4900	7520	4440	4140	2680	1880	3340	2380	1760	3489	1741,39	49,91
R3	480	620	1660	2700	1580	3500	6020	7520	3200	2680	2020	1640	1640	2580	1140	2599	1922,42	73,98
R4	1180	3540	3180	5660	3380	4120	4880	7440	8400	5200	3660	4320	4660	2800	1000	4228	1994,86	47,18

* Largura da plataforma

Apêndice 9. Valores (kg ha^{-1}) da distribuição transversal de palha da colhedora B.

*	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	7	Média	Desvio	CV (%)
R1	340	1600	2500	2160	4360	3760	7060	6100	3060	2740	2380	3600	1540	500	2978	1915,57	64,31
R2	300	1740	2880	2060	5140	4100	5180	4980	4900	3500	4360	2840	1520	740	3160	1685,06	53,32
R3	1200	2060	2060	2160	2600	2980	5040	5000	5300	5180	2860	2100	1840	800	2941	1545,32	52,53
R4	1420	1240	1680	2200	3620	6060	7060	5980	3720	3160	4240	3920	1960	1120	3384	1932,81	57,11

* Largura da plataforma

Apêndice 10. Valores (kg ha^{-1}) da distribuição transversal de palha da colhedora C.

*	0,5	1	1,5	2	2,5	3	3,5	4	4,5	5	5,5	6	6,5	6,7	Média	Desvio	CV (%)
R1	100	300	3200	3340	4200	4740	4820	2200	4700	2940	3600	1040	800	400	2599	1769,72	68,10
R2	200	560	1620	4120	3000	4400	4100	4280	2880	5640	2200	2200	1380	480	2647	1692,89	63,95
R3	80	300	1800	3120	2200	3240	3660	2640	2900	2800	3060	2280	2500	3200	2413	1058,64	43,87
R4	200	540	1600	1720	2120	3580	3720	4020	3560	4820	3400	2180	2920	660	2503	1431,51	57,20

* Largura da plataforma

Apêndice 11. Valores de ruído (dB) dentro e fora das cabines das colhedoras durante operação de descarregamento, colheita e parado.

COLHEDORA	Rep	Dentro da cabine (A)			Fora da cabine	
		operação	parado	descarga	parado	descarga
A	R1	84,89	84,25	83,46	87,14	85,07
	R2	84,80	84,33	83,34	87,25	84,56
	R3	84,44	84,40	83,61	87,38	86,02
	R4	84,39	84,39	83,75	87,18	85,89
	Média	84,63	84,34	83,54	87,24	85,39
B	R1	79,87	77,44	77,44	84,42	80,97
	R2	80,37	77,16	77,69	84,52	81,19
	R3	80,25	77,26	78,15	84,41	81,03
	R4	80,57	77,28	78,85	84,34	81,45
	Média	80,26	77,29	78,04	84,42	81,16
C	R1	75,82	73,14	72,11	85,03	86,86
	R2	75,02	72,98	71,47	84,68	87,02
	R3	75,01	73,20	71,65	83,94	87,14
	R4	75,20	73,10	71,64	83,90	87,49
	Média	75,26	73,11	71,72	84,39	87,13

Apêndice 12. Valores da temperatura e umidade relativa do ar, dentro e fora das cabines das colhedoras.

COLHEDORA	Rep	Fora da cabine		Dentro da cabine	
		Temperatura	Umidade	Temperatura	Umidade
		°C	(%)	°C	(%)
A	R1	24,30	84,50	19,50	71,50
	R2	24,10	84,60	19,40	71,40
	R3	24,30	84,50	19,50	71,20
	R4	24,40	84,40	19,60	71,30
	Média	24,28	84,50	19,50	71,35
B	R1	21,60	87,20	18,30	56,90
	R2	21,80	87,40	18,20	57,70
	R3	22,00	87,50	18,50	58,30
	R4	22,00	87,10	18,60	58,30
	Média	21,85	87,30	18,40	57,80
C	R1	22,30	87,40	20,50	57,50
	R2	21,80	87,80	20,90	57,60
	R3	22,00	87,70	20,70	57,60
	R4	21,90	87,60	20,50	57,50
	Média	22,00	87,63	20,65	57,55