

LUIZ HENRIQUE DE SOUZA

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA RECOLHEDORA-TRILHADORA
DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

VIÇOSA
MINAS GERAIS – BRASIL
2001

LUIZ HENRIQUE DE SOUZA

AVALIAÇÃO DO DESEMPENHO DE UMA RECOLHEDORA-TRILHADORA
DE FEIJÃO (*Phaseolus vulgaris* L.) NA ZONA DA MATA DE MINAS GERAIS

Tese apresentada à Universidade Federal de Viçosa, como parte das exigências do Programa de Pós-Graduação em Engenharia Agrícola, para obtenção do título de “Magister Scientiae”.

APROVADA: 10 de agosto de 2001.

Prof. Haroldo Carlos Fernandes
(Conselheiro)

Prof. Julião Soares de Souza Lima
(Conselheiro)

Prof. Mauri Martins Teixeira

Prof. Ermani Luiz Agnes

Prof. Luciano Baião Vieira
(Orientador)

A Deus, pela vida.

Aos meus pais Luiz e Maria Helena.

Ao meu irmão Clessius José.

À minha namorada Vanda Simone.

AGRADECIMENTOS

A Deus, por tudo.

À Universidade Federal de Viçosa (UFV), pela oportunidade de realização do Programa.

À Coordenação de Aperfeiçoamento de Pessoal de Nível Superior (CAPES), pela concessão da bolsa de estudos.

Ao professor Luciano Baião Vieira, pelos valiosos ensinamentos, pela orientação, pelo estímulo e pela amizade.

Aos professores conselheiros Haroldo Carlos Fernandes, Julião Soares de Souza Lima e Paulo Roberto Cecon, pelo apoio durante a realização do trabalho.

À Indústria NUXMAQUINAGRICOLA, por gentilmente, ter cedido o equipamento para a realização dos testes.

Ao Departamento de Engenharia Agrícola do Centro de Ciências Agrárias da UFV, pelo apoio.

Aos membros da Banca Examinadora professor Mauri Martins Teixeira e Emani Luiz Agnes, pelas valiosas sugestões.

Aos meus pais, ao meu irmão e à minha namorada, por terem sempre me incentivado e apoiado na vida acadêmica, sem os quais seria impossível a realização deste trabalho.

Aos meus companheiros José Marques, Sidney, Roberto Avelino, Paola, Handrei, Roberta e Mariano, pela amizade, pelo companheirismo e pela convivência agradável durante o mestrado.

Aos meus colegas Antônio Donizete, Ednei, Carlos Villioti, Elton, Cristiano, Kalil, Gilton, Ricardo Garcia e Roberto Milagres, pela ajuda na realização deste trabalho e em todos os momentos.

Aos funcionários do Laboratório de Mecanização Agrícola Vantuil, Danilo, Geraldo e Marcelo pela ajuda na execução dos trabalhos.

Aos funcionários Edna, Galinari, Zé Mauro, Fernanda e Marcos, pela ajuda.

A todos que contribuíram, direta ou indiretamente, para a realização deste trabalho.

BIOGRAFIA

LUIZ HENRIQUE DE SOUZA, filho de Luiz de Souza e Maria Helena Macedo de Souza, Nasceu em Barbacena, Estado de Minas Gerais, em 24 de setembro de 1972.

Em agosto de 1999, graduou-se em Engenharia Agrícola pela Universidade Federal de Viçosa (UFV), em Viçosa, MG.

Em agosto de 1999, ingressou no Programa de Pós-Graduação, em nível de Mestrado, em Engenharia Agrícola da UFV, na área de Mecanização Agrícola, submetendo-se à defesa de tese em 10 de agosto de 2001.

ÍNDICE

	Página
RESUMO	ix
ABSTRACT	xi
1. INTRODUÇÃO	1
2. REVISÃO DE LITERATURA	4
2.1. A cultura	4
2.2. A colheita	5
2.3. Colheita semimecanizada	6
2.4. Tráfego de máquinas com estabilidade	7
2.5. Desempenho operacional de máquinas agrícolas	8
2.5.1. Capacidade operacional	8
2.5.2. Consumo de combustível	8
2.5.3. Capacidade de recolhimento	9
2.5.4. Perdas	10
2.5.5. Nível de ruído	11
3. MATERIAL E MÉTODOS	13
3.1. Delineamento experimental	13
3.2. Determinação da umidade dos grãos	14
3.3. Estimativa da produtividade média por hectare	14
3.4. Descrição do conjunto trator-recolhedora	14

	Página
3.5. Velocidade de trabalho	15
3.6. Determinação experimental das coordenadas do centro de gravidade	15
3.6.1. Determinação da coordenada longitudinal horizontal	16
3.6.1.1. Coordenada longitudinal horizontal da recolhadora	16
3.6.1.2. Coordenada longitudinal horizontal do trator	17
3.6.2. Determinação da coordenada horizontal traseira	18
3.6.2.1. Coordenada horizontal traseira da recolhadora	18
3.6.2.2. Coordenada horizontal traseira do trator	19
3.6.3. Determinação da coordenada vertical	20
3.6.3.1. Coordenada vertical da recolhadora	20
3.6.3.2. Coordenada vertical do trator	21
3.7. Estimativa da estabilidade transversal	23
3.7.1. Declividade máxima de tombamento lateral	23
3.8. Determinação da capacidade operacional	25
3.9. Consumo de combustível	25
3.10. Capacidade de recolhimento	26
3.11. Perdas	27
3.12. Avaliação do nível de ruído	29
3.12.1. Metodologia para avaliação do ruído	29
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	31
4.1. Estimativa da estabilidade transversal	31
4.2. Capacidade operacional	33
4.3. Consumo de combustível	34
4.4. Capacidade de recolhimento	35
4.5. Perdas	36
4.6. Nível de ruído	40
4.6.1. Ruído próximo ao ouvido do operador	40
4.6.2. Ruído próximo ao cilindro recolhedor da máquina	41
4.6.3. Ruído próximo à saída da palhada	41
4.6.4. Comparação dos níveis de ruído emitido	42
5. RESUMO E CONCLUSÕES	44

	Página
REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	46
APÊNDICES	51
APÊNDICE A	52
APÊNDICE B	53
APÊNDICE C	54

RESUMO

SOUZA, Luiz Henrique de, M. S., Universidade Federal de Viçosa, agosto de 2001. **Avaliação do desempenho de uma recolhedora-trilhadora de feijão (*Phaseolus vulgaris*) na Zona da Mata de Minas Gerais.** Orientador: Luciano Baião Vieira. Conselheiros: Haroldo Carlos Fernandes, Julião Soares de Souza Lima e Paulo Roberto Cecon.

O desempenho de uma recolhedora-trilhadora de feijão, da Indústria NUX MAQUINAGRICOLA, modelo RXT 350, foi avaliado, levando-se em consideração uma exploração mais segura e econômica das propriedades agrícolas na Zona da Mata de Minas Gerais. No teste de desempenho, foram avaliados: a declividade-limite do terreno para tráfego com estabilidade transversal do trator e da recolhedora, a capacidade operacional, o consumo de combustível, a capacidade de recolhimento, as perdas ocorridas durante o processo e os níveis de ruído emitido pelo conjunto. A avaliação foi feita, com base em dois experimentos de áreas distintas, no Município de Viçosa, MG. O delineamento experimental empregado foi em blocos casualizados, com quatro repetições e num esquema de parcelas subdivididas. Na avaliação da capacidade operacional teórica, do consumo de combustível, da capacidade de recolhimento e dos níveis de ruído, as parcelas foram compostas pelas declividades de 0-10, 10-20 e 20-30% e, as subparcelas, pelas velocidades de 2,0; 2,5; e 3,0 km h⁻¹. Já na avaliação das perdas, as umidades de 11, 14 e

16% compunham as parcelas e, as velocidades de 2,0; 2,5; e 3,0 km h⁻¹, as subparcelas. Os dados foram interpretados por meio de análises de variância e de regressão. Para o fator qualitativo, as médias foram comparadas, utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. Quanto ao fator quantitativo, os modelos foram escolhidos baseados na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste t a 5% de probabilidade, no coeficiente de determinação e no fenômeno em estudo. A inclinação-limite estimada, que aparentemente permite a estabilidade transversal no tráfego em rampas, conferia à recolhedora inclinação de 39%, coerentes com os 31% obtidos com os dados do trator. A velocidade de avanço de 3,0 km h⁻¹ proporcionou maior capacidade operacional, tendo o desempenho diminuído com o aumento da declividade. Apesar de o consumo de combustível em L ha⁻¹ ter diminuído com o aumento da velocidade, não houve diferença significativa entre os valores para quaisquer declividades analisadas. Ocorreu aumento no consumo horário com o incremento da velocidade e da declividade, indicando maior demanda energética. A melhor capacidade de recolhimento foi de 2,77 t h⁻¹, a uma maior velocidade de operação e menor declividade, estando todos os valores alcançados dentro da faixa estipulada pelo fabricante. A maior perda ocorreu no sistema de separação e limpeza, representando 50% da perda total, seguida pela perda de 48% na plataforma. As perdas no arranquio e enleiramento e no sistema de trilha não chegaram a 2%. Os menores valores de perda total foram de 5,2%, equivalentes ao experimento com teor de umidade de 11%, estando todos os outros valores dentro do intervalo de aceitação. Os níveis de ruído foram superiores ao limite de 85 dBA para oito horas de exposição diária estabelecido pela NR-15, sendo as maiores médias aquelas obtidas na parte traseira da máquina, devido ao fato de o rolo batedor e o sistema de limpeza e descarga da palhada se localizarem ali, ficando o ensacador exposto a maiores níveis de ruído do que o tratorista.

ABSTRACT

SOUZA, Luiz Henrique de, M. S., Universidade Federal de Viçosa, August of 2001. **Bean (*Phaseolus vulgaris L.*) pick-up machine performance in the Zona da Mata in Minas Gerais.** Adviser: Luciano Baião Vieira. Committee members: Haroldo Carlos Fernandes, Julião Soares de Souza Lima and Paulo Roberto Cecon.

The performance of a bean pick-up machine, of the MAQUINAGRICOLA NUX industry, model RXT 350, was evaluated considering more safety and economic exploration of farms located in the area of the Zona da Mata in Minas Gerais. In the performance tests, the terrain declivity- limit for the traffic with transversal stability for the tractor and the pick-up machine, the operational capacity, the fuel consume, the gathering capacity, the occasional losses during the process, and the noise level emitted by the set, were evaluated. The evaluation was carried out setting up two experiments in distinct areas, in the district of Viçosa, MG. The experimental design used was a randomized block, with four repetitions, in a subdivided parcel plan. In the theoretical operational capacity, the fuel consume, the gathering capacity and the noise level evaluation, the parcels were composed by the declivity of 0-10, 10-20 and 20-30%, and, the sub-parcels, by the velocities of 2,0; 2,5; and 3,0 km h⁻¹. As for the losses evaluations, the humidity of 11, 14, and 16% composed the parcels and, the velocities of 2,0; 2,5; and 3,0 km h⁻¹, the sub-parcels. The data were

interpreted by the variation and regression analyses. For the qualitative factor, the averages were compared using the Turkey test at 5% of probability. As for the quantitative factor, the models were chosen based on the regression coefficient significance, using the t test at 5% of probability, in the determination coefficient and in the phenomenon in study. The estimated inclination-limit, which apparently permits the transversal traffic stability in ramps, gave to the recolhedora a 39% inclination; coherent with the 31% obtained with the tractor data. The 3 km h⁻¹ velocity proportioned greater operational capacity, having the performance diminished with the declivity increase. Although the fuel consumes in L ha⁻¹ had diminished with the velocity increase, there was no significant difference between the values for any of the analyzed declivity. There was an increase in the hourly consumes with the velocity and declivity increment, indicating a greater energetic demand. The best gathering capacity was of 2,77 t h⁻¹, at a greater operational velocity and smaller declivity, being all the achieved values within a range established by the manufacturer. The greatest loss occurred in the separation and cleaning system, representing 50% of total loss, followed by the 48% loss on the platform. The losses in the digging and windrowing and in the trail system did not achieve 2%. The total loss smallest values were of 5,2% equivalent to the experiment with 11% of humidity content, being all the other values within the acceptable interval. The noise levels were superior to the 85 dBA limit for eight hours of daily exposure established by the NR-15, with the greatest averages being obtained in the back part of the machine, due to the fact that the beating roller and the straw cleaning and disposal system are located there, being the sacker exposed to greater noise levels than the tractor driver.

1. INTRODUÇÃO

O feijão (*Phaseolus vulgaris* L.) é um dos produtos agrícolas brasileiros de maior importância socioeconômica.

Dados do IBGE (2001) indicam que o Brasil tem sido o maior produtor mundial, com aproximadamente 2,8 milhões de toneladas ao ano. No entanto, a média de produção é de 690 kg por hectare.

Segundo Chagas, citado por ZIMMERMANN et al. (1988), rendimentos superiores a 1.500 kg ha⁻¹ são facilmente alcançados em lavouras exclusivas, com o uso de modernas técnicas e de boas variedades, geralmente conduzidas por empresários agrícolas, que constituem a minoria dos produtores de feijão no Brasil.

O uso de técnicas rudimentares é a principal causa dessa baixa média. Isso se deve ao fato de, no Brasil, os pequenos agricultores serem os principais responsáveis pela produção. Eles têm grande dificuldade em adotar tecnologias mais sofisticadas, muitas vezes de difícil compreensão ou de custo muito elevado.

Existem inúmeras técnicas de fácil compreensão, que poderiam ser usadas pelos agricultores. Mesmo admitindo uma estimativa conservadora, essas técnicas são capazes de, pelos menos, dobrar o rendimento atual.

A colheita é um dos componentes do sistema de produção do feijão que vêm recebendo, nos últimos anos, especial atenção por parte da pesquisa biológica e da indústria de máquinas e implementos. Isso é consequência do

grande interesse, por parte dos produtores, sobretudo daqueles que vêm explorando a cultura em regime empresarial, por novas técnicas (SILVA e BEVITORI, 1994).

Por ser o feijão uma planta de características morfológicas e agronômicas peculiares, a sua colheita é quase que exclusivamente manual, sendo as plantas, após o arranquio, enleiradas no campo para posterior transporte ou trilha no próprio local. Esta operação, além de ser um dos fatores que impedem a expansão da cultura, onera o preço do produto, pois o gasto com mão-de-obra é elevado (POMPEU, 1987).

Para que a cultura do feijoeiro possa expandir e as pequenas propriedades alcançar posição de destaque, é necessário que todas as operações, desde o preparo do solo até a colheita, sejam mecanizadas. Enquanto a engenharia busca um equipamento para o arranquio eficiente, muitos são os equipamentos que fazem o recolhimento e a trilha das plantas já arrancadas e enleiradas no campo.

As máquinas e implementos de recolhimento e trilha são tracionados por um trator e acionados pela tomada de potência. Possuem um mecanismo de recolhimento composto de estiletos flexíveis embutidos num cilindro giratório, que, ao girar em sentido contrário ao deslocamento da máquina, eleva as leiras e as conduz a uma esteira que, por sua vez, as conduzem à unidade de trilha e abanação. Separados das vagens e impurezas, os grãos são ensacados ou conduzidos ao depósito graneleiro.

A maioria das recolhedoras-trilhadoras é projetada para operar em terrenos planos ou com declividades pouco acentuadas, devido à facilidade de operação nesses terrenos e às condições exigidas pela própria cultura. O uso dessas referidas máquinas em regiões de topografia acentuada e acidentada, como a Zona da Mata mineira, poderia causar ao produtor grandes prejuízos, em decorrência de perdas, baixa eficiência e danos com o próprio equipamento, caso não sejam previamente adequados às condições locais.

Este trabalho objetivou avaliar o desempenho de uma recolhedora-trilhadora de feijão na região da Zona da Mata de Minas Gerais, visando a uma exploração mais segura e econômica das pequenas propriedades agrícolas. Para tanto, procurou-se:

- Estimar a declividade do terreno que permita o tráfego com estabilidade transversal, de acordo com os dados dimensionais da recolhedora e do trator;
- determinar a capacidade operacional teórica e o consumo de combustível do trator;
- avaliar a capacidade de recolhimento da recolhedora-trilhadora de feijão;
- analisar as perdas quantitativas ocasionadas durante o processo de recolhimento; e
- avaliar os níveis de ruído emitido pelo conjunto trator-máquina durante a operação de recolhimento.

2. REVISÃO DE LITERATURA

2.1. A cultura

O feijão-comum (*Phaseolus vulgaris* L.), a exemplo de outras importantes plantas alimentícias, teve origem no Novo Mundo, tendo sido levado ao Velho Mundo como planta ornamental após o descobrimento da América (ZIMMERMANN et al., 1988).

Segundo Vieira, citado por ZIMMERMANN et al. (1988), esta cultura vem recebendo grande atenção de pesquisadores, tanto de órgãos federais, ligados aos Ministérios da Agricultura Pecuária e Abastecimento e da Educação e Cultura, como de órgãos estaduais vinculados, principalmente, às Secretarias de Agricultura.

O feijoeiro é exigente quanto às propriedades físicas e químicas do solo. Segundo SEGUY et al. (1984), os terrenos que permitem mecanização contribuem para o desenvolvimento da cultura sem a concorrência com ervas, obtendo-se, conseqüentemente, melhor aproveitamento dos fertilizantes. Porém, em geral, as áreas de cultivo do feijão são pequenas, do tipo familiar, caracterizando, de certa forma, o baixo grau de exploração empresarial desta cultura.

Segundo a EMBRAPA (1981), a exploração desta cultura apresenta uma série de problemas, que incorrem em instabilidade de produção, baixa rentabilidade para o produtor e oferta a preços razoáveis ao consumidor.

2.2. A colheita

Em razão de a maturação das vagens ser escalonada da base para o ápice da planta e apresentar deiscência, é aconselhável sempre colher o feijão com certa porcentagem de vagens ainda imaturas, pois, ao se esperar que todas atinjam a umidade ideal para a trilha, muitas vagens podem abrir-se no campo, havendo perda de sementes. A colheita com parte de vagens ainda imaturas contribui também para a diminuição do caruncho (ROCHA, 1988).

Segundo POPINIGIS (1977), o conhecimento do teor de umidade das sementes, durante a maturação, é de vital importância no planejamento da colheita. Sua execução depende de a semente atingir teor de umidade compatível com o exigido pelo equipamento a ser utilizado no processo.

A colheita do feijão, em geral, é feita quando os grãos se encontram com teor de umidade entre 18 e 20%. Nesse caso, as plantas apresentam folhas quase que totalmente amarelecidas e as vagens maduras. Após essa etapa, as plantas são deixadas no solo para secar até os grãos atingirem aproximadamente 16% de umidade, quando deverão ser recolhidas e trilhadas (CONTO et al., 1980). Os agricultores, normalmente, realizam a colheita quando as vagens estão secas e as folhas, em grande parte, caídas.

De modo geral, segundo LOLLATO (1989), o que define o método de colheita a ser utilizado é a estrutura disponível na propriedade. Assim, torna-se extremamente importante o planejamento do plantio, para que a área seja compatível com a capacidade de colheita da propriedade.

Os sistemas empregados na colheita do feijão foram classificados por CONTO et al. (1980) em: manual, semimecanizado e mecanizado.

No sistema manual, todas as operações, como arranquio, recolhimento e trilha, são feitas manualmente. As plantas arrancadas são deixadas amontoadas na lavoura, alinhadas em fileiras com as raízes para cima, para completar o processo de secagem, e a trilha é feita com batedores especiais.

No sistema semimecanizado, o arranquio e o enleiramento são manuais. Já a trilha é feita mecanicamente, empregando-se trilhadoras estacionárias, máquinas recolhedoras-trilhadoras ou colhedoras automotrizes.

No sistema mecanizado, todas as operações da colheita são feitas com máquinas, utilizando-se colhedoras automotrizes.

2.3. Colheita semimecanizada

SILVA (1988) classificou a colheita mecanizada como prática imprescindível à expansão das áreas de cultivo do feijoeiro e à transformação delas de simples exploração de subsistência em atividade empresarial necessária ao desenvolvimento socioeconômico e ao atendimento da crescente demanda de alimento.

No Brasil, entretanto, SILVA (1988) concluiu que, em virtude de problemas inerentes à cultura, da inexistência de uma linha de produção de equipamentos adequados para cortar ou arrancar e enleirar as plantas de feijão, a mecanização do cultivo desta leguminosa tem sido mais intensa nas operações de recolher e trilhar.

As principais formas de colheita semimecanizada, possíveis de serem realizadas com máquinas nacionais, são classificadas, segundo a EMBRAPA (1993), em:

- Arranquio manual e trilha com trilhadoras estacionárias;
- arranquio manual e trilha com automotrizes estacionárias; e
- arranquio manual, recolhimento e trilha com recolhedoras-trilhadoras (batedoras) ou automotrizes.

Em todos os casos, as plantas são arrancadas manualmente.

Em colheita semimecanizada, as máquinas recolhedoras-trilhadoras, acopladas ao trator, recolhem o material de cada linha individualmente e são acionadas pela TDP (Transmissão de Potência) do trator em que estão acopladas.

Segundo SILVA e QUEIROZ (1998), as recolhedoras são dotadas de um rolo dentado que gira recolhendo o produto enleirado, colocando-o sobre uma esteira transportadora, responsável pela alimentação do mecanismo de trilha com o produto. O feijoeiro é colocado dentro do cilindro trilhador, dotado de um rotor, que provoca a debulha. A palha é movimentada, sendo expelida pela extremidade oposta à entrada. O grão trilhado atravessa a peneira do cilindro, sendo depois conduzido ao mecanismo de limpeza. Finalmente, o produto é colocado a granel em um depósito ou destinado a um sistema de ensaque.

2.4. Tráfego de máquinas com estabilidade

Cerca de 40% dos acidentes que ocorrem no setor agrário, na Espanha, são causados por máquinas agrícolas e, segundo DELGADO (1991), a metade deles está relacionada a operações com tratores.

A FUNDACENTRO (1979) estima que em 85% dos acidentes com tratores há vítimas fatais; destes, 70% referem-se a tombamento lateral e o restante, a quedas para trás.

O conhecimento das condições de equilíbrio, principalmente nas práticas agrícolas com o plantio em curva de nível, como é o caso do feijão, permite utilização mais segura do trator e da recolhadora, evitando-se risco de acidentes, principalmente em terrenos de topografia acidentada. Segundo MIALHE (1980), o estudo das forças que agem sobre o chassi do trator tem fundamental importância na compreensão dos fenômenos que ocorrem durante sua utilização em campo.

Para o estudo da estabilidade das máquinas, é necessário conhecer as características dimensionais e ponderais para a determinação das coordenadas do Centro de Gravidade (CG), que definem o ponto geométrico no corpo da máquina onde a força peso está atuando normalmente à superfície da terra, determinando a distribuição da massa do corpo para os lados e os eixos frontal e traseiro da máquina, segundo CHUDAKOV (1977).

Nos tratores agrícolas e veículos com rodados de pneus, o ângulo-limite máximo para subida de rampas com segurança varia entre 35 e 40° e o ângulo-limite máximo para descidas de rampa está em torno de 60° (CHUDAKOV, 1977).

Em uma operação em curva de nível, quanto maior for a velocidade de deslocamento, mais intensamente se manifestará a ação dos processos dinâmicos que poderão provocar o tombamento lateral de uma máquina. Por isso, recomenda-se que o ângulo de inclinação do terreno, que permite a estabilidade dinâmica durante uma operação, esteja entre 40 e 60% do ângulo-limite determinado em condição estática, de acordo com CHUDAKOV (1977) e MIALHE (1980).

Determinando o ângulo-limite estático do conjunto trator-recolhedora, poder-se-á estimar o ângulo máximo de tombamento lateral do conjunto em condições dinâmicas para operações em curva de nível.

2.5. Desempenho operacional de máquinas agrícolas

A mecanização agrícola não pode ser incorporada diretamente do exterior para o País, nem de uma região para outra, sem antes passar por criterioso processo de adaptação (NAGAOKA, 1995). Deve haver sempre estreita relação entre solo, máquina e planta, determinada pelas condições da região onde se localiza a propriedade.

Considerando-se grande avanço nos últimos anos das máquinas de maior porte, é necessária a avaliação do desempenho destas na região, pois, no caso da colheita do feijão, encontram-se algumas dificuldades no seu emprego, em regiões com relevo acidentado e áreas de pequenas dimensões.

2.5.1. Capacidade operacional

O conhecimento do tempo necessário para a execução das operações, ao longo de todo o ciclo de uma cultura, é indispensável para se poder planejar a utilização das máquinas agrícolas.

Para se obter lucro em uma atividade agrícola, é importante minimizar as despesas decorrentes do uso de máquinas. Assim, o conhecimento da capacidade operacional dos conjuntos agrícolas durante uma operação resultará em economia de tempo, combustível e mão de obra e redução do desgaste das máquinas, dentre outros.

2.5.2. Consumo de combustível

Ao avaliar o desempenho de dois tipos de cortadoras-arrancadoras de feijoeiro, NAGAOKA (1995) teve como um dos principais objetivos a determinação do consumo de combustível e da capacidade de campo teórica do sistema em estudo, em função da velocidade operacional. Considerando como invariável a rotação do motor do trator em seus testes, NAGAOKA (1995)

concluiu que, ao aumentar a velocidade de trabalho, diminuía o esforço de tração exigida pelos implementos, reduzindo o consumo de combustível.

Segundo SILVA (1992), pelo consumo de combustível, pode-se obter um indicativo da demanda energética de uma operação agrícola. Entretanto, os valores obtidos podem ser influenciados por fatores como condições do solo, tipo e regulagens do implemento, dimensões e formato da área a ser trabalhada, habilidade do operador, potência do motor e deslizamento do rodado.

SUMMERS et al. (1986), testando a variação da força de tração média em função da velocidade em alguns equipamentos de preparo do solo, chegaram à conclusão de que pequenas mudanças na velocidade operacional podem influenciar o consumo horário de combustível e a quantidade de energia requerida para sistemas iguais de preparo do solo.

O consumo de combustível é um dos maiores custos/encargos na agricultura mecanizada. Por isso, pesquisadores são levados a desenvolver métodos de sistema que reduzem esse consumo (BURT et al., 1983). De acordo com MATTOS et al. (1981), o gasto com combustível representa cerca de 30% do custo/hora de um trator agrícola, sendo o fator responsável pela maior parcela do custo total de trabalho de uma máquina agrícola.

2.5.3. Capacidade de recolhimento

Segundo RIPOLI (1996), a capacidade de recolhimento ou colheita é entendida como a capacidade de trabalho de um conjunto de máquinas, ou uma colhedora isoladamente, na unidade de tempo.

Ao avaliar uma colhedora de feijão de fluxo axial (em terrenos planos), SOUZA (2001) obteve um aumento linear nos valores de capacidade de colheita com o incremento da velocidade de operação. Algumas vezes, menor capacidade significa menor quantidade de grãos recolhidos por dia e, com isso, menor rendimento.

A porcentagem de tempo perdido pode ser pouco maior ou pouco menor, variando de acordo com os ajustes a serem realizados, a manutenção preventiva, a perícia do operador e, sobretudo, a topografia do terreno (PORTELLA, 2000).

2.5.4. Perdas

Com a introdução de novas máquinas no mercado, a necessidade de aumento da produção e a exploração da cultura em áreas maiores, tornam-se necessários ajustes cuidadosos nas máquinas, que, como as recolhedoras-trilhadoras e as colhedoras, ficam sujeitas a perdas de grãos durante o recolhimento e, ou, colheita.

Segundo BALASTREIRE (1990), os fatores que podem influir nas perdas são aqueles inerentes à própria cultura e os relacionados à máquina. Dentre os fatores relacionados com a própria cultura, podem-se citar a variedade, a população de plantas, a ocorrência de plantas daninhas, o teor de umidade dos grãos e o preparo e conservação do solo.

Teores de umidade muito altos aumentam a quebra dos grãos e, portanto, diminuem sua qualidade. Teores muito baixos aumentam as perdas devido à deiscência das vagens ou mesmo à queda de grãos causada pelo impacto dos órgãos ativos da recolhedora.

Com relação aos fatores associados à máquina no cálculo das perdas, podem-se mencionar: velocidade de deslocamento, posição do molinete, estado de manutenção, regulagem da barra de corte, regulagem do elevador, dentre outros (BALASTREIRE, 1990).

Segundo SILVA (1985), foram realizadas pesquisas no Centro Nacional de Pesquisa de Arroz e de Feijão (CNPAP) com dois fabricantes de recolhedoras-trilhadoras, durante a colheita do feijão com teor de umidade de 16%. A primeira recolhedora-trilhadora apresentou as seguintes médias: velocidade de operação de 1,7 km h⁻¹; perdas de grãos no recolhimento de 5,9% (90 kg ha⁻¹) da produção; e perdas de grãos no trilhamento de 2,9% (44,6 kg ha⁻¹). A segunda apresentou velocidade de operação de 1,2 km h⁻¹; perdas de grãos no recolhimento de 4,7% (72,29 kg ha⁻¹) da produção e perdas de grãos no trilhamento de 2,6% (39,99 kg ha⁻¹).

De acordo com SILVA e BEVITORI (1994), há possibilidade de colheita mecanizada do feijão com perdas abaixo de 10%, desde que sejam associadas algumas condições, como: cultivares adequados e colhedoras com assessórios apropriados; solos com baixa declividade; sistemas de manejo que

proporcionem bom desenvolvimento das plantas sem acamá-las; e uso de máquinas com levantadores, quando as plantas estiverem muito deitadas.

PORTELLA (1997), porém, sugeriu, como meios para reduzir as perdas, o desenvolvimento de metodologias para regulagem de colhedoras, assim como o uso de novos mecanismos que potencializem o desempenho da máquina.

2.5.5. Nível de ruído

Ainda hoje, muitas máquinas são colocadas no mercado sem nenhuma preocupação aparente por parte dos seus fabricantes com relação a determinadas características indispensáveis para a realização de um trabalho com conforto e segurança (LIMA, 1998). O nível de ruído que chega próximo ao ouvido do operador em sua jornada de trabalho é um dos fatores que devem ser avaliados em sistemas produtivos com intenso uso de máquinas. Estudos evidenciam que as pessoas expostas a 82, 85, 88 ou 92 dBA em uma jornada diária de trabalho perdem 2, 5, 10 ou 20% da audição, respectivamente.

FERNANDES et al. (1991) analisaram as fontes de ruído em tratores agrícolas e concluíram ser o motor, e principalmente o sistema de exaustão dos gases, a principal fonte.

Segundo ZOPPELLO et al. (1995), nos implementos tracionados, o aumento do nível de ruído é devido à maior exigência de potência do motor; nas máquinas acionadas pela tomada de potência, como é o caso das recolhedoras-trilhadoras, esse aumento é causado principalmente pelos órgãos acionados.

ZANDER (1972) verificou que há possibilidade de os ruídos provocados por máquinas agrícolas, especialmente tratores, colhedoras, atomizadores, picadoras de forragem, trilhadoras e batedoras, provocarem surdez permanente em trabalhadores sem proteção adequada.

Se o nível de ruído sonoro exceder a 85 dBA durante uma jornada de trabalho de oito horas, é considerado como fator de risco auditivo, conforme estabelecido pela Portaria 3.214, de 8 de junho de 1978, publicada como Norma Regulamentadora, NR-15, da Consolidação das Leis do Trabalho (MITÓRIA, 2000). LAUX et al. (1999), analisando a problemática do ruído nos

ambientes de convívio social, concluíram que os níveis de exposição ao ruído, tanto para o grupo urbano quanto para o grupo rural, estão acima dos considerados aceitáveis.

Em todas as práticas de trabalho mecanizado, o ruído se torna uma preocupação, pois o homem é o elemento a ser considerado, e sua atividade está diretamente subordinada à eficácia do conjunto do sistema, inter-relacionando-se com a Medicina do Trabalho, cujo principal objetivo é a defesa da saúde do trabalhador, bem como implicando aumento da produtividade deste (KAHIL, 1995).

3. MATERIAL E MÉTODOS

Este trabalho foi conduzido no Laboratório de Mecanização Agrícola do Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa (UFV) e em áreas selecionadas no município de Viçosa, com longitude de 42° 52' 40" W e latitude de 20° 45' 20" S, a 658 m de altitude.

As áreas experimentais possuíam 3 ha aproximadamente cada uma. Uma delas apresentava topografia plana, onde foram realizados os testes de perdas, enquanto a outra apresentava declividade variando em ordem crescente de 0 a 30%, determinada com o uso de um clinômetro.

3.1. Delineamento experimental

Para avaliar a influência da declividade e da velocidade sobre a capacidade operacional teórica, o consumo de combustível, a capacidade de recolhimento e os níveis de ruído, o experimento foi montado num delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições.

Outro experimento foi estruturado, também num delineamento em blocos casualizados, com quatro repetições, para avaliar a influência da umidade do feijão e da velocidade de operação sobre as perdas no processo de recolhimento.

Para avaliar o fator qualitativo, as médias foram comparadas utilizando-se o teste de Tukey a 5% de probabilidade. No caso do fator quantitativo, os

modelos foram escolhidos com base na significância dos coeficientes de regressão, utilizando-se o teste de t a 5% de probabilidade; no coeficiente de determinação; e no fenômeno em estudo.

Cada unidade experimental era formada por uma área de 100 m², sendo 50 m de comprimento e 2 m de largura.

3.2. Determinação da umidade dos grãos

De todos os testes realizados, coletaram-se amostras do feijão colhido e trilhado, que foram encaminhadas ao laboratório para determinação da umidade do grão, (bu), pelo método de estufa com ventilação, a 105 ± 1 °C, durante 24 horas.

3.3. Estimativa da produtividade média por hectare

Foram sorteadas 20 parcelas com área de 1 m² cada uma, sendo 10 em áreas anteriores e 10 em áreas posteriores ao local de realização dos testes, de acordo com a metodologia usada por MOREIRA (1997), com o total de três repetições. Em cada uma das parcelas foram colhidas manualmente todas as plantas. Após a debulha das vagens e a pesagem dos grãos, estimou-se a produtividade média (Equação 1).

$$P_m = \frac{P_g \times 10000}{A} \quad (1)$$

em que

P_m – produtividade média, kg ha⁻¹;

P_g – massa dos grãos em cada parcela, kg; e

A – área da parcela, m².

3.4. Descrição do conjunto trator-recolhedora

Utilizou-se como fonte de potência, nos testes experimentais, um trator da marca Massey Ferguson, modelo 265 4X2 TDA, com potência máxima de

48 kW no motor a 2.000 rpm. A recolhedor-trilhadora utilizada é da marca NUXMAQUINAGRICOLA (Figura 1), modelo RXT 350.

Todas as informações do fabricante foram utilizadas no manuseio das operações, tais como: potência mínima do motor do trator de 45 kW, rotação na tomada de potência de 540 rpm e faixa de velocidade de operação.



Figura 1 – Recolhedora-trilhadora NUXMAQUINAGRICOLA modelo RXT 350.

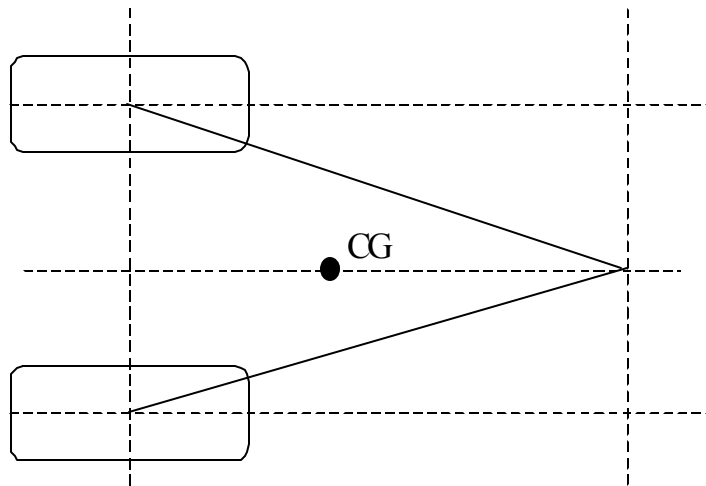
3.5. Velocidade de trabalho

As diferentes velocidades de trabalho do conjunto trator-recolhedora foram determinadas em campo, cronometrando-se os tempos de deslocamento em percursos predeterminados. Essas velocidades de trabalho foram definidas de forma a manter a velocidade angular nominal de acionamento da tomada de potência (TDP) do trator em 540 rpm, recomendada pelo fabricante.

3.6. Determinação experimental das coordenadas do centro de gravidade

A metodologia utilizada para determinação das coordenadas do Centro de Gravidade (CG) de um trator é denominada Método da Dupla Pesagem e descrita por CHUDAKOV (1977) e MIALHE (1980).

Para efeito de estudo, o trator agrícola é considerado apoiado sobre três pontos, ou seja, nos dois rodados traseiros e no mancal que une o chassi ao eixo frontal. Fazendo-se uma analogia do trator com a recolhedora (Figura 2), o método poderá ser aplicado para ambos, pois ela se encontra apoiada nos dois rodados traseiros e na barra de tração, na sua parte frontal.



CG – Posição do centro de gravidade.

Figura 2 – Pontos de apoio da recolhedora (vista superior).

3.6.1. Determinação da coordenada longitudinal horizontal

3.6.1.1. Coordenada longitudinal horizontal da recolhedora

A coordenada longitudinal horizontal da recolhedora será localizada conforme a Figura 3:

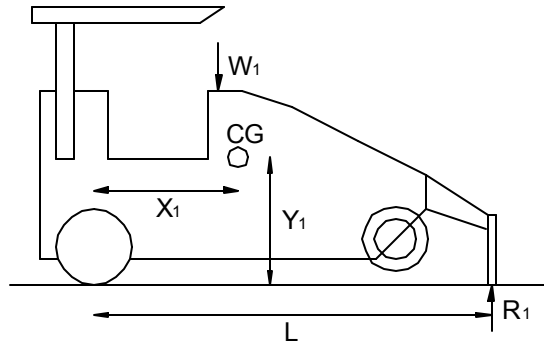


Figura 3 – Esquema da localização das coordenadas X_1 e Y_1 do CG da recolhedora.

A coordenada X_1 será calculada pela Equação 2.

$$X_1 = \frac{R_1 \times L}{W_1} \quad (2)$$

em que

X_1 – coordenada longitudinal horizontal, mm;

W_1 – massa total da máquina, kg;

R_1 – reação do solo contra o apoio frontal, kg; e

L – distância entre o eixo traseiro e o apoio frontal, mm.

3.6.1.2. Coordenada longitudinal horizontal do trator

A coordenada longitudinal horizontal do trator será localizada conforme a Figura 4.

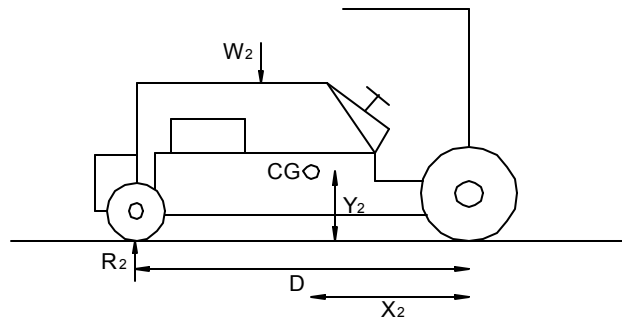


Figura 4 – Esquema da localização das coordenadas X_2 e Y_2 do CG do trator.

Do mesmo modo que a recolhedora, para o trator:

$$X_2 = \frac{R_2 \times D}{W_2} \quad (3)$$

em que

X_2 – coordenada longitudinal horizontal, mm;

W_2 – massa total do trator, kg;

R_2 – reação do solo contra o eixo dianteiro, kg; e

D – distância entre o eixo traseiro e o eixo dianteiro, mm.

3.6.2. Determinação da coordenada horizontal traseira

3.6.2.1. Coordenada horizontal traseira da recolhedora

Esta coordenada está contida no plano transversal traseiro; se a máquina for simétrica longitudinalmente (Figura 5), ela será determinada pela seguinte equação:

$$Z_1 = a_1 \times \left(\frac{R_3 - R_4}{2 \times W_1} \right) \quad (4)$$

em que

Z_1 – coordenada horizontal traseira, mm;

a_1 – bitola da máquina, mm;

R_3 – reação do solo contra o lado direito da máquina, kg;

R_4 – reação do solo contra o lado esquerdo da máquina, kg; e

W_1 – massa total da máquina, kg.

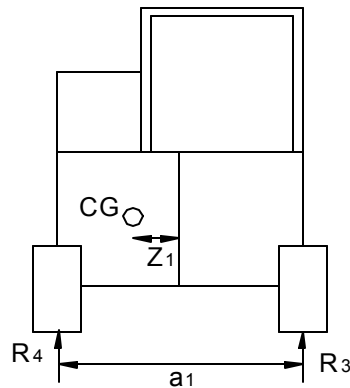


Figura 5 – Esquema da localização da coordenada Z_1 do CG da recolhedora.

3.6.2.2. Coordenada horizontal traseira do trator

De acordo com a Figura 6, tem-se

$$Z_2 = a_2 \times \left(\frac{R_5 - R_6}{2 \times W_2} \right) \quad (5)$$

em que

Z_2 – coordenada horizontal traseira, mm;

a_2 – bitola do trator, mm;

R_5 – reação do solo contra o lado direito do trator, kg;

R_6 – reação do solo contra o lado esquerdo do trator, kg; e

W_2 – massa total do trator, kg.

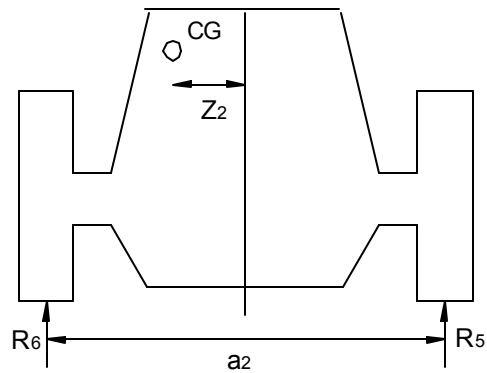


Figura 6 – Esquema da localização da coordenada Z_2 do CG do trator.

3.6.3. Determinação da coordenada vertical

3.6.3.1. Coordenada vertical da recolhedora

Para determinação da coordenada vertical (Figura 7), a parte dianteira da máquina, sem o apoio, fica inclinada. A recolhedora fica apoiada sobre uma balança, com a traseira em uma superfície horizontal rígida. A altura da elevação deve ficar entre 0,50 e 1,00 m. A coordenada vertical é, então, calculada pela Equação 6, segundo CHUDAKOV (1977) e MIALHE (1980).

$$Y_1 = r_1 + Y_3 \quad (6)$$

em que

$$y_1 = r_1 + \left(X_1 - \frac{X_1'}{\cos \beta_1} \right) \times \frac{1}{\tan \beta_1} \quad (7)$$

em que

Y_1 – coordenada vertical do CG, mm;

r_1 – raio estático do pneu traseiro, mm;

X_1' – projeção da coordenada horizontal longitudinal (X_1) no plano de apoio com o eixo levantado, mm; e

$\hat{\alpha}_1$ – ângulo de inclinação da parte frontal da máquina, graus.

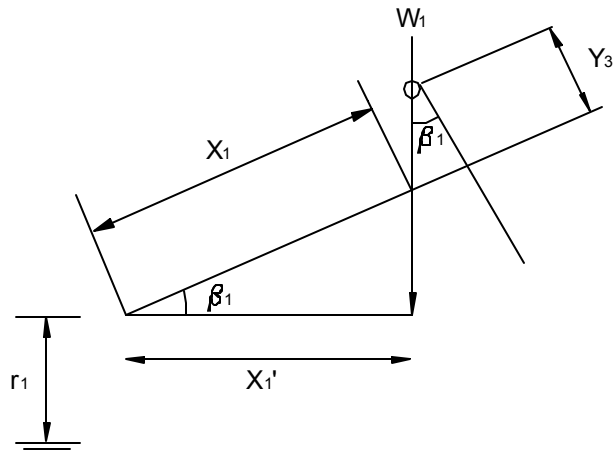


Figura 7 – Configuração geométrica das coordenadas a serem consideradas na segunda pesagem da recolhedora com a parte frontal elevada.

$$X_1' = \frac{R_7 \times L_1}{W_1} \quad (8)$$

em que

R_7 – reação do solo no ponto de engate frontal inclinado, (kg); e

L_1 – projeção horizontal da distância entre os pontos de apoio, com a máquina elevada, mm.

Com certa aproximação, pode-se considerar que:

$$\beta_1 = \arctan \left(\frac{h_1}{L_1} \right) \quad (9)$$

em que

h_1 – altura da elevação da parte frontal da recolhedora, mm.

3.6.3.2. Coordenada vertical do trator

Analogamente, para o trator, de acordo com a Figura 8, tem-se:

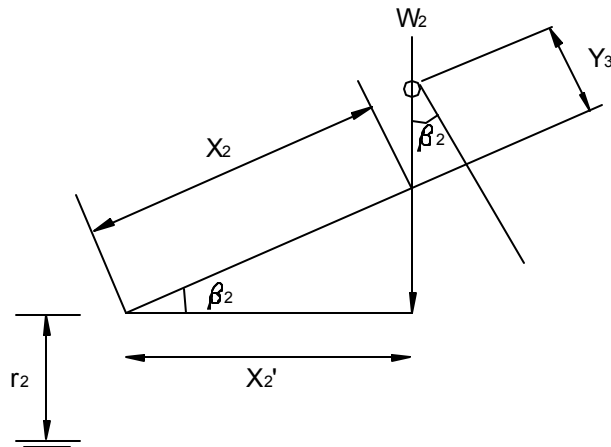


Figura 8 – Configuração geométrica das coordenadas a serem consideradas na segunda pesagem com a parte frontal elevada.

$$Y_2 = r_2 + Y_3 \quad (10)$$

em que

$$Y_2 = \left(X_2 - \frac{X_2'}{\cos \beta_2} \right) \times \frac{1}{\tan \beta_2} \quad (11)$$

em que

Y_2 – coordenada vertical do CG, mm;

r_2 – raio estático do pneu traseiro, mm;

X_2' – projeção da coordenada horizontal longitudinal (X_2) no plano de apoio com o eixo elevado, mm; e

$\hat{\alpha}_2$ – ângulo de inclinação da parte frontal da máquina, graus.

$$X_2' = \frac{R_8 \times D_1}{W_2} \quad (12)$$

em que

R_8 – reação do solo contra o eixo dianteiro inclinado para trás, kg; e

D_1 – projeção horizontal da distância entre os pontos de apoio, com o trator elevado, mm.

Com certa aproximação, pode-se considerar que

$$\beta_2 = \arctan \left(\frac{h_2}{D_1} \right) \quad (13)$$

em que

h_2 – altura da elevação da parte frontal, mm.

3.7. Estimativa da estabilidade transversal

A estabilidade transversal foi determinada em condição estática, já que é muito difícil determiná-la dinamicamente, devido ao tipo de superfície, à capacidade de sustentação do solo, ao carregamento, ao tipo de rodado e à pressão de inflagem (LIMA, 1998).

3.7.1. Declividade máxima de tombamento lateral

O ângulo-limite máximo de inclinação transversal ($\acute{\alpha}$) foi definido como o ângulo no qual o conjunto trator-recolhedora está parado, sem deslizar lateralmente. O valor de ($\acute{\alpha}$) pode ser determinado considerando-se que o tombamento começará quando a reação normal do solo sobre as rodas laterais dispostas na parte superior da rampa se reduzir a zero.

Escrevendo a equação dos momentos em torno de um ponto do pneu da recolhedora (Figura 9) com o solo na parte inferior da rampa, tem-se

$$\alpha_1 = \arctan \left(\frac{(0,5 \times a_1) - Z_1}{Y_1} \right) \quad (14)$$

em que

$\acute{\alpha}_1$ – ângulo-limite para o tráfego lateral, graus;

a_1 – bitola da recolhedora, mm; e

Y_1 – coordenada vertical do CG da recolhedora. mm.

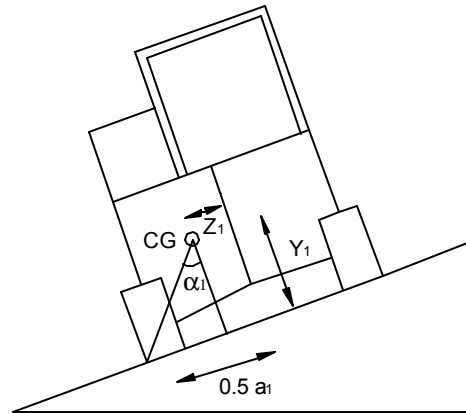


Figura 9 – Ângulo-limite de tombamento para o tráfego lateral da recolhedora ($\acute{\alpha}_1$).

Considerando o centro de gravidade horizontal traseiro do trator posicionado ao centro, de acordo com a Figura 10, tem-se

$$\alpha_2 = \arctan \left(\frac{(0,5 \times a_2) - Z_2}{Y_2} \right) \quad (15)$$

em que

$\acute{\alpha}_2$ – ângulo-limite para o tráfego lateral, graus;

a_2 – bitola do trator, mm; e

Y_2 – coordenada vertical do CG do trator, mm.

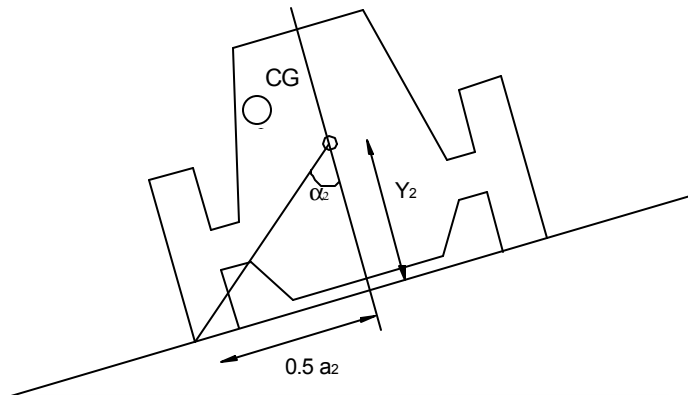


Figura 10 – Ângulo-limite de tombamento para o tráfego lateral do trator (α_2).
 Como o trabalho de recolhimento do feijão se dá em curva de nível, torna-se dispensável o estudo do ângulo de subida e de descida do conjunto.

3.8. Determinação da capacidade operacional

A capacidade operacional, ou capacidade de trabalho, consiste na determinação da quantidade de trabalho realizado por um conjunto mecanizado em determinado tempo.

Para determinação da capacidade operacional teórica, foram utilizadas a média de três velocidades, obtidas nos testes de desempenho, e a largura útil da máquina, equivalente a cinco leiras com espaçamento de 0,5 m entre elas (Equação 16).

$$Co = \frac{V \times L}{10} \quad (16)$$

em que

Co – capacidade operacional teórica, ha h⁻¹;

V – velocidade média, km h⁻¹; e

L – largura de trabalho equivalente ao número de fileiras, m.

3.9. Consumo de combustível

O consumo de combustível foi determinado com o auxílio de um fluxômetro desenvolvido e construído no Departamento de Engenharia Agrícola da Universidade Federal de Viçosa. O instrumento é constituído por uma bureta de vidro graduada em mL, onde se deposita o combustível utilizado durante os testes. O fluxômetro foi anexado ao sistema de alimentação do trator, cujo funcionamento foi controlado por um registro.

O consumo horário de combustível foi determinado a partir dos valores do consumo de cada parcela experimental (Equação 17).

$$Ch = 3,6 \times \left(\frac{c}{t} \right) \quad (17)$$

em que

Ch – consumo horário de combustível, L h⁻¹;

c – consumo de combustível na parcela experimental mL; e

t – tempo gasto na parcela experimental, s.

O consumo de combustível por área foi calculado por meio da seguinte equação:

$$C = \frac{Ch}{C_o} \quad (18)$$

em que

C – consumo de combustível por área, L ha⁻¹;

Ch – consumo horário, L ha⁻¹; e

C_o – capacidade operacional teórica, ha h⁻¹.

3.10. Capacidade de recolhimento

Durante o processo de recolhimento, foi determinada a capacidade de recolhimento que a máquina desenvolveria em determinado tempo.

A capacidade de recolhimento foi obtida a partir da relação entre a massa de grãos recolhidos (kg) e o tempo gasto no percurso (s).

Por meio da Equação 19, chegou-se ao resultado, em $t h^{-1}$:

$$C_r = 3,6 \times \left(\frac{M}{T} \right) \quad (19)$$

em que

C_r – capacidade de recolhimento, $t h^{-1}$;

M – massa dos grãos recolhidos, kg; e

T – tempo de recolhimento, s.

3.11. Perdas

Para avaliação das perdas ocasionadas durante o processo de recolhimento, utilizou-se a metodologia descrita por BALASTREIRE (1990). Antes de iniciar o arranquio do feijoeiro, foram avaliadas as perdas naturais que ocorreram na área. Para isso, utilizou-se uma armação de 2 m^2 . Os grãos ou vagens caídos no solo, sob a armação, foram separados e pesados.

O valor das perdas naturais foi obtido pela razão entre a massa de grãos perdidos naturalmente e a área da armação, de acordo com a Equação 20.

$$P_n = 10 \times \left(\frac{M_n}{A_a} \right) \quad (20)$$

em que

P_n – perdas naturais, $kg ha^{-1}$;

M_n – massa de grãos perdidos naturalmente, g; e

A_a – área da armação, m^2 .

Após o arranquio e enleiramento, determinou-se a perda provocada por este processo. O feijão enleirado foi retirado do local, onde se instalou a armação, para se fazer a coleta dos grãos.

As perdas no arranquio e enleiramento foram obtidas subtraindo-se do peso encontrado as perdas naturais (Equação 21).

$$P_a = 10 \times \left(\frac{M_a}{A_a} \right) - P_n \quad (21)$$

em que

P_a – perdas no arranquio e enleiramento, kg ha⁻¹; e

M_a – massa de grãos perdidos no arranquio e enleiramento, g.

Em seguida, determinaram-se as perdas ocorridas na plataforma de recolhimento. Durante esta etapa, a máquina teve sua operação interrompida, dando-se marcha-à-ré a uma distância igual ao seu comprimento.

A armação foi colocada em frente à recolhedora, e o valor das perdas na plataforma de recolhimento foi obtido subtraindo-se do valor adquirido as perdas naturais e as perdas no arranquio e enleiramento, de acordo com a Equação 22.

$$P_r = 10 \times \left(\frac{M_r}{A_a} \right) - P_n - P_a \quad (22)$$

em que

P_r – perdas na plataforma de recolhimento, kg ha⁻¹; e

M_r – massa de grãos perdidos após a passagem do cilindro recolhedor, g.

O próximo passo foi avaliar as perdas totais da recolhedora. Nesta etapa, colocou-se a recolhedora para fazer o trabalho normalmente e, após a sua passagem, posicionou-se a armação na parte traseira da máquina, uma vez que a palhada é descarregada por essa parte.

As perdas totais foram determinadas por meio da Equação 23.

$$P_t = 10 \times \left(\frac{M_t}{A_a} \right) \quad (23)$$

em que

P_t – perdas totais, kg ha⁻¹; e

M_t – massa total de grãos perdidos, g.

Durante a avaliação da perda total, os grãos que ficaram presos dentro das vagens foram separados, debulhados manualmente e pesados, para então se analisarem as perdas no processo de trilha, ou seja:

$$P_{st} = 10 \times \left(\frac{M_{st}}{A_a} \right) \quad (24)$$

sendo

P_{st} – perdas no sistema de trilha, kg ha⁻¹; e

M_{st} – massa de grãos perdidos no sistema de trilha, g.

Finalmente, procedeu-se à determinação das perdas no sistema de separação e limpeza, subtraindo das perdas totais as perdas ocorridas no arranquio e enleiramento, na plataforma de recolhimento e no sistema de trilha (Equação 25).

$$P_s = P_t - P_a - P_r - P_{st} \quad (25)$$

em que

P_s – perdas na separação e limpeza, kg ha⁻¹.

3.12. Avaliação do nível de ruído

3.12.1. Metodologia para avaliação do ruído

O conjunto trator-recolhedora foi avaliado nas condições em que se encontravam em jornada de trabalho.

Os níveis de ruído foram determinados com um decibelímetro da marca MINIPA, nos circuitos de resposta lenta (slow) e de equalização “A”, utilizando-se a escala de medida decibel (dBA).

As determinações dos níveis de ruído foram baseadas na NBR – 9.999 (ABNT, 1987), “Medição do nível de ruído, no posto de operação, de tratores e máquinas agrícolas”, e NBR – 10400 (ABNT, 1988), “Tratores Agrícolas - Determinação das Características Técnicas e Desempenho”.

Foi estabelecida a média de 10 leituras sucessivas durante o processo de recolhimento, tomando-se esta média como resultado.

Embora as condições de operação tenham diferido daquelas prescritas pela norma, todos os procedimentos de medida nela fixados puderam ser cumpridos, conforme verificado por FERNANDES (1991), LIMA (1998) e VITÓRIA (2000).

Os níveis de ruído foram analisados quando o conjunto trator-recolhedora estavam realizando o ciclo operacional, estando o aparelho localizado próximo ao ouvido do operador e próximo ao cilindro recolhedor da máquina e à saída da palhada.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

O desempenho de uma recolhadora-trilhadora de feijão foi avaliado em duas áreas, uma plana e outra inclinada. A produtividade média da área plana foi estimada em 480 kg ha^{-1} , ou $8,0 \text{ sacos ha}^{-1}$, e a da área inclinada o foi em 500 kg ha^{-1} , ou $8,3 \text{ sacos ha}^{-1}$.

Existem muitas variáveis envolvidas na avaliação de um conjunto trator-recolhedora que não estão mencionadas. Foram consideradas a estabilidade transversal do conjunto; a capacidade operacional teórica e o consumo de combustível demandado; a capacidade de recolhimento; as perdas ocasionadas durante o processo de recolhimento; e os níveis de ruído emitido pelo conjunto trator-máquina durante as operações de recolhimento.

4.1. Estimativa da estabilidade transversal

As coordenadas do centro de gravidade do conjunto trator e recolhadora utilizados no ensaios, para estimar a estabilidade transversal, encontram-se no Quadro 1.

Quadro 1 – Coordenadas do centro de gravidade (CG) do trator e da recolhedora

Máquina	Coordenadas (mm)		
	X_1	Y_1	Z_1
Recolhedora	436	906,51	-92
Trator	X_2	Y_2	Z_2
	1.070	1.100	0

A estabilidade transversal estimada para o ângulo α na condição dinâmica de tráfego foi considerada como 50% do valor do ângulo obtido na condição estática.

Para a recolhedora, foi determinada uma inclinação-limite de $21,38^\circ$, equivalente a 39% de declividade. Já para o trator, o valor determinado foi de $17,50^\circ$, equivalente a 31% de declividade. A operação realizada com o trator proporciona maior instabilidade transversal. Por isso, deve-se recomendar, com restrição, o tráfego do trator carregado transversalmente à inclinação do terreno.

Apesar de o ângulo de inclinação apresentado pela recolhedora ser relativamente alto, este não deve ser tomado como indicador, pois o desempenho e a segurança do trabalho dependerão do ângulo de inclinação do trator, que é a máquina motriz. Sendo o trator mais pesado, ele poderá tombar antes de chegar ao ponto de tombamento da recolhedora.

Os ângulos-limite determinados para o tráfego com segurança em terrenos de topografia acidentada, para o conjunto, são um indicador apenas para se avaliar se a recolhedora teria condições de acompanhar o ângulo-limite do terreno, perante o ângulo estipulado para o trator. Este fato não minimiza os problemas de saúde causados aos operadores, relacionados à sua postura durante o ciclo operacional, nem mesmo influencia o resultado final da produção.

4.2. Capacidade operacional

Apresentam-se no Quadro 2 as médias das capacidades operacionais nas declividades e velocidades, separadamente, uma vez que não houve interação entre essas duas variáveis. Observou-se que, independentemente da declividade, a velocidade de 3,0 km h⁻¹ proporcionou maior capacidade operacional. Isso devido ao fato de esse parâmetro variar em função da velocidade operacional e da largura efetiva do equipamento. A recolhadora diminuiu seu desempenho na medida em que a declividade aumentou, porém mantendo ainda boa média.

Quadro 2 – Médias da capacidade operacional em ha h⁻¹

Declividade (%)	Capacidade Operacional
0-10	0,61 (A)
10-20	0,59 (AB)
20-30	0,56 (B)
Velocidade (km h ⁻¹)	
2,0	0,47 (C)
2,5	0,58 (B)
3,0	0,71 (A)

* Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

Nesta avaliação, é válido ressaltar que a largura efetiva do equipamento poderá mudar de acordo com o número de fileiras nas leiras e com o espaçamento entre as linhas do feijoeiro na cultura, influenciando assim o resultado da capacidade operacional. Neste teste, foi adotada uma largura útil de 2,5 m, equivalente a cinco fileiras e espaçamento de 0,5 m entre elas.

4.3. Consumo de combustível

Durante os testes de campo, foi determinado o consumo horário de combustível, que, segundo SILVA (1992), pode ser indicativo da demanda energética de uma operação.

Pode-se observar, no Quadro 3, que o aumento na velocidade e na declividade induziu a maiores valores no consumo horário de combustível, corroborando os estudos de SUMMERS et al., (1986), que chegaram à conclusão de que pequenas mudanças na velocidade operacional podem afetar o consumo horário de combustível e a energia requerida para o trabalho.

Quadro 3 – Médias do consumo horário de combustível em L h⁻¹

Declividade (%)	Velocidade (km h ⁻¹)			Médias
	2,0	2,5	3,0	
0-10	4,32 (Ba)	4,61 (Bb)	5,57 (Ab)	4,84 (b)
10-20	4,47 (Ba)	5,03 (Bb)	6,38 (Aa)	5,29 (a)
20-30	4,00 (Ca)	5,69 (Ba)	6,72 (Aa)	5,47 (a)
Médias	4,26 (C)	5,11 (B)	6,22 (A)	

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

O trator apresentou maior consumo horário operando na velocidade de 3,0 km h⁻¹, a uma faixa de declividade de 20 a 30%. Assim, de acordo com SILVA (1992), observou-se menor demanda energética do trator ao se trabalhar a 2 km h⁻¹. Nesta velocidade, não se observou diferença significativa entre as declividades estudadas.

Para o consumo de combustível gasto por área (L ha⁻¹), observou-se, por meio da análise de variância, que as interações entre as declividades e velocidades utilizadas foram significativas a 5% de probabilidade.

Observa-se, no Quadro 4, que não houve diferença significativa entre as médias de velocidade e declividade, as quais apresentaram valores muito próximos. Também, não foi estatisticamente significativa a diferença entre os valores de declividade, para as médias do consumo de combustível por área.

A média diminui à medida que se aumentou a velocidade. Isso se deve ao fato de, durante a realização dos testes, a rotação do motor do trator ter sido mantida em 1.700 rpm, para atender à condição de 540 rpm exigida pela máquina na TDP, alterando-se apenas a velocidade operacional. Com o aumento da velocidade operacional e considerando-se como relativamente baixo o esforço de tração exigido, o consumo por ha foi reduzido.

Quadro 4 – Médias do consumo de combustível por área trabalhada em L ha⁻¹

Declividade (%)	Velocidade (km h ⁻¹)			Médias
	2,0	2,5	3,0	
0-10	9,78 (Aa)	8,47 (Ba)	7,88 (Bb)	8,71 (a)
10-20	9,31 (Aa)	8,56 (Aa)	9,16 (Aa)	9,01 (a)
20-30	7,95 (Bb)	9,32 (Aa)	9,26 (Aa)	8,84 (a)
Médias	9,01 (A)	8,78 (A)	8,77 (A)	

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.4. Capacidade de recolhimento

Por meio da análise de variância (Quadro 5), verificou-se que as interações entre as declividades e velocidades utilizadas foram significativas a 5% de probabilidade.

Observou-se aumento na capacidade de recolhimento da máquina com a elevação da velocidade de operação em todos os casos. O melhor desempenho foi obtido para declividade de 0 a 10% a 3 km h⁻¹, com 2,77 t h⁻¹, equivalente a 46 sacos por hora.

Havia decréscimo nos valores das médias a partir do momento em que se aumentava a declividade, decorrido das possíveis perdas obtidas. Apesar dessas perdas, o menor valor encontrado, 2,49 t h⁻¹ (41 sacos h⁻¹), encontra-se dentro da faixa de produtividade registrada pelo fabricante.

As médias de capacidade de recolhimento variam de acordo com a produtividade de grãos por hectare, a formação das leiras de feijão e a topografia do terreno.

Quadro 5 – Médias da capacidade de recolhimento da máquina em t h⁻¹

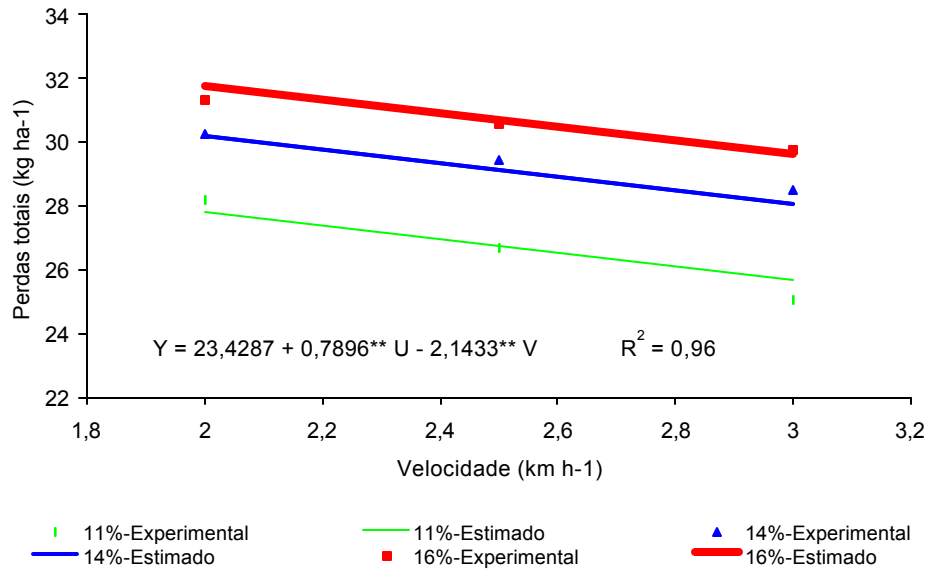
Declividade (%)	Velocidade (km h ⁻¹)			Médias
	2,0	2,5	3,0	
0-10	2,54 (Ba)	2,59 (Ba)	2,77 (Aa)	2,63 (a)
10-20	2,50 (Ba)	2,56 (Ba)	2,67 (Ab)	2,58 (ab)
20-30	2,49 (Aa)	2,50 (Aa)	2,52 (Ac)	2,50 (b)
Médias	2,51 (B)	2,55 (B)	2,65 (A)	

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.5. Perdas

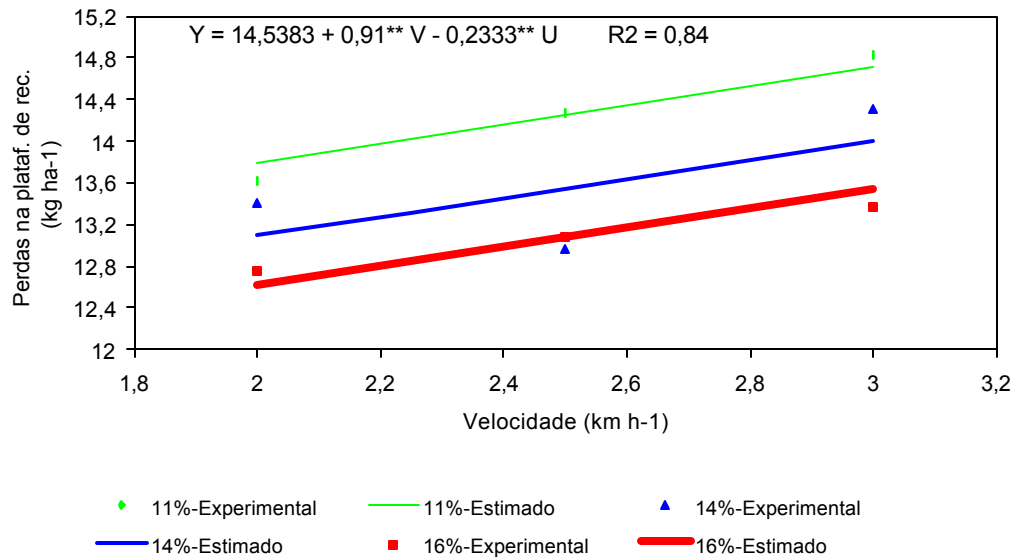
A perda natural e aquelas ocorridas no arranquio e enleiramento, bem como no sistema de trilha, foram desconsideradas, pois, somadas, não ultrapassaram 1% da perda total. Apesar disso, é importante ressaltar que, visualmente, houve tendência a menores perdas no sistema de trilha, com menor umidade dos grãos, devido à maior facilidade de debulha.

Para estudar o comportamento das perdas totais, na plataforma de recolhimento e no sistema de separação e limpeza, em função da umidade dos grãos e da velocidade de deslocamento da máquina, foram feitos cortes nos modelos de superfície de resposta ajustados, conforme apresentado nas Figuras 11, 12 e 13.



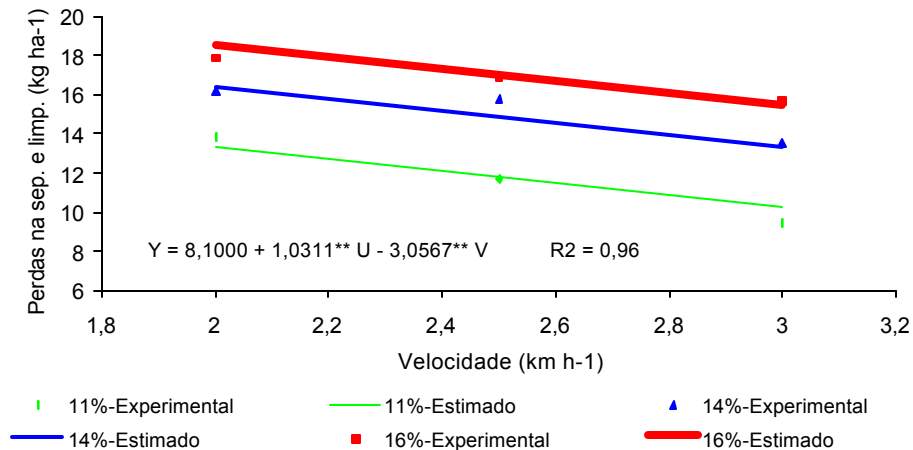
** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t

Figura 11 – Estimativa das perdas totais em função da velocidade de deslocamento da máquina, para as unidades de 11, 14 e 16%.



** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t

Figura 12 – Estimativa das perdas na plataforma de recolhimento em função da velocidade de deslocamento da máquina, para as unidades de 11, 14 e 16%.



** Significativo a 1% de probabilidade, pelo teste t

Figura 13 – Estimativa das perdas na separação e limpeza em função da velocidade de deslocamento da máquina, para as umidades de 11, 14 e 16%.

De acordo com os resultados de perda total, verificou-se diminuição das perdas com o incremento da velocidade de deslocamento da máquina (Figura 11).

Após a análise dos dados representados, verificou-se que os testes com teor de umidade de 11,0% apresentaram menores valores de perda total do que os testes com teores de umidade de 14,0% e 16,0%. Os menores valores obtidos foram 5,2% (25,0 kg ha⁻¹), para teor de umidade de 11%; 5,94% (28,5 kg ha⁻¹), para 14%; e, finalmente, 6,2% (29,77 kg ha⁻¹), para 16% de umidade.

De acordo com GRIFFIN (1991), os resultados aproximam-se do nível aceitável de perda na colheita mecânica, que se encontra no intervalo de 3 a 5%, sendo a umidade de 11% o melhor ponto para se trabalhar.

A produtividade e o número de leiras são fatores importantes na determinação dos valores de perda, pois influenciam diretamente a taxa de alimentação da máquina. Neste experimento, apresentam-se dados para a produtividade de apenas 480 kg ha⁻¹ e cinco leiras.

Considerando as perdas na plataforma de recolhimento e analisando os dados da Figura 12, nota-se que a perda na plataforma aumenta na medida em que a velocidade de deslocamento também aumenta.

O aumento de perda na plataforma com a elevação da velocidade de deslocamento da máquina deve-se ao fato de a rotação do recolhedor ser função direta da rotação do cilindro trilhador e não do deslocamento da máquina. Isso fez com que o recolhedor empurrasse a leira para frente, formando um amontoado de material que, quando recolhido, era pressionado pela esteira elevadora contra a base da plataforma, provocando, então, a deiscência das vargens mais secas.

O menor valor de perda na plataforma foi de 12,75 kg ha⁻¹, obtido com a velocidade de 2 km h⁻¹, e o maior foi de 14,83 kg ha⁻¹, com velocidade de 3,0 km h⁻¹.

Observaram-se menores valores de perda na plataforma de recolhimento no experimento com teor de umidade de 16,0%, pois, quanto maior o teor de umidade, menor a facilidade de deiscência das vargens.

Finalmente, para o sistema de separação e limpeza (Figura 13), em virtude de ser muito influenciado pela taxa de alimentação do sistema e pelo teor de umidade do grão, dentre outros fatores, torna-se importante a avaliação das perdas ocorridas.

Verificou-se, nos três níveis de umidade, que a perda decresceu com o aumento da velocidade de deslocamento da máquina. As menores perdas foram observadas no experimento com teor de umidade de 11,0%, obtendo-se valores de 13,88; 11,72; e 9,51 kg ha⁻¹, para as velocidades de deslocamento de 2,0; 2,5; e 3,0 km h⁻¹, respectivamente.

De acordo com os resultados apresentados, observou-se que houve aumento no valor da perda com o aumento da umidade, provando, de acordo com SINGH e SINGH (1981) e BOLLER et al. (1998), que, quanto menor o teor de umidade de colheita, maior a facilidade de debulha das vargens.

No processo de limpeza, a perda é muito influenciada pelo fluxo de ar do ventilador, pois menor quantidade de material passando pelo sistema de limpeza faz com que o ventilador forneça maior vazão de ar, visto que a resistência à passagem do ar torna-se menor. No entanto, quanto maior a taxa

de alimentação da máquina, maior deve ser o fluxo de ar, sem que este ultrapasse a velocidade terminal dos grãos.

A maior perda ocorreu no sistema de separação e limpeza, representando 50,0% da perda total da recolhedora, seguida pela perda na plataforma de 48%. As perdas no arranquio e enleiramento, bem como no sistema de trilha, somadas não chegaram a 2%.

4.6. Nível de ruído

4.6.1. Ruído próximo ao ouvido do operador

De acordo com o Quadro 6 e por meio da análise de variância, verificou-se que as interações entre as declividades e velocidades utilizadas foram significativas a 5% de probabilidade.

Quadro 6 – Médias dos níveis de ruído obtidas com o aparelho posicionado próximo ao ouvido do operador, em dBA

Declividade (%)	Velocidade (km h ⁻¹)			Médias
	2,0	2,5	3,0	
0-10	93,33 (Ab)	91,38 (Bb)	92,20 (Ab)	92,30 (b)
10-20	94,15 (Ab)	92,60 (Bb)	91,43 (Ba)	92,72 (b)
20-30	96,62 (Aa)	95,35 (Aa)	91,57 (Ba)	94,52 (a)
Médias	94,70 (A)	93,11 (B)	91,73 (C)	

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

A maior média de nível de ruído próximo ao ouvido do operador ocorreu ao se utilizar menor velocidade e maior declividade, obtidas com a mesma rotação do motor.

4.6.2. Ruído próximo ao cilindro recolhedor da máquina

Pela análise de variância, verificou-se que as interações entre as declividades e velocidades utilizadas foram significativas a 5% de probabilidade. Nesse caso, não se observaram diferenças significativas entre as médias dos níveis de ruído em função da declividade (Quadro 7). Quanto à velocidade, houve maior média do nível de ruído com menor velocidade.

Quadro 7 – Médias dos níveis de ruído obtidas com o aparelho posicionado próximo ao cilindro recolhedor da máquina, em dBA

Declividade (%)	Velocidade (km h ⁻¹)			Médias
	2,0	2,5	3,0	
0-10	94,25 (Aa)	93,15 (Aa)	91,80 (Ba)	93,07 (a)
10-20	94,70 (Aa)	93,80 (Aa)	92,47 (Ba)	93,66 (a)
20-30	95,23 (Aa)	94,45 (Aa)	91,12 (Bb)	93,60 (a)
Médias	94,72 (A)	93,80 (B)	91,80 (C)	

* Médias seguidas pelas mesmas letras maiúsculas na horizontal e pelas mesmas letras minúsculas na vertical não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.6.3. Ruído próximo à saída da palhada

No Quadro 8, apresentam-se os resultados das médias dos níveis de ruído nas declividades e velocidades, separadamente, já que não houve interação entre essas duas variáveis, conforme a análise de variância.

As maiores médias dos níveis de ruído ocorreram com maior declividade e menor velocidade, evidenciando-se a tendência de elevação do nível de ruído em função do aumento da declividade e da diminuição da velocidade.

Quadro 8 – Médias dos níveis de ruído obtidas com o aparelho posicionado próximo à saída da palhada, em dBA

Declividade (%)	Nível de Ruído
0-10	93,27 (C)
10-20	94,08 (B)
20-30	95,15 (A)
Velocidade (km h ⁻¹)	
2,0	95,03 (A)
2,5	94,32 (B)
3,0	93,15 (C)

* Médias seguidas pelas mesmas letras não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

4.6.4. Comparação dos níveis de ruído emitido

Comparando todos os valores (Quadro 9), observa-se maior nível de ruído próximo à traseira da máquina. Isso se deve ao fato de o rolo batedor e o sistema de limpeza e descarga da palhada se localizarem na traseira da máquina.

A maior declividade e menor velocidade apresentaram maior nível de ruído em todos os casos.

Os níveis de ruído ultrapassaram o limite estipulado de 85 dBA para uma exposição máxima diária de oito horas sem protetores auriculares, sendo esses níveis causadores de grande desconforto ao operador.

Quadro 9 – Médias dos níveis de ruído obtidas nos três casos, em dBA

Local de Medida	Declividade (%)			Velocidade (km h ⁻¹)		
	0-10	10-20	20-30	2,0	2,5	3,0
Próximo ao ouvido do operador	92,30 (B)	92,72 (B)	94,52 (A)	94,70 (a)	93,11 (b)	91,73 (c)
Próximo ao rolo recolhedor	93,07 (A)	93,66 (A)	93,60 (A)	94,72 (a)	93,80 (b)	91,80 (c)
Próximo à saída da palhada	93,27 (C)	94,08 (B)	95,15 (A)	95,03 (a)	94,32 (b)	93,15 (c)

* Médias seguidas pelas mesmas letras na horizontal não diferem entre si, a 5% de probabilidade, pelo teste de Tukey.

5. RESUMO E CONCLUSÕES

Este trabalho foi realizado utilizando-se a recolhedor-trilhadora de feijão da marca NUX MAQUINAGRICOLA, modelo RXT 350, no recolhimento de feijão em áreas selecionadas no município de Viçosa-MG. Avaliou-se o desempenho da máquina na região, visando a uma exploração mais segura e econômica das pequenas propriedades agrícolas.

Pelos resultados apresentados e nas condições em que se desenvolveu este trabalho, conclui-se que:

- O ângulo-limite de $21,38^\circ$, correspondente à 39% de declividade, para o tráfego transversal da recolhedor apresentou resultados satisfatórios, coerentes com a máquina que a estava tracionando.
- A capacidade operacional aumentou com o incremento da velocidade da máquina, contudo houve pequena diminuição com o aumento da declividade.
- O consumo de combustível, em $L\ ha^{-1}$, não apresentou diferença significativa entre os valores, para quaisquer declividades analisadas.
- Houve aumento no consumo horário ($L\ h^{-1}$) com o incremento da velocidade e declividade, indicando maior demanda energética.
- O ponto ótimo de capacidade de recolhimento foi alcançado trabalhando-se com maior velocidade e em menor declividade, porém todos os valores alcançados estiveram dentro da faixa estipulada pelo fabricante.

- As perdas no sistema de trilha representaram 0,5% da perda total, havendo, porém, tendência de maiores perdas no experimento com maiores umidades, devido à maior dificuldade de degrana.
- A maior perda ocorreu no sistema de separação e limpeza, seguida pela perda na plataforma.
- Todos os valores de perdas estiveram dentro da faixa alcançada por outros autores.
- Os níveis de ruído foram superiores ao limite de 85 dBA para oito horas de exposição diária, estabelecido pela NR-15, sendo as maiores médias as obtidas na parte traseira da máquina.

REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 9999-
Medição do Nível de Ruído, no Posto de Operação de Tratores e Máquinas Agrícolas. 1987.
- ABNT – ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS - NBR 10400-
Tratores Agrícolas – Determinação das Características Técnicas e Desempenho. 1988.
- BALASTREIRE, L. A. **Máquinas agrícolas.** São Paulo, SP: Manole, 1990. 310 p.
- BOLLER, W.; KLEIN, V. A.; PANISSON, E. Perdas na colheita mecanizada de soja em função de diferentes níveis de umidade dos grãos. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 27, Poços de Caldas, MG, Brasil. **Resumos...** Poços de Caldas, MG, 1998. p. 310-312.
- BURT, E.C.; BAILEY, P W. L. ; MEIRING, P. Ballast and inflation effects on tire tractive. **Transaction of the ASAE**, Saint Joseph, v.26, n.5, p. 1352-1354, 1983.
- CHUDAKOV, D. A. **Fundamentos de la teoria y el cálculo de tractores y automóveis.** Moskow, Mir Publishers. 1977. 435 p.
- CONTO, A. J. de; VIEIRA, E. H. N.; OLIVEIRA, E. T. de; PORTES e CASTRO, T. de A. **Aspectos técnicos e econômicos da colheita mecânica e manual do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.).** Goiânia: EMBRAPA – CNPAF, 1980. 18 p. (EMBRAPA – CNPAF. Circular Técnica, 2).
- DELGADO, L. M. **El tractor agrícola características y utilizacion.** Madrid, Espanha. Laboreo Solotractor. 1991. 235 p.

- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA. **Programa nacional de pesquisa de feijão**. Brasília: EMBRAPA – DID, 1981. 117 p.
- EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA / Serviço de produção de informação (Brasília, DF). **Recomendações técnicas para o cultivo do feijão**. Brasília: EMBRAPA, 1993. 93 p.
- FERNANDES, J. C., **Avaliação dos níveis de ruído em tratores agrícolas e seus efeitos sobre o operador**. Botucatu: UNESP, 1991. 192 f. Tese (Doutorado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, 1991.
- FERNANDES, J. C.; SANTOS, J. E. G.; ANDREATA, J. A. Influência do implemento no ruído de operações agrícolas In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 20, 1991, Londrina, PR. **Anais...** Londrina, PR: SBEA, 1991. p 47-49.
- FUNDACENTRO – **Manual de segurança, higiene e medicina do trabalho rural**. São Paulo: 1979. 84 p.
- GRIFFIN, G. A. **Combine harvesting: operating maintaining and improving efficiency of combines**. Fourth Edition. Fundamentals of Machine Operation. Illinois, EUA: John Deere & Company/Malone, 1991. 207 p.
- IBGE – INSTITUTO BRASILEIRO DE GEOGRAFIA E ESTATÍSTICA – **Levantamento Sistemático da Produção Agrícola – LSPA – 05/03/2001**. Disponível em: <http://www.ibge.gov.br/ibge/estatistica/indicadores/agropecuaria/LSPA/default.shtm>.
- KAHIL, M. A. **Avaliação ergonômica dos níveis de ruído de alguns tratores e equipamentos agrícolas de fabricação nacional**. Botucatu: UNESP, 1995. 66 f. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, 1995.
- LAUX, G. E. C.; LOUREIRO, R. V.; SOUZA, M. G. C.; CAMIZÃO, S. M. Projeto ANERS (Avaliação do nível de exposição ao ruído social). **Ver. Eng. Ciênc. Tecnol.**, v.1, n. 10, p. 65 – 82, 1999.
- LIMA, J. S. S. **Avaliação da força de arraste, compactação do solo, e fatores ergonômicos num sistema de colheita de madeira, utilizando os tratores florestais “Feller-Buncher” e “Skidder”**. Viçosa-MG: UFV, Impr. Univ., 1998. 132 f. Tese (Doutorado em Ciência Florestal) – Universidade Federal de Viçosa, 1998.
- LOLLATO, M. A. Colheita, processamento e armazenamento. In: FUNDAÇÃO INSTITUTO AGRONÔMICO DO PARANÁ – IAPAR. **O feijão no Paraná**. Londrina: IAPAR, 1989. p. 281-303. (CIRCULAR IAPAR, 63).

- MATTOS, P. C.; HERMANN, P. R.; CAPELLI, N. L. Estudo comparativo de desempenho do trator agrícola empregando óleo diesel e mistura de etanol/óleo de mamona como combustíveis. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 11, 1981, Brasília, DF. **Anais...** Brasília, DF: SBEA, 1981. p 1083-1085.
- MIALHE, L. G. **Máquinas motoras na agricultura**. Vol. 2. São Paulo: EDUSP, 1980. v.2, 367 p.
- MOREIRA, R. F. **Desenvolvimento de um cortador/enleirador de feijão e avaliação do efeito da velocidade de operação no seu desempenho**. Viçosa-MG: UFV, Impr. Univ., 1997. 60 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1997.
- NAGAOKA, A. K. **Desenvolvimento de dois tipos de cortadores-arrancadores de feijão e avaliação de seus desempenhos em cultivar com crescimento do tipo III**. Viçosa-MG: UFV, Impr. Univ., 1995. 50 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 1995.
- POMPEU, A.S. Melhoria do feijoeiro. In: FUNDAÇÃO CARGIL. **Feijão, fatores de produção e qualidade**. Campinas: Fundação Cargil, 1987. p. 1-28.
- PORTELLA, J. A. Perdas de trigo, de soja e de milho x umidade do grão durante a colheita mecanizada. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 26, Campina Grande, PB, Brasil. **Resumos...** Campina Grande, 1997. (CD Rom).
- PORTELLA, A. J. **Colheita de grãos mecanizada. Implementos, manutenção e regulagem**. Viçosa, MG, Editora Aprenda Fácil. 2000. 190 p.
- POPINIGS, F. **Fisiologia da semente**. Brasília: AGIPLAN, 1977. 289 p.
- RIPOLI, T. C. C. Ensaio e certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: ensaios e certificações**. Piracicaba, SP: FEALQ, 1996. p.636-674.
- ROCHA, J. A. M. Colheita. In: ZIMMERMANN, M. J. de O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988. p. 341-344.
- SEGUY, L.; KLUTHCOUSKI, J.; SILVA, J. G.; BLUMENSCHNEIN, F.N.; DALL'ACQUA, F. M. **Técnicas de preparo do solo; efeitos na fertilidade e na conservação do solo nas ervas daninhas e na conservação da água**. Goiânia: EMBRAPA-CNPAF, 1984. 26 p. (EMBRAPA-CNPAF. Circular Técnica, 17).

- SILVA, C. C.; BEVITORI, R. Colheita e beneficiamento de feijão. **Informe Agropecuário**, Belo Horizonte, v.17, n.178, p.63-65, 1994.
- SILVA, J. G. da. **Avaliação do sistema de colheita do feijoeiro em diferentes teores de umidade de grãos e regulagens de equipamentos de trilha**. Goiânia: EMBRAPA/CNPAF, 1985. 19 p. (Projeto de Pesquisa, Form 12 e 13).
- SILVA, J. G. colheita mecânica. In: ZIMMERMANN, M. J. de O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**, Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988. p. 345-356.
- SILVA, J. G. **Ordens de gradagens e sistemas de aração do solo, desempenho operacional, alterações na camada mobilizada e respostas do feijoeiro (*Phaseolus vulgaris* L.)** Botucatu, SP: UNESP, 1992. Tese (Doutorado em Agronomia, Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista, 1992.
- SILVA, J. S.; QUEIROZ, D. M. Colheita, trilha, secagem e armazenagem. In: VIEIRA, C.; DE PAULA JÚNIOR, T. J.; BORÉM, A. **Feijão – Aspectos Gerais e cultura no Estado de Minas**. Viçosa, MG: UFV, 1998. p. 559-585.
- SINGH, K. N.; SINGH, B. Effect of crop and machine parameters on threshing effectiveness and seed quality of soybean. **Journal of Agricultural Engineering Research**, v.26, p. 349-355, 1981.
- SOUZA, C. M. A. **Avaliação e simulação do desempenho de uma colhedora de fluxo axial para feijão (*Phaseolus Vulgaris* L.)**. Viçosa-MG: UFV, Impr. Univ., 2001. 113 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2001.
- SUMMERS, J. D.; KHALILIAN, A.; BATCHELDER, D. G. Draft relationships for primary tillage in Oklahoma soils. **Transactions of the ASAE**, Saint Joseph, v. 29, n. 1, p. 37-39, 1986.
- VITÓRIA, E. L. **Avaliação do nível de ruído emitido por tratores em diferentes operações agrícolas**. Viçosa-MG: UFV, Impr. Univ., 2000. 76 f. Dissertação (Mestrado em Engenharia Agrícola) – Universidade Federal de Viçosa, 2000.
- ZANDER, J. **Ergonomics in machine design: a case study of the self propelled combine harvester**. Wageningen: Veenman e Zonen, 1972. 161p.
- ZIMMERMANN, M. J. de O.; TEIXEIRA, M. G. Origem e evolução. In: ZIMMERMANN, M. J. de O.; ROCHA, M.; YAMADA, T. **Cultura do feijoeiro: fatores que afetam a produtividade**. Piracicaba, SP: Associação Brasileira para Pesquisa da Potassa e do Fosfato, 1988.

ZOPPELLO, G.; MONARCA, D.; CECCHINI, M. Aziende agricole, il rischio da rumore ed il D. Lgs 277/91. **Riv. Macchine e Motori Agricoli**, v.2, n.10, p. 9-16, 1995.

APÊNDICES

APÊNDICE A

Especificações Técnicas da Recolhedora

Fabricante: Nux Metalúrgica Ltda

Marca: RXT-350

N.º da série: SE 0966

Ano de Fabricação: 1999

Medidas dos Pneus Traseiros:

Tipo.....7,50 – 16
Raio estático do pneu traseiro (r_1).....370 mm

Medidas da Máquina:

Bitola traseira (a_1).....1.860 mm
Distância entre o eixo traseiro e o apoio frontal (L).....2.800 mm
Projeção da coordenada horizontal longitudinal (X_1)287,6 mm
Projeção horizontal entre eixos, quando elevados (L_1).....2.710 mm
Altura da elevação da parte frontal, (h).....700 mm

Massa da Máquina:

Reação do solo contra o apoio frontal (R_1).....264 kg
Reação do solo contra o lado direito da máquina (R_3).....632 kg
Reação do solo contra o lado esquerdo da máquina (R_4).....800 kg
Reação do solo contra o apoio frontal inclinado (R_7)..... * 180 kg
Massa total (W_1).....1.696 kg

* R_7 = reação total (240 kg) – Massa do suporte (60 kg)

Coordenadas do Centro de Gravidade:

X.....436 mm
Z.....906,51mm
Y.....-92 mm

APÊNDICE B

Especificações Técnicas do Trator Utilizado

Fabricante: Massey Ferguson

Medidas dos pneus traseiros:

Tipo.....18,4 – 30
Raio estático do pneu traseiro (r_2).....778 mm

Medidas do Trator:

Bitola traseira (a_2).....1.540 mm
Distância entre o eixo traseiro e o dianteiro (D).....2.370 mm
Projeção da coordenada horizontal longitudinal (X_2).....921,3 mm
Projeção horizontal entre eixos, quando elevado (D_1).....2.250 mm
Altura da elevação da parte frontal (h_1).....730 mm
Reação do solo contra o eixo dianteiro (R_2).....1.422 kg
Reação do solo contra o lado direito da máquina (R_5).....1.580 kg
Reação do solo contra o lado esquerdo da máquina (R_6).....1.580 kg
Reação do solo contra o apoio frontal inclinado (R_8).....* 1.294 kg
Massa total (W_1).....3.160 kg

* R_8 = reação total (1.384 kg) – Massa do suporte (90 kg)

Coordenadas do Centro de Gravidade:

X.....1.070 mm
Z.....1.100 mm
Y.....0.000 mm

APÊNDICE C

Quadro 1C – Análise de variância dos resultados encontrados para a capacidade operacional teórica

CAPACIDADE OPERACIONAL TEÓRICA						
FONTE DE VARIÇÃO	GL	SOMA DE QUADRADO	QUADRADO MÉDIO	F	SIGNIF.	
Total	35	0,37756				
Redução	17	0,36494	0,02146	30,63	0,0000	
Bloco	3	0,01134	0,00378	5,14	0,0097	
D	2	0,01500	0,00750	10,19	0,0011	
ERRO A	6	0,00441	0,00073			
V	2	0,33017	0,16508	235,53	0,0000	
VXD	4	0,00401	0,00100	1,43	0,2644	
Resíduo	18	0,01261	0,00700			

Coefficiente de variação = 4,502.

Quadro 2C – Análise de variância dos resultados encontrados para o consumo de combustível por área trabalhada

CONSUMO DE COMBUSTÍVEL POR ÁREA TRABALHADA					
FONTE DE VARIÇÃO	GL	SOMA DE QUADRADO	QUADRADO MÉDIO	F	SIGNIF.
Total	35	23,26886			
Redução	17	15,96207	0,93894	2,31	0,0431
Bloco	3	1,19594	0,39864	3,99	0,0242
D	2	0,53360	0,26680	2,67	0,0963
ERRO A	6	0,59897	0,09982		
V	2	0,465672	0,23283	0,57	*****
VXD	4	13,16788	3,29196	8,11	0,0006
Resíduo	18	7,30678	0,40593		

Coefficiente de variação = 7.1942.

Quadro 3C – Análise de variância dos resultados encontrados para o consumo horário de combustível

CONSUMO HORÁRIO DE COMBUSTÍVEL					
FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SOMA DE QUADRADO	QUADRADO MÉDIO	F	SIGNIF.
Total	35	32,77579			
Redução	17	30,70632	1,80625	15,71	0,0000
Bloco	3	1,19052	0,39684	3,36	0,0417
D	2	2,57428	1,28714	10,91	0,0008
ERRO A	6	0,70811	0,11801		
V	2	23,21411	11,60705	100,96	0,0000
VXD	4	3,01929	0,75482	6,57	0,0019
Resíduo	18	2,06946	0,11497		

Coefficiente de variação = 6,5199.

Quadro 4C – Análise de variância dos resultados encontrados para a capacidade de recolhimento

CAPACIDADE DE RECOLHIMENTO					
FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SOMA DE QUADRADO	QUADRADO MÉDIO	F	SIGNIF.
Total	35	0,41275			
Redução	17	0,36502	0,02147	8,1	0,0000
Bloco	3	0,03222	0,01074	1,25	0,3206
D	2	0,09990	0,04995	5,82	0,0112
ERRO A	6	0,051494	0,00858		
V	2	0,13375	0,06687	25,22	0,0000
VXD	4	0,04764	0,01191	4,49	0,0108
Resíduo	18	0,04773	0,00265		

Coefficiente de variação = 2,0046.

Quadro 5C – Análise de variância dos resultados encontrados para o nível de ruído próximo ao ouvido do operador

RUÍDO PRÓXIMO AO OUVIDO DO OPERADOR					
FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SOMA DE QUADRADO	QUADRADO MÉDIO	F	SIGNIF.
Total	35	131,9964			
Redução	17	121,2181	7,13047	11,91	0,0000
Bloco	3	5,59194	1,86398	2,42	0,0999
D	2	33,21722	16,60861	21,54	0,0000
ERRO A	6	4,62722	0,771203		
V	2	52,90056	26,45028	44,17	0,0000
VXD	4	24,88111	6,22027	10,39	0,0002
Resíduo	18	10,77833	0,59879		

Coefficiente de variação = 0,83045.

Quadro 6C – Análise de variância dos resultados encontrados para o nível de ruído próximo ao rolo recolhedor

RUÍDO PRÓXIMO AO ROLO RECOLHEDOR					
FONTE DE VARIAÇÃO	GL	SOMA DE QUADRADO	QUADRADO MÉDIO	F	SIGNIF.
Total	35	71,88750			
Redução	17	64,55750	3,79750	9,33	0,0000
Bloco	3	0,02972	0,00990	0,03	*****
D	2	2,55166	1,27583	3,92	0,0386
ERRO A	6	1,95277	0,32546		
V	2	53,64500	26,82250	65,87	0,0000
VXD	4	6,37833	1,59458	3,92	0,0185
Resíduo	18	7,33000	0,40722		

Coefficiente de variação = 0,68293.

Quadro 7C – Análise de variância dos resultados encontrados para o nível de ruído próximo à saída da palhada

RUÍDO PRÓXIMO À SAÍDA DA PALHADA					
FONTE DE VARIÇÃO	GL	SOMA DE QUADRADO	QUADRADO MÉDIO	F	SIGNIF.
Total	35	48,22000			
Redução	17	46,89500	2,75852	37,47	0,0000
Bloco	3	1,53555	0,51185	2,16	0,1287
D	2	21,40667	10,70333	45,08	0,0000
ERRO A	6	1,42444	0,23740		
V	2	21,68667	10,84333	147,31	0,0000
V X D	4	0,84166	0,21041	2,86	0,0538
Resíduo	18	1,32500	0,07361		

Coefficiente de variação = 0,28812.

Quadro 8C – Análises de variância e de regressão dos resultados encontrados para as perdas totais

PERDAS TOTAIS					
NOME	COEFICIENTE	DESVIO	T	PROBAB.	
CONSTANTE	23,4287				
U	0,789649	0,070946	11,1303	0,0000	
V	-2,14333	0,357087	-6,00227	0,0005	
FONTE DE VARIÇÃO	GL	SOMA DE QUADRADO	QUADRADO MÉDIO	F	SIGNIF.
Devido à regressão	2	30,58555	15,29278	79,96	0,0000
Independente da regressão	6	1,147601	0,191266		

$R^2 = 0,963836$.

R^2 ajustado = 0,951781.

Quadro 9C – Análises de variância e de regressão dos resultados encontrados para as perdas na plataforma de recolhimento

PERDAS NA PLATAFORMA					
NOME	COEFICIENTE	DESVIO	T	PROBAB.	
CONSTANTE	14,5383				
U	-0,23333	0,052078	-4,48038		0,0021
V	0,91000	0,262125	3,47163		0,0066
FONTE DE VARIACÃO	GL	SOMA DE QUADRADO	QUADRADO MÉDIO	F	SIGNIF.
Devido à regressão	2	3,311039	1,655519	16,06	0,0039
Independente da regressão	6	0,618383	0,103063		

$R^2 = 0,842627$.
 R^2 ajustado = 0,790170.

Quadro 10C – Análises de variância e de regressão dos resultados encontrados para as perdas na separação e limpeza

PERDAS NA SEPARAÇÃO E LIMPEZA					
NOME	COEFICIENTE	DESVIO	T	PROBAB.	
CONSTANTE	8,10053				
U	1,03114	0,0986789	10,4495		0,0000
V	-3,05667	0,496673	-6,15428		0,0004
FONTE DE VARIACÃO	GL	SOMA DE QUADRADO	QUADRADO MÉDIO	F	SIGNIF.
Devido à regressão	2	54,41833	27,20917	73,53	0,0001
Independente da regressão	6	2,220156	0,370026		

$R^2 = 0,842627$.
 R^2 ajustado = 0,790170.