

**UNIVERSIDADE FEDERAL DO PAMPA
CAMPUS ITAQUI
CURSO DE GRADUAÇÃO EM AGRONOMIA**

**CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM COLHEDORAS DE ARROZ
IRRIGADO**

TRABALHO DE CONCLUSÃO DE CURSO

FERNANDO HENRIQUE ZIMMERMANN

**Itaqui, RS, Brasil
2017**

FERNANDO HENRIQUE ZIMMERMANN

**CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM COLHEDORAS DE ARROZ
IRRIGADO**

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado ao Curso de Graduação em Agronomia da Universidade Federal do Pampa (UNIPAMPA), como requisito parcial para obtenção do grau de **Engenheiro Agrônomo**.

Orientador: Prof. Dr. Alexandre Russini

Itaqui, RS, Brasil
2017

FERNANDO HENRIQUE ZIMMERMANN

Z74c Zimmermann, Fernando Henrique.
Consumo de combustível em colhedoras de arroz irrigado/
Fernando Henrique Zimmermann. 2017.
45 p.

Trabalho de Conclusão do Curso - Universidade Federal do
Pampa, Agronomia, 2017.
“Orientação: Prof. Dr. Alexandre Russini”.

1. Arroz irrigado. 2. Mecanização. 3. Consumo combustível.
I. Russini, Alexandre. II. Consumo de combustível em
colhedoras de arroz irrigado.

FERNANDO HENRIQUE ZIMMERMANN

**CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM COLHEDORAS DE ARROZ
IRRIGADO**

Trabalho de Conclusão de Curso
apresentado ao Curso de Graduação em
Agronomia da Universidade Federal do
Pampa (UNIPAMPA), como requisito
parcial para obtenção do grau de
Engenheiro Agrônomo.

Trabalho de conclusão de curso defendido e aprovado em: 22 de novembro de
2017.

Banca examinadora:

Prof. Dr. Alexandre Russini
Orientador
Curso de Agronomia - UNIPAMPA

Prof. Dr. Eloir Missio
Curso de Agronomia - UNIPAMPA

Prof. Dr. Paulo Jorge de Pinho
Curso de Agronomia - UNIPAMPA

DEDICATÓRIA

Dedico este trabalho aos meus amados pais, João e Denisse, maiores incentivadores e fontes de apoio, durante toda minha graduação.

AGRADECIMENTOS

A Deus, pela vida, força e proteção.

A minha família, que nunca mediram esforços e sempre me apoiaram em todos os momentos.

A Universidade Federal do Pampa e ao grupo PET agronomia, por toda base de ensinamentos proporcionados durante a graduação.

Ao professor orientador, Dr. Alexandre Russini, pelo conhecimento transmitido, e a orientação para elaboração deste trabalho.

A todos os trabalhadores rurais, pela disponibilidade e atenção para a coleta dos dados.

A todas as pessoas que, direta ou indiretamente contribuíram para a realização desta pesquisa.

RESUMO

CONSUMO DE COMBUSTÍVEL EM COLHEDORAS DE ARROZ IRRIGADO

Autor: Fernando Henrique Zimmermann

Orientador: Alexandre Russini

Itaqui, 22 de novembro de 2017.

A constante busca por informações referentes ao desempenho operacional e consumo energético das colhedoras autopropelidas de grãos é fundamental para o auxílio no seu correto planejamento e gerenciamento, devido ao elevado capital investido, permitindo desta forma a racionalização e a otimização da operação de colheita mecanizada. Neste sentido o objetivo deste trabalho foi avaliar o consumo de combustível de colhedoras autopropelidas equipadas com diferentes sistemas de trilha e velocidades de deslocamento, na operação de colheita do arroz irrigado. O experimento foi conduzido no município de Itaqui, RS, durante o período de colheita da safra 2016/2017. Utilizou-se o delineamento experimental blocos ao acaso com quatro repetições. Para a realização do experimento foram utilizadas três colhedoras equipadas com sistema de trilha radial, híbrido e axial, submetidas a 5 velocidades de deslocamento 1,2; 1,6; 2,0; 2,4 e 2,8 km h⁻¹, respectivamente. Os resultados obtidos demonstram que houve diferença significativa entre consumo de combustível nos diferentes sistemas de trilha das colhedoras em função das velocidades de deslocamento. Referente ao consumo horário, observou-se um acréscimo a medida que se aumenta a velocidade de deslocamento. Ao analisar o consumo de combustível por unidade de produto colhido e por área colhida observa-se uma redução no consumo devido ao aumento da capacidade operacional em decorrência do acréscimo nos valores de velocidade. Portanto, o aumento da velocidade proporciona maior capacidade operacional de colheita.

Palavras-chave: *Oryza sativa*, mecanização, colheita, combustível.

ABSTRACT

FUEL CONSUMPTION IN IRRIGATED RICE HARVESTERS

Author: Fernando Henrique Zimmermann

Advisor: Alexandre Russini

Itaqui, November 22, 2017.

The constant search for information regarding the operational performance and energy consumption of self-propelled harvesters of grain is fundamental to the aid in the correct planning and management, due to the high capital invested, thus allowing the rationalization and optimization of the mechanized harvesting operation. In this sense, the objective of this work was to evaluate the fuel consumption of self-propelled harvesters equipped with different track systems and displacement speeds in the irrigated rice harvesting operation. The experiment was conducted in the municipality of Itaqui, RS, during the harvest period of the 2016/2017 harvest. The experimental design was a randomized complete block design with four replicates. For the experiment, three harvesters equipped with a radial track system, hybrid and axial, were submitted to 5 displacement speeds 1,2; 1.6; 2.0; 2.4 and 2.8 km h⁻¹, respectively. The results show that there was a significant difference between fuel consumption in the different track systems of the harvesters as a function of the displacement speeds. Regarding the hourly consumption, an increase was observed as the displacement speed increased. When analyzing the fuel consumption per unit of product harvested and per harvested area, a reduction in consumption is observed due to the increase in the operational capacity due to the increase in the speed values. Therefore, increasing the speed provides greater harvesting operational capacity.

Keywords: *Oryza sativa*, mechanization, harvest, fuel.

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Colhedora equipada com sistema de trilha axial.....	17
Figura 2 - Colhedora equipada com sistema de trilha radial.....	18
Figura 3 - Sistema de limpeza de grãos e seus componentes.....	19
Figura 4 - Consumo efetivo de combustível dos tratamentos na colhedora com sistema radial ($L h^{-1}$).....	26
Figura 5 - Consumo efetivo de combustível dos tratamentos na colhedora com sistema híbrido ($L h^{-1}$).....	28
Figura 6 - Consumo efetivo de combustível dos tratamentos na colhedora com sistema axial ($L h^{-1}$).....	30
Figura 7 - Consumo de combustível por área dos tratamentos na colhedora com sistema radial ($L ha^{-1}$).....	32
Figura 8 - Consumo de combustível por área dos tratamentos na colhedora com sistema híbrido ($L ha^{-1}$).....	34
Figura 9 - Consumo de combustível por área dos tratamentos na colhedora com sistema axial ($L ha^{-1}$).....	35

LISTA DE QUADROS

Quadro 1 - Tratamentos utilizados para realização do trabalho.....	23
Quadro 2 - Caracterização das colheitadeiras automotrizes utilizadas no trabalho.....	24

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Síntese dos resultados da análise de variância no sistema de trilha radial ($L h^{-1}$).....	26
Tabela 2 - Síntese dos resultados da análise de variância no sistema de trilha híbrido ($L h^{-1}$).....	28
Tabela 3 - Síntese dos resultados da análise de variância no sistema de trilha axial ($L h^{-1}$).....	29
Tabela 4 - Síntese dos resultados da análise de variância no sistema de trilha radial ($L ha^{-1}$).....	31
Tabela 5 - Síntese dos resultados da análise de variância no sistema de trilha híbrido ($L ha^{-1}$).....	33
Tabela 6 - Síntese dos resultados da análise de variância no sistema de trilha axial ($L ha^{-1}$).....	35
Tabela 7 – Resultados da análise de variância para o parâmetro consumo combustível ($L saca^{-1}$) nas colhedoras ensaiadas.....	36
Tabela 8 - Síntese da análise do teste de médias para o parâmetro consumo combustível ($L saca^{-1}$) nas colhedoras ensaiadas.....	37

SUMÁRIO

1. INTRODUÇÃO.....	13
1.1. Objetivo geral	14
1.2. Objetivos específicos	14
2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	15
2.1. Arroz irrigado.....	15
2.2. Colheita mecanizada de arroz irrigado.....	15
2.2.1. Sistema de trilha axial.....	16
2.2.2. Sistema de trilha tangencial ou radial	17
2.2.3. Sistema de trilha híbrido	18
2.2.4. Sistema de limpeza.....	18
2.3. Desempenho energético de máquinas agrícolas	19
3. MATERIAL E MÉTODOS	22
3.1. Área Experimental.....	22
3.2. Delineamento experimental.....	22
3.3. Avaliações.....	22
3.4. Tratamentos e critérios de amostragem.....	22
3.5. Colhedoras.....	23
3.6. Determinação do consumo horário de combustível ($L h^{-1}$).....	24
3.7. Determinação do consumo de combustível por área ($L ha^{-1}$).....	25
3.8. Determinação do consumo de combustível por unidade (sacas) de arroz colhido ($L saca^{-1}$)	25
3.9. Análise estatística	25
4. RESULTADOS E DISCUSSÃO	26
4.1. Consumo horário de combustível ($L h^{-1}$)	26
4.1.1. Colhedora sistema de trilha radial.....	26
4.1.2. Colhedora sistema de trilha híbrido	28
4.1.3. Colhedora sistema de trilha axial	29
4.2. Consumo de combustível por área ($L ha^{-1}$).....	31
4.2.1. Colhedora sistema de trilha radial.....	31
4.2.2. Colhedora sistema de trilha híbrido	33
4.2.3. Colhedora sistema e trilha axial	35
4.3. Consumo de combustível por unidade (sacas) de arroz colhido ($L saca^{-1}$)..	36
5. CONCLUSÕES.....	39
6. REFERÊNCIAS	40

1. INTRODUÇÃO

Atualmente com a necessidade de produzir mais alimentos, aliados à redução do número de pessoas empregadas no setor agrícola exigem que a agricultura desempenhe suas atividades com maior eficiência, qualidade e produtividade nas operações que a compõem.

O arroz irrigado, independente do sistema de cultivo adotado, é altamente dependente da mecanização, sendo esta indispensável em todas as fases do sistema de produção. Neste sentido, o cenário atual exige uma racionalização e otimização no uso dos insumos e máquinas agrícolas, visando uma redução de custos, de forma a manter constante e/ou aumentar a produtividade das lavouras arrozeiras. Torna-se necessário buscar alternativas para contornar esta situação, dentre estas, devemos considerar o correto planejamento das operações mecanizadas, por ser responsável pela maior parte do custo total de produção.

Na safra 2015/2016 as operações mecanizadas representaram aproximadamente 30% do custo total de produção. No Rio Grande do Sul, dentre as operações mecanizadas, a operação de colheita em lavouras de arroz irrigado representam uma parcela de 8,89% dos custos totais de produção (IRGA, 2016).

Devido ao alto valor de capital investido, a operação de colheita mecanizada se caracteriza como uma importante estratégia na redução de custos, através do correto planejamento, mais especificadamente por meio de um dimensionamento adequado, evitando a sua subutilização e possibilitando a retirada do produto em tempo hábil, de forma que permita o mínimo de perdas quantitativas (MIALHE, 1984; SRIVASTAVA et al., 1993).

Para Silveira (2007) as máquinas devem estar corretamente adequadas ao tamanho da propriedade de modo que, no final, resulte numa combinação de equipamentos mais econômica possível.

Segundo Deere & Company (1975), o gerenciamento de maquinaria tem se tornado muito importante na execução de operações agrícolas, por estar diretamente relacionado com a capacidade de combinar terra, trabalho e capital para a obtenção de um retorno que signifique lucro satisfatório.

Diversos métodos podem ser considerados ao se estudar o desempenho de máquinas agrícolas, desde aqueles que decorrem de uma avaliação direta realizada em operações agrícolas, até a adoção de modelos matemáticos ou métodos

indiretos, que prevêm o desempenho a partir das características decorrentes do regime de operação do motor e sua interação com características 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).

Portanto, informações referentes ao desempenho operacional e consumo energético das colhedoras auxiliam no seu correto planejamento e gerenciamento, permitindo a racionalização e a otimização das operações de colheita mecanizada nas lavouras de arroz irrigado.

1.1. Objetivo geral

O presente estudo tem por objetivo avaliar o consumo de combustível de colhedoras autopropelidas equipadas com três diferentes sistemas de trilha e velocidades de deslocamento, na operação de colheita do arroz irrigado.

1.2. Objetivos específicos

- Avaliar o consumo volumétrico de combustível em colhedoras com diferentes sistemas de trilha e velocidades de deslocamento;
- Quantificar o consumo em função das diferentes capacidades operacionais;
- Determinar o consumo de combustível por unidade (saca) de arroz colhido.

2. REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1. Arroz irrigado

O arroz (*Oryza sativa* L.) é considerada uma das principais espécies cultivadas no mundo (SCHMIDT, 2009), constituindo um dos alimentos mais importantes para a nutrição humana, sendo a base alimentar de mais de três bilhões de pessoas. É considerado o segundo cereal mais cultivado no mundo, ocupando área aproximada de 168 milhões de hectares (SOSBAI, 2016).

Na safra 2015/16, segundo dados da Companhia Nacional de Abastecimento (2016) o Brasil produziu 10.602,9 mil toneladas de arroz, sendo o Rio Grande do Sul responsável por aproximadamente 70% desse montante, isso contabiliza 8,07 milhões de toneladas, fato que o caracteriza como maior produtor desse cereal, com produtividade média de 7.466 kg ha⁻¹. No Estado o arroz é produzido em 131 municípios, onde 232 mil pessoas vivem direta ou indiretamente da exploração dessa cultura (SOSBAI 2016).

Segundo Pinto et al. (2004) o Rio Grande do Sul possui uma área aproximada de 6 milhões de hectares de solos de terras baixas, sendo que grande parte desta área possui potencial para utilização no sistema de rotação e/ ou sucessão com o arroz irrigado. Anualmente, cerca de um milhão de hectares são ocupados pelo cultivo do arroz irrigado, o restante permanece geralmente em pousio (VERNETTI JÚNIOR et al., 2009).

2.2. Colheita mecanizada de arroz irrigado

As lavouras de arroz irrigado do Sul do Brasil apresentam elevadas produtividades, porém o custo de produção é alto, segundo Carlos et al. (2015) a maior parte das lavouras de arroz, 65 a 70 %, são arrendadas o que imobiliza significativamente a capacidade de investimento e a margem líquida dos produtores rurais. O arrendamento (terra + água) representa 21 % dos custos, os fertilizantes 11 %, mão de obra 10%, colheita 9 % e defensivos agrícolas 8 % (BARATA & TOLEDO, 2015).

A colheita de arroz irrigado é a última operação realizada no campo, no processo de produção agrícola (WEYMAR JR, 2009), e se caracteriza pelo uso intenso da mecanização. O teor de umidade dos grãos mais adequado para a realização da colheita está entre 18% e 23%, se os grãos forem colhidos com

umidade superior haverá perdas por falta de formação completa dos grãos. Por outro lado quando atrasada a colheita, pode ocorrer quebra dos grãos, o que irá reduzir seu rendimento de engenho (EMBRAPA, 2005).

A colheita pode ser realizada por diversos tipos de máquinas, podendo ser de pequeno, médio ou grande porte. O mercado de máquinas agrícolas dispõe de colhedoras com três diferentes tipos de sistemas de trilha, separação e limpeza sendo: o sistema de trilha tangencial ou radial (convencional); trilha e separação axial (rotores axiais), e por fim o sistema de trilha radial (convencional) com sistema de separação axial (rotores), também chamados de híbridos, sendo que cada sistema atua de forma distinta no processo de colheita.

2.2.1. Sistema de trilha axial

O sistema de trilha axial é composto por um ou mais rotores, que são formados por “gengivas”, barras e aletas de transporte (DALZOTO, 2009), e se encontra posicionado longitudinalmente em relação a linha de deslocamento da colhedora e realiza as funções de trilha, separação e descarregamento da palha (MORAES et al., 2005). Essas funções são realizadas na área 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 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, enquanto os grãos são direcionados para o sistema de limpeza (CASE IH, 2006). A Figura 1 ilustra sistema de trilha axial.



Figura 1. Colhedora equipada com sistema de trilha axial. Fonte: Sim Tractor (2011)

2.2.2. Sistema de trilha tangencial ou radial

As colhedoras com sistema de trilha radial possuem o sistema de alimentação tangencial, no qual o material colhido flui perpendicularmente ao eixo do cilindro de trilha (MORAES et al., 1999).

O sistema é composto por um cilindro de trilha, constituído de cilindro de dentes, côncavo e batedor. O material colhido é pressionado contra o côncavo e as barras do cilindro, soltando os grãos da palha, que são separadas pelo batedor (NEW HOLLAND, 2000).

Após a ação do cilindro de trilha sobre o material admitido, resulta uma mistura de palha, grãos debulhados, palha triturada e grãos não debulhados. A separação dos grãos debulhados dos demais materiais é feita em três diferentes áreas: a grade formada pelas barras do côncavo, e a grade sob o cilindro batedor e o saca-palhas (CASTRO e FERREIRA, 2007).

O saca-palhas é um mecanismo de separação constituído de três a cinco secções, sendo cada secção constituída de duas laterais de chapa, cortada em forma de dente de serra, com os dentes voltados para a traseira da colhedora. Na parte inferior de cada secção, existe uma bandeja que coleta os grãos que atravessam o fundo das secções e os encaminha para uma bandeja única,

localizada abaixo e atrás dos cilindros de trilha e batedor, Lima (2008). A Figura 2 ilustra sistema de trilha radial.



Figura 2. Colhedora equipada com sistema de trilha radial. Fonte: UFV (2011).

2.2.3. Sistema de trilha híbrido

O sistema híbrido é uma união do sistema radial 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 pelo rotor longitudinal envolvido com grades de separação (CLASS, 2001).

2.2.4. Sistema de limpeza

O sistema de limpeza de ambos os sistemas de trilha é composto por ventilador e pelas peneiras superiores e inferiores. A peneira superior fica localizada abaixo do saca-palhas ou dos rotores axiais nas colhedoras, sendo a limpeza do material feita mecanicamente pela ação da própria peneira e aerodinamicamente pela ação da corrente de ar provocada pelo ventilador, (Balastreire, 1987; Lima, 2008).

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 panículas não debulhadas passam pela peneira superior, porém são retidas na peneira inferior, retornando ao sem-fim de retrilha, para serem

enviadas ao sistema de debulha e serem novamente trilhadas (NEW HOLLAND, 2000).

Os grãos limpos atravessam a peneira e caem em um transportador helicoidal atravessando toda a largura da peneira inferior, que entrega os grãos limpos para outro transportador helicoidal, que as leva para o tanque de grãos, (Balastreire, 1987; Castro e Ferreira, 2007). A Figura 3 apresenta o sistema de limpeza e seus componentes.

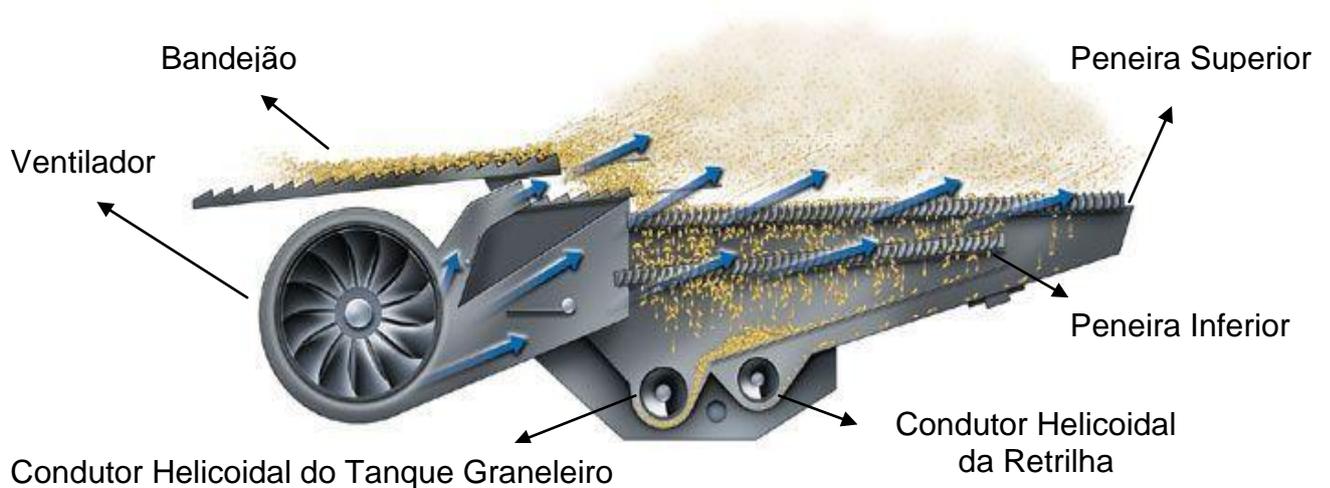


Figura 3. Sistema de limpeza de grãos e seus componentes. Fonte: Agrosshop MT (2011).

2.3. Desempenho energético de máquinas agrícolas

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.

Segundo com Siemens & Bowers (1999) os custos com combustíveis e lubrificantes representam, no mínimo, 16%, chegando a atingir 45% dos custos totais das máquinas agrícolas, dependendo do tipo de combustível e do número de horas trabalhadas. Diferentes consumos de combustível podem ser obtidos para o mesmo tipo de trabalho, dependendo da marcha utilizada (HANSON et al., 2003).

Um dos principais fatores a serem considerados é a velocidade de deslocamento, pelo fato de ser um fator extremamente significativo no consumo de combustível principalmente em colhedoras. Seki (2007) avaliou o desempenho

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 $3,27 \text{ km h}^{-1}$, e um consumo horário de combustível de $15,31 \text{ L h}^{-1}$, equivalente a $13,59 \text{ L ha}^{-1}$. Na colheita de grãos secos, a colhedora apresentou velocidade de $3,63 \text{ km h}^{-1}$, apresentando um consumo horário de combustível de $12,64 \text{ L h}^{-1}$ e por área de $10,14 \text{ L ha}^{-1}$, ou seja, o consumo horário de combustível e o consumo por área apresentaram valores 17% e 25% inferiores, respectivamente aos obtidos na colheita de grão úmido.

Nery (2000) analisando as qualidades operacionais e econômicas da colheita mecanizada de cana-de-açúcar, considerando quatro velocidades de operação como tratamentos, sendo elas: 1,5; 3,0; 5,0; e $7,0 \text{ km h}^{-1}$ o autor concluiu que o aumento da velocidade proporcionou aumento da capacidade efetiva bruta e de consumo de combustível, porém o custo por tonelada de cana-de-açúcar colhida diminuiu com o aumento da velocidade, sendo as duas maiores velocidades responsáveis pelos melhores desempenhos econômicos.

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, em função do aumento de sua capacidade operacional, sendo que não houve aumento das perdas de cana.

Carvalho Filho (2000) em estudo de desempenho operacional e econômico de uma colhedora de cana-de-açúcar, concluiu que houve menor consumo horário de combustível na velocidade de $1,5 \text{ km h}^{-1}$, e maior consumo horário na velocidade de 7 km h^{-1} , enquanto que para o consumo de combustível em litros por tonelada colhida, ocorreu o inverso. Com isso percebe-se que o consumo horário de combustível é influenciado pela velocidade de deslocamento da colhedora, sendo que quanto maior for a velocidade, maior será o consumo horário de combustível e menor será o consumo por tonelada colhida (CARVALHO FILHO, 2000; NERY, 2000; BELARDO, 2010; LYRA, 2012).

A explicação para essas variações de consumo de combustível é devido às causas inerentes ao processo, principalmente a variação da velocidade de deslocamento da colhedora, que irá promover maior ou menor fluxo de material presente dentro dos mecanismos internos da colhedora, que afetam de maneira

significativa o consumo de combustível. Considerando que são empregadas em larga escala entre propriedades rurais, e seu uso é altamente diversificado, a necessidade de otimizar seu desempenho (VALE et al., 2011).

Kim & Gregory (1989) já citavam a carência de trabalhos publicados que descrevam o comportamento do consumo de energia demandado por máquinas de colheita, fato que ainda é observado nos dias atuais, principalmente para colhedoras de arroz irrigado, surgindo, assim, a necessidade de novos trabalhos, principalmente explorando os efeitos da taxa de alimentação, da velocidade de deslocamento e das condições da cultura na exigência de energia de colhedoras de grãos.

3. MATERIAL E MÉTODOS

3.1. Área Experimental

O trabalho foi realizado entre os meses de março a abril de 2017 em áreas de produção de arroz da Granja Sol Nascente e Primavera – pertencentes à empresa Ciagro, localizada no Município de Itaqui – RS. Na área pertencente a propriedade foi cultivado arroz irrigado da variedade IRGA 424 RI. A produtividade média da área experimental foi 11400 kg ha⁻¹.

3.2. Delineamento experimental

O experimento seguiu o delineamento blocos ao acaso (DBA), com tratamentos formados por cinco velocidades de deslocamento e, quatro repetições para cada tratamento, perfazendo um total de 20 unidades experimentais em cada um dos sistemas de trilha avaliados.

3.3. Avaliações

Os dados de consumo de combustível volumétrico e por área foram avaliados individualmente devido ao fato das colhedoras apresentarem sistema de trilha, tamanho de plataforma e potências diferentes. Para a comparação dos diferentes sistemas de trilha foi determinado o consumo de combustível por saca de produto colhido, através de um esquema fatorial (velocidades x sistemas de trilha) e comparadas pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

3.4. Tratamentos e critérios de amostragem

Os dados visando a determinação do consumo de combustível e capacidade operacional foram coletados por meio do acompanhamento das colhedoras desde o início ao final da operação de colheita.

Para realização do experimento foram observados critérios referentes as colhedoras como marca, modelo, largura da plataforma e sistema de trilha, bem como os dados de operação, sendo esses: data, tempo de operação, tempo de descarga e consumo volumétrico de combustível.

Antes de iniciar as avaliações de desempenho, referentes ao consumo de combustível, ambas as colhedoras, foram pré-reguladas e ajustadas para sua melhor configuração para operar a 2,0 km h⁻¹. A partir da pré-regulagem definiram-se duas velocidades abaixo da configuração (2,0 km h⁻¹) e outras duas velocidades

acima, sendo respectivamente 1,2;1,6;2,0;2,4 e 2,8 km h⁻¹. As regulagens do ventilador, peneiras e rotor/cilindro não foram alteradas. Os tratamentos utilizados para determinação do consumo de combustível durante a operação colheita estão descritos no Quadro 1.

QUADRO 1 - Tratamentos utilizados para realização do trabalho;

Tratamento	Velocidade km h ⁻¹	Sistema de Trilha
T1	1,2	Radial/ Híbrido/ Axial
T2	1,6	Radial/ Híbrido/ Axial
T3	2,0	Radial/ Híbrido/ Axial
T4	2,4	Radial/ Híbrido/ Axial
T5	2,8	Radial/ Híbrido/ Axial

Durante a operação de colheita foi cronometrado o tempo de operação das respectivas colhedoras, sendo possível determinar a eficiência de campo, por meio da relação entre o tempo total de operação e o tempo perdido em manobras e descargas, sendo considerada uma eficiência de 65%. Por meio da Equação 1, desenvolvida por Mialhe (1974) , determinou-se a capacidade operacional de cada uma das máquinas avaliadas.

$$\text{Capacidade Operacional } \left(\frac{ha}{h}\right) = \frac{\text{quantidade de trabalho executado (ha)}}{\text{unidade de tempo (h)}}$$

Também foi determinada, para cada uma das máquinas, a quantidade de produto e área colhida. O consumo de combustível foi mensurado de forma manual, sendo que antes do início das operações o tanque de combustível era completado ao nível máximo e no término de cada turno de operação, era novamente completado com galões, obtendo-se por diferença o consumo de combustível durante o tempo de operação.

3.5. Colhedoras

Para realizar a avaliação da capacidade operacional e de consumo, na operação de colheita de arroz irrigado, foram utilizadas três colhedoras de grãos (Quadro 2), diferenciando-se em função do sistema de trilha, e largura de

plataforma. Ambas as colhedoras eram equipadas com rodados tipo pneus R2, rodados esses, usualmente utilizados nas lavouras orízícolas.

QUADRO 2 - Caracterização das colhedoras automotrizes utilizadas no trabalho.

Sistema de Trilha	Sistema de separação	Sistema de Limpeza	Largura de plataforma (m)	Potência Motor (cv)
Radial	Saca-palhas	Peneiras	4,80	175
Híbrido	Rotor	Peneiras	7,50	280
Axial	Rotor	Peneiras	7,50	325

3.6. Determinação do consumo horário de combustível (L h⁻¹)

O consumo horário de combustível refere-se apenas ao consumo no momento da colheita, ou seja, enquanto a colhedora encontrava-se em plena operação de colheita. Este consumo efetivo não deve ser comparado com o consumo médio de combustível conhecido nas propriedades, pois nesses casos, o consumo de combustível da colhedora geralmente refere-se a uma jornada inteira de trabalho, estando associado às outras operações além da colheita efetivamente, como: desembuchamentos, mudanças de talhão e ocasiões em que a máquina está parada com o motor ligado, ou seja, situações em que a colhedora encontra-se consumindo combustível, porém, em regime mais econômico.

Com isso, o tempo em que a colhedora passa em cada uma dessas situações citadas é determinante para que se obtenha um valor médio alto ou baixo de consumo de combustível.

O consumo horário de combustível foi calculado pela Equação 2:

$$CHC = \frac{\sum \text{consumo} \cdot 3,6}{\Delta t}$$

Em que:

CHC = consumo horário de combustível (L h⁻¹)

Σ consumo = combustível gasto (mL);

Δt = tempo gasto (s);

3,6 = fator de conversão.

3.7. Determinação do consumo de combustível por área ($L ha^{-1}$)

O consumo de combustível por área foi obtido através do cálculo realizado conforme a Equação 3:

$$CCa = Td . CCh$$

Onde:

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

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

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

3.8. Determinação do consumo de combustível por unidade (sacas) de arroz colhido ($L saca^{-1}$)

O consumo de combustível por saca de arroz foi obtido através do cálculo realizado conforme a Equação 4:

$$Cs = \frac{CCa}{P}$$

Em que:

Cs = consumo de combustível por saca de arroz colhida ($L saca^{-1}$);

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

P = produtividade do arroz (sacas ha^{-1}).

3.9. Análise estatística

A análise estatística foi efetuada pelo programa SISVAR versão 5.3 (FERREIRA, 2008), os dados de cada colhedora foram submetidos à análise de variância, quando apresentaram diferença entre os tratamentos procedeu-se análise de regressão.

4. RESULTADOS E DISCUSSÃO

4.1. Consumo horário de combustível (L h⁻¹)

4.1.1. Colhedora sistema de trilha radial

Os resultados da análise de variância obtidos no trabalho com a colhedora equipada com sistema de trilha radial são apresentados na Tabela 1:

Tabela 1 - Síntese dos resultados da análise de variância no sistema de trilha radial;

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamentos	4	611.335930	152.833983	163.729	0.00000
Blocos	3	2.601855	0.867285	0.929	0.04565
Erro	12	11.201495	0.933458		
Total Corrigido	19	625.139280			
CV (%) = 3,88					Número de Observações 20

A partir dos resultados da análise de variância percebe-se que houve diferença significativa entre os tratamentos (5% probabilidade), o qual apresentou um coeficiente de variação baixo (3,88%), conforme descrito por Pimentel-Gomes (1985).

A Figura 4 apresenta os valores obtidos para consumo horário de combustível (L h⁻¹) para os tratamentos avaliados na colhedora equipada com sistema de trilha radial.

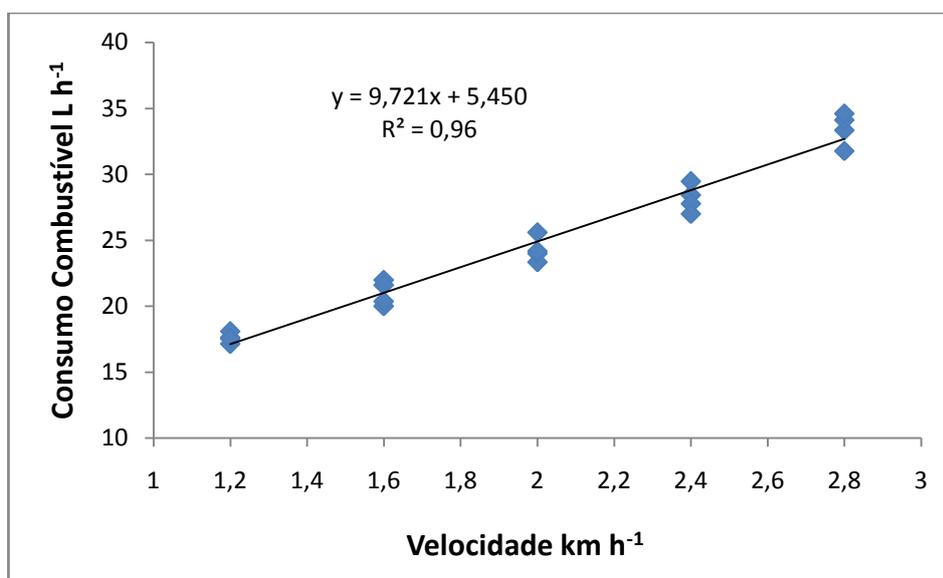


Figura 4. Consumo efetivo de combustível dos tratamentos na colhedora com sistema de trilha radial (L h⁻¹).

Pode se perceber que à medida que se aumenta a velocidade de deslocamento da colhedora ocorre um aumento proporcional no consumo de combustível, sendo que para a velocidade V1 (1,2 km h⁻¹) foi o que apresentou menor consumo, ficando próximo a 18 L h⁻¹. Entre os tratamentos, o que apresentou maior consumo de combustível foi o que utilizou a velocidade de deslocamento 2,8 km h⁻¹ (V5) ficando próximo a 35 L h⁻¹, fato que se caracteriza pelo aumento na proporção de material colhido, ocasionando uma maior sobrecarga sobre o sistema de trilha e separação, conseqüentemente demanda maior potência do motor.

Apesar da colhedora com sistema de trilha radial utilizar as mesmas velocidades de deslocamento das demais colhedoras, foi a que apresentou o menor consumo de combustível, não ultrapassando os 35 L h⁻¹ nas condições em que o experimento foi realizado. Esse comportamento ocorre pelo fato da colhedora ser equipada com um motor de 175 cv de potência, e com uma plataforma de 4,80 metros, o qual faz com que sua demanda energética seja menor, em função da sua menor capacidade operacional, de modo que sua capacidade de colheita acabe se tornado menor quando comparado com outras colhedoras avaliadas. Esse comportamento está de acordo com Seki (2007) que obteve menores valores de consumo horário de combustível para colhedoras de cana de açúcar de menor capacidade operacional, evidenciando que colhedoras de menor porte proporcionam menores consumos de combustíveis.

Mazetto e Lanças (2009) avaliando desempenho operacional e energético de colhedoras de soja obteve um consumo horário de combustível de 29,71 L h⁻¹ em uma colhedora com sistema de trilha radial, equipada com uma plataforma de 7,62 metros de largura de corte e um motor de 240 cv de potência.

A velocidade de operação das colhedoras de grãos determinará a taxa de alimentação do sistema de trilha, fazendo com que a exigência sobre o motor seja maior ou não, se caracterizando como parâmetro que influencia, significativamente, o consumo de energia de colhedoras (ARNOLD & LAKE, 1964; DODDS, 1968; BJORK, 1988; KIM & GREGORY, 1989).

4.1.2. Colhedora sistema de trilha híbrido

Os resultados da análise de variância obtidos no trabalho com a colhedora equipada com sistema de trilha híbrido são apresentados na Tabela 2:

Tabela 2 - Síntese dos resultados da análise de variância no sistema de trilha híbrido;

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamentos	4	992.930970	248.23274	190.529	0.0000
Blocos	3	7.991590	2.663863	2.045	0.1613
Erro	12	15.634335	1.302861		
Total corrigido	19	1016.556895			
CV (%) = 3,30					Número de Observações 20

A partir dos resultados da análise de variância percebe-se que houve diferença significativa entre os tratamentos (5% probabilidade), apresentando um coeficiente de variação baixo (3,30%).

Para colhedora equipada com sistema de trilha híbrido, foi observado o mesmo comportamento, que o sistema de trilha radial, sendo que a medida que se eleva a velocidade de deslocamento ocorre um aumento proporcional no consumo de combustível conforme pode-se observar na figura 5.

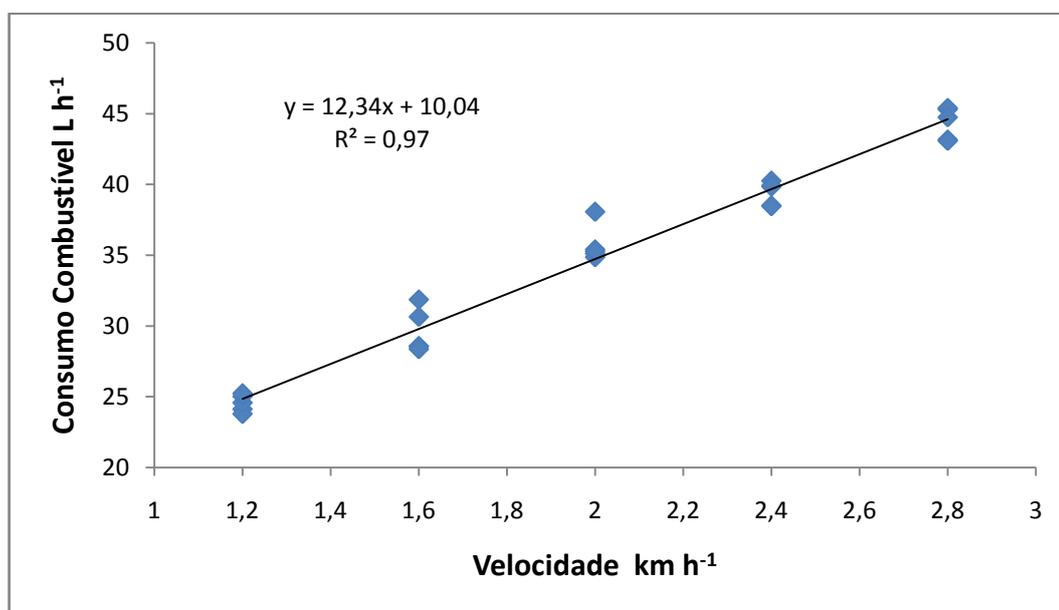


Figura 5. Consumo efetivo de combustível dos tratamentos na colhedora com sistema híbrido (L h⁻¹).

A velocidade V1 (1,2 km h⁻¹) foi o que apresentou menor consumo horário de combustível, com cerca de 24 L h⁻¹, entre os tratamentos, o que apresentou maior consumo de combustível foi o que utilizou a velocidade de deslocamento 2,8 km h⁻¹ (V5) chegando a uma média de 43 L h⁻¹. Isto se explica pelo fato da colhedora com sistema de trilha híbrido estar equipada com um motor de 280 cv de potência e uma plataforma de 7,5 metros, fazendo com que sua capacidade de colheita seja superior, havendo como consequência um maior gasto de combustível para que o processo de trilha e separação seja realizado.

A diferença de consumo entre os tratamentos V1 e V5 foi de 45 %, evidenciando que em velocidades menores fazem com que o sistema de trilha atue em um regime de trabalho mais leve, de modo que a quantidade de material colhido seja menor, levando a uma menor demanda de potência e como resultado gerando um menor consumo de combustível, diferente do que é observado nas maiores velocidades de deslocamento.

Belardo (2010) avaliando o desempenho de três colhedoras de cana de açúcar de fabricação nacional, utilizando duas velocidades de deslocamento, 5,0 km h⁻¹ e 7,0 km h⁻¹, conclui também que com o aumento de velocidade de deslocamento ocorreu um aumento na capacidade efetiva e no consumo horário de combustível. Rosa (2013) e Schmidt Junior (2011) em trabalhos realizados em colheita de cana de açúcar obtiveram resultados semelhantes, observando um aumento no consumo horário de combustível com o aumento da velocidade de deslocamento das colhedoras.

4.1.3. Colhedora sistema de trilha axial

Os resultados da análise de variância obtidos no trabalho com a colhedora equipada com sistema de trilha axial são apresentados na Tabela 3:

Tabela 3 - Síntese dos resultados da análise de variância no sistema de trilha axial;

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamentos	4	680.374930	170.093735	81.381	0.0000
Blocos	3	2.543605	0.847868	0.406	0.0751
Erro	12	25.080945	2.090079		
Total Corrigido	19	707.999445			
CV (%) = 2,60					Número de Observações 20

Com base nos resultados da análise de variância percebe-se que houve diferença significativa entre os tratamentos (5% probabilidade), o qual apresentou um coeficiente de variação baixo (2,60%).

A Figura 6 apresenta os valores obtidos para consumo horário de combustível ($L h^{-1}$) para os tratamentos avaliados na colhedora equipada com sistema de trilha axial.

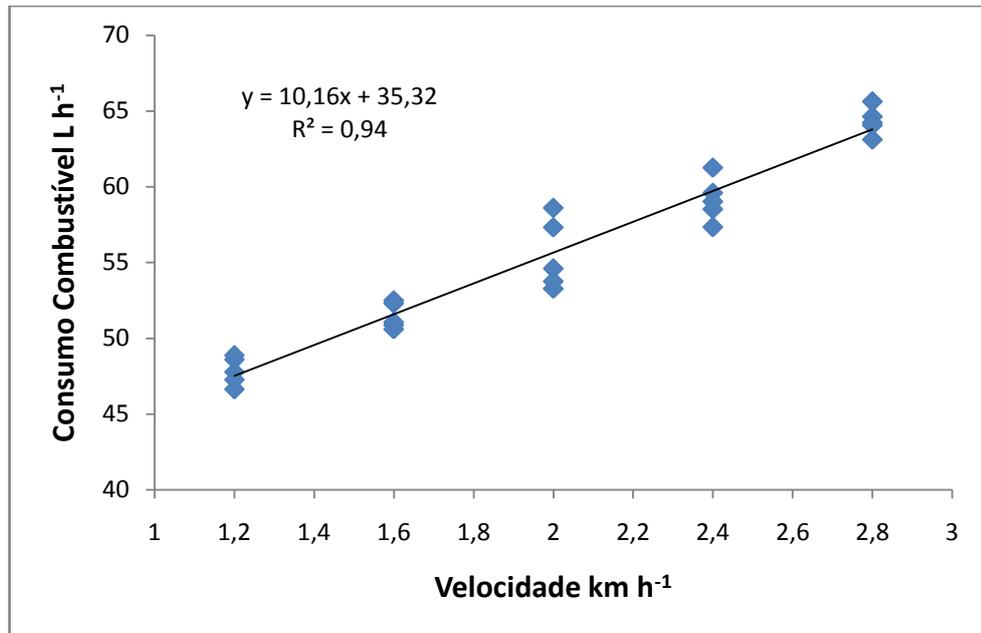


Figura 6. Consumo efetivo de combustível dos tratamentos na colhedora com sistema axial ($L h^{-1}$).

O tratamento V1 foi o que apresentou menor consumo horário de combustível, com um consumo de cerca de $48 L h^{-1}$, entre os tratamentos, o que apresentou maior consumo de combustível foi o que utilizou a velocidade de deslocamento $2,8 km h^{-1}$ (V5) chegando próximo a $65 L h^{-1}$.

Os resultados demonstram que com o aumento da velocidade a o aumento linear do consumo horário de combustível da colhedora com sistema de trilha axial. Apesar de utilizar os mesmos tratamentos as três colhedoras avaliadas neste experimento diferem em termos de comportamento, capacidade de colheita e demanda energética, isto, por apresentar diferentes potências de motor e tamanho de plataforma, fazendo com que atuem de formas distintas no processo de colheita, gerando diferentes consumos de combustíveis.

A colhedora equipada com sistema de trilha axial por dispor de um motor de 325 cv de potência e plataforma de 7,5 metros de largura, quando em operação em

velocidades de deslocamento mais baixas, faz com que o recolhimento de material pelo sistema de alimentação seja menor, não sobrecarregando o sistema de trilha, separação e limpeza, gerando uma menor demanda de potência do motor, ocasionando em um menor consumo de combustível. Em velocidades maiores ocorre o comportamento inverso, ocorrendo uma sobrecarga maior do sistema de trilha, separação e limpeza, fazendo com que a demanda de potência aumente elevando assim o consumo de combustível em decorrência da difícil separação dos grãos do restante da planta.

Chioderoli et al. (2012) avaliando perdas de grãos e distribuição de palha na colheita mecanizada de soja com uma colhedora de grãos de fluxo axial de duplo rotor, equipada com motor de 394 cv potência e com plataforma de corte de 9,14 metros de largura, obteve um consumo médio horário foi de 48,67 L h⁻¹.

Carvalho Filho (2000) verificou que a variável velocidade de deslocamento reflete diretamente no desempenho operacional e econômico da colhedora, assim como na eficiência do sistema de colheita, em estudo em canavial sem queima previa, com colhedora atuando em 4 velocidades pré-estabelecidas, o autor obteve menor consumo horário nas velocidades mais baixas de 1.5; 3.0 km h⁻¹, e maiores nas velocidades de 5.0 e 7.0 km h⁻¹. Tal comparação se torna possível embora sejam diferentes colhedoras, devido ao motor apresentar comportamento semelhante em função do aumento de velocidade, o que proporciona maior alimentação e demanda dos mecanismos internos das colhedoras para que ocorra o processamento.

4.2. Consumo de combustível por área (L ha⁻¹)

4.2.1. Colhedora sistema de trilha radial

Os dados apresentados na tabela 4 são os resultados da análise de variância para consumo de combustível por hectare da colhedora com sistema de trilha radial:

Tabela 4 - Síntese dos resultados da análise de variância no sistema de trilha radial;

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamentos	4	239.937830	59.984458	25.516	0.0000
Blocos	3	4.885092	1.628364	0.693	0.5739
Erro	12	28.209733	2.350811		
Total Corrigido	19	73.032655			
CV (%) = 3,76					Número de Observações: 20

Pelos resultados da análise de variância percebe-se que houve diferença significativa entre os tratamentos (5% probabilidade), o qual apresentou um coeficiente de variação baixo (3,76%).

Na figura 7 são apresentados os valores de consumo de combustível por área ($L ha^{-1}$) para os tratamentos avaliados na colhedora com sistema de trilha radial.

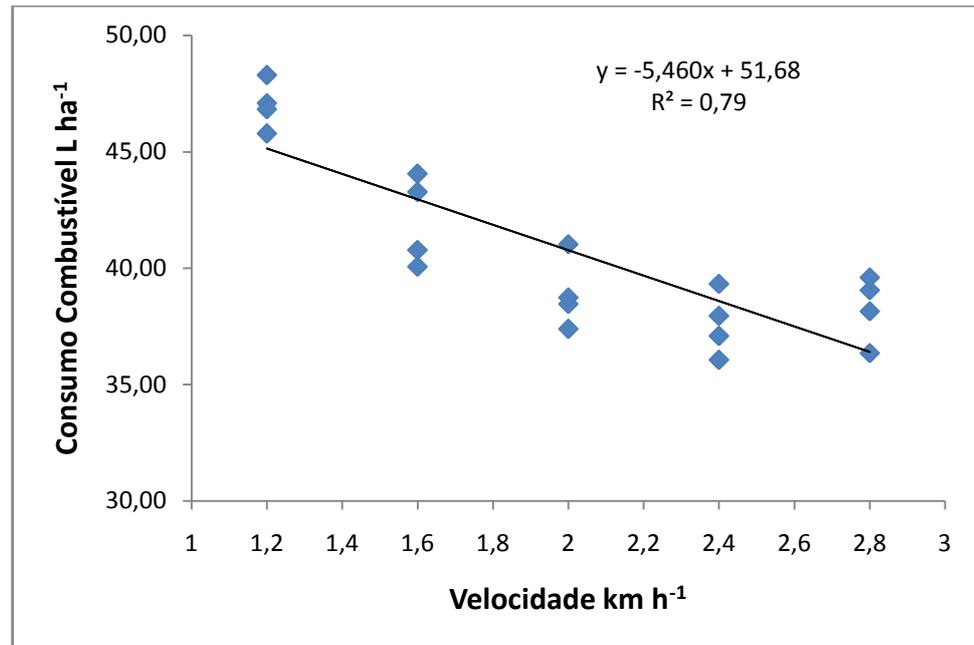


Figura 7. Consumo de combustível por área dos tratamentos na colhedora com sistema radial ($L ha^{-1}$).

O tratamento V1 foi o que apresentou maior consumo de combustível por área, ficando próximo de $47 L ha^{-1}$. Entre os tratamentos, o que apresentou menor consumo de combustível foi o que utilizou a velocidade de deslocamento $2,8 km h^{-1}$ (V5), chegando a $38 L ha^{-1}$.

Apesar de apresentar um motor de 175 cv de potência, a colhedora com sistema de trilha radial apresenta altos índices de consumo de combustível, ficando próximo a $50 L ha^{-1}$, fato que ocorre principalmente devido ao seu tamanho de plataforma (4,80 metros), fazendo com que em baixas velocidades o tempo a ser percorrido para colher um hectare se torna superior quando comparado com colhedoras com tamanho de plataforma superiores.

Diferente do consumo horário, observa-se um comportamento inverso, a medida que se eleva a velocidade de deslocamento diminui o consumo de

combustível, isto em decorrência do aumento da capacidade operacional da colhedora (RAMOS, 2013), proporcionando um aumento na capacidade de colheita das colhedoras, de modo que o tempo necessário para colher um hectare seja menor, reduzindo assim o consumo de combustível.

Mazetto e Lanças (2009) avaliando desempenho operacional e energético de colhedoras de soja obteve consumo de combustível por área $6,58 \text{ L ha}^{-1}$ em uma colhedora equipada com sistema de trilha radial, dispondo de uma plataforma de 7,62 metros de largura de corte e um motor de 240 cv de potência.

Santos (2012), avaliando três modelos diferentes de colhedoras de cana-de-açúcar com pneus, colhendo sem queima prévia, em duas velocidades, sendo elas 5 km h^{-1} e 7 km h^{-1} , em um canavial de segundo corte e produtividade agrícola de $78,89 \text{ t ha}^{-1}$, observou comportamento semelhante em que o aumento de velocidade de deslocamento levou a diminuição no consumo de combustível por área.

4.2.2. Colhedora sistema de trilha híbrido

Os dados apresentados na tabela 5 são os resultados da análise de variância para consumo de combustível por hectare da colhedora com sistema de trilha híbrido:

Tabela 5 - Síntese dos resultados da análise de variância no sistema de trilha híbrido;

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamentos	4	225.766330	56.441583	30.976	0.0000
Blocos	3	5.805607	1.935202	1.063	0.4014
Erro	12	21.865518	1.822127		
Total Corrigido	19	253.437455			
CV (%) = 3,70				Número de Observações: 20	

Conforme observado os resultados percebe-se que houve diferença significativa entre os tratamentos (5% probabilidade), o qual apresentou um coeficiente de variação baixo (3,70%).

A Figura 8 apresenta os valores de consumo de combustível por área (L ha^{-1}) para os tratamentos avaliados na colhedora equipada com sistema de trilha híbrido.

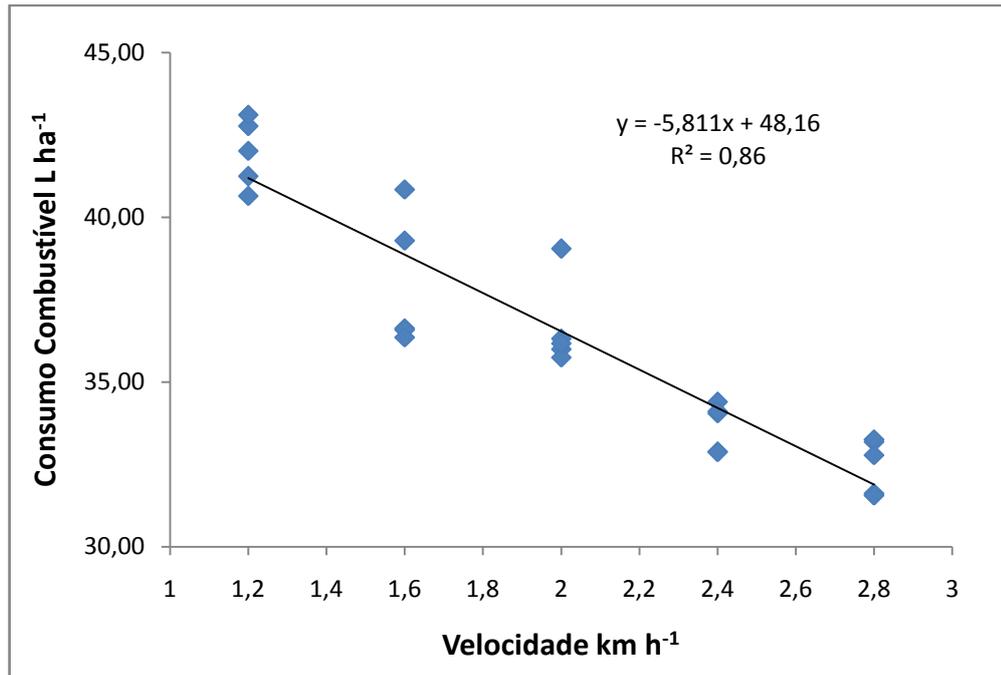


Figura 8. Consumo de combustível por área dos tratamentos na colhedora com sistema híbrido (L ha⁻¹).

O tratamento V1 foi o que apresentou maior consumo de combustível por área, com um consumo de cerca de 43 L h⁻¹. Entre os tratamentos, o que apresentou menor consumo de combustível foi o que utilizou a velocidade de deslocamento 2,8 km h⁻¹ chegando próximo a 32 L h⁻¹.

A colhedora com sistema híbrido obteve o mesmo comportamento para o consumo por área, sendo que os maiores consumos foram obtidos nas menores velocidades de deslocamento, em decorrência da diminuição da sua capacidade de colheita, comportamento oposto do que é observado em velocidades maiores.

Ramos (2013), obteve resultados semelhantes, em estudo do desempenho operacional na colheita mecanizada de cana em função da velocidade de deslocamento e rotação do motor, ao utilizar duas velocidades diferentes de deslocamento, sendo elas 4 e 5,5 km h⁻¹, o autor concluiu que nas velocidades maiores a capacidade efetiva de colheita é sempre maior. Sendo que a 4 km h⁻¹ o consumo de combustível foi de 82,41 L ha⁻¹, e na velocidade de 5,5 km h⁻¹ houve uma redução no consumo, ficando próximo a 70,31 L ha⁻¹. Tal comparação se torna possível embora sejam diferentes colhedoras, devido ao motor apresentar comportamento semelhante.

4.2.3. Colhedora sistema e trilha axial

Os dados apresentados na tabela 6 são os resultados da análise de variância para consumo de combustível por hectare da colhedora com sistema de trilha axial:

Tabela 6 - Síntese dos resultados da análise de variância no sistema de trilha axial;

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Tratamentos	4	2957.83744	739.45935	620.996	0.0000
Blocos	3	18.918612	6.306204	5.296	0.0148
Erro	12	14.289263	1.190772		
Total Corrigido	19	2991.04529			
CV (%) = 1,80					Número de Observações: 20

Com base nos resultados percebe-se que houve diferença significativa entre os tratamentos (5% probabilidade), o qual apresentou um coeficiente de variação baixo (1,80%).

Na Figura 8 são apresentados os valores de consumo de combustível por área ($L ha^{-1}$) para os tratamentos avaliados na colhedora equipada com sistema de trilha axial.

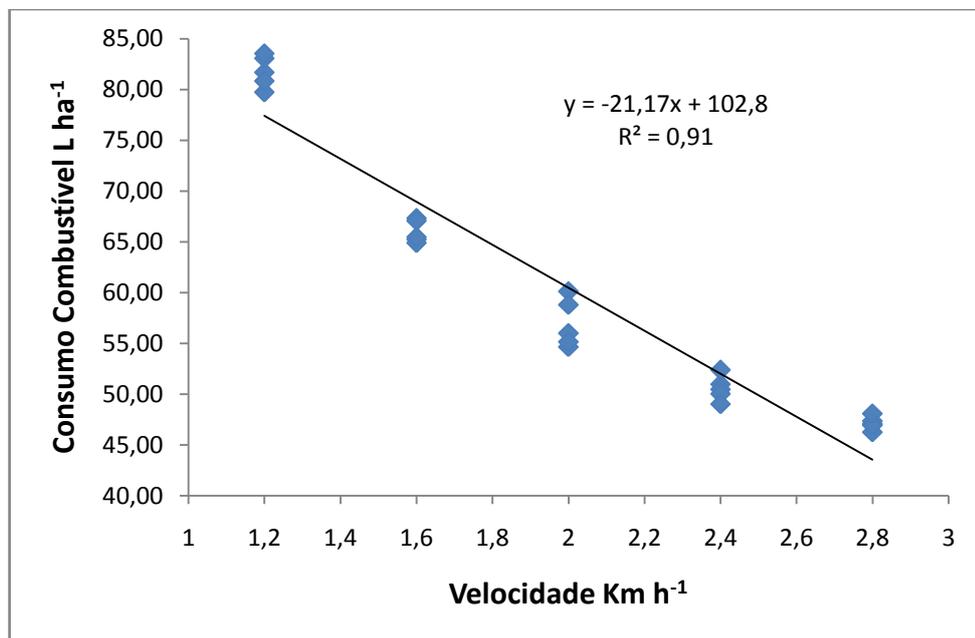


Figura 9. Consumo de combustível por área dos tratamentos na colhedora com sistema axial ($L ha^{-1}$).

Foi observado que o consumo de combustível por área diminuiu à medida que aumenta a velocidade de deslocamento. A maior velocidade de deslocamento (2,8

km h⁻¹) apresentou menor consumo de combustível por área próximo a 47 L ha⁻¹, e para a menor velocidade (1,2 km h⁻¹) o consumo chegou próximo a 85 L ha⁻¹.

Chioderoli et al. (2012) avaliando perdas de grãos e distribuição de palha na colheita mecanizada de soja com uma colhedora de grãos de fluxo axial de duplo rotor, equipada com motor de 394 cv potência e com plataforma de corte de 9,14 m de largura, obteve um consumo médio por área de 7,54 L ha⁻¹.

O consumo por área em função da velocidade de deslocamento se comporta de maneira oposta ao consumo horário, sendo que isso se explica pelo fato de que quando se eleva a velocidade de deslocamento a capacidade de colheita também se eleva conforme observado por Belardo (2010).

Como comentado anteriormente, apesar de ambas as colhedoras utilizarem as mesmas velocidades de deslocamento, estas diferem quanto a potência de motor e tamanho de plataforma, o que conseqüentemente leva a diferentes consumos de combustível, em decorrência de atuarem de formas distintas no processo de colheita. 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 descreve Lopes (2000).

4.3. Consumo de combustível por unidade (sacas) de arroz colhido (L saca⁻¹)

Os resultados da análise de variância para consumo horário de combustível em L saca⁻¹ para os diferentes sistemas de trilha estão descritos na tabela 7:

Tabela 7 – Resultados da análise de variância pra o parâmetro consumo combustível (L saca⁻¹) nas colhedoras ensaiadas;

FV	GL	SQ	QM	Fc	Pr>Fc
Colhedoras	2	0.167031	0.083516	1645.807	0.0000
Velocidades	4	0,061935	0.015488	305.220	0.0000
Colhedoras*Velocidades	8	0.027912	0.003489	68.755	0.0000
Erro	45	0.002284	0.000051		
Total Corrigido	59	0.259179			
CV (%) = 3,09					Número de Observações: 60

Com base nos resultados percebe-se que a interação entre colhedoras e velocidades foi significativa (5% probabilidade), o qual apresentou um coeficiente de variação baixo (3,09%).

A tabela 8 apresenta os resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por saca de arroz colhida ($L \text{ saca}^{-1}$) para os tratamentos avaliados.

Tabela 8 - Síntese da análise do teste de médias para o parâmetro consumo combustível ($L \text{ saca}^{-1}$) nas colhedoras avaliadas;

Sistema de Trilha	Tratamentos				
	1,2 km h ⁻¹	1,6 km h ⁻¹	2,0 km h ⁻¹	2,4 km h ⁻¹	2,8 km h ⁻¹
Híbrido	0,211 Ac	0,191 Ab	0,184 Ab	0,167 Aa	0,163 Aa
Radial	0,234 Bc	0,210 Bb	0,194 Ba	0,191 Ba	0,188 Ba
Axial	0,411 Ce	0,331 Cd	0,287 Cc	0,254 Cb	0,236 Ca

C.V. (%) = 3,5

Médias seguidas por letras maiúsculas distintas nas colunas e minúsculas distintas nas linhas diferem estatisticamente entre si pelo teste de Tukey a 5% de probabilidade.

Pela Tabela 8, nota-se que todos os parâmetros analisados apresentaram diferença estatística significativa para as colhedoras avaliadas, observando-se que o consumo de combustível por saca diminuiu à medida que se aumentou a velocidade de deslocamento, isso se caracteriza pelo fato de que em velocidade maiores se eleva a capacidade de colheita.

A colhedora equipada com sistema de trilha híbrido foi a que apresentou o menor consumo de combustível efetivo por saca em comparação com a colhedora equipada com sistema de trilha radial. Apesar de apresentar maior potência do motor está dispões de um tamanho de plataforma superior (7,5 metros), o que possibilita uma maior capacidade de colheita de arroz, diluindo assim o consumo em comparação com a colhedora de sistema de trilha radial, que apesar de apresentar menor potência de motor, dispõe de uma plataforma de menor tamanho (4,8 metros), o que diminui sua capacidade de colheita, fazendo com que o trajeto e tempo para colher uma determinada área seja maior e conseqüentemente aumente o consumo por saca.

Já a colhedora equipada com sistema de trilha axial foi a que apresentou um maior consumo por saca de arroz colhido. Isso ocorre devido a máquina apresentar maior potência do motor (325 cv), e uma plataforma de (7,5 metros), elevando assim seu consumo de combustível, porém sua capacidade operacional é superior as demais colhedoras avaliadas, de modo que a quantidade de produto colhida seja maior, justificando, em parte, seu gasto energético.

Carvalho Filho (2000) em estudo de desempenho operacional e econômico de uma colhedora de cana-de-açúcar, observou que a medida que se eleva a velocidade de deslocamento uma redução no consumo de combustível em litros por tonelada colhida.

Nery (2000), avaliando o desempenho operacional e econômico de uma colhedora sob condições de cana crua, em quatro velocidades (1,5; 3,0; 5,0 e 7 km h⁻¹), sob espaçamento de 1,4 metros, verificou que o aumento da velocidade da colhedora resultou em aumentos na capacidade operacional, frente a diminuição no consumo de combustível por tonelada de cana colhida, resultando conseqüentemente, em redução do custo por tonelada.

Belardo (2010), avaliando o desempenho efetivo de três modelos de colhedoras de cana, operando em canavial sem queima previa, sob duas velocidades (5 e 7 km h⁻¹), o autor verificou que o aumento da velocidade de deslocamento trouxe benefícios de ordem econômica a operação, e que os consumos de combustíveis foram menores em maiores velocidades.

5. CONCLUSÕES

A colhedora equipada com sistema de trilha radial é a que apresenta o menor consumo horário combustível, porém com menor capacidade operacional.

Para os parâmetros consumo por unidade de produto colhido e por área a colhedora equipada com sistema de trilha híbrido é a que apresenta os menores consumos de combustível.

6. REFERÊNCIAS

AGROSHOP MT. **Colheitadeiras.** Disponível em: <<http://www.agroshopmt.com.br/9650.html>>. Acesso em: 15 ago. 2017.

ARNOLD, R.E.; LAKE, J.R. Experiments with rasp bar threshing drums. III Power requirement. **Journal of Agricultural Engineering Research**, Silsoe, v.9, p.348-355. 1964

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

BARATA, T.; TOLEDO, R. **Mensuração do custo de produção de arroz irrigado no rio grande do sul safra 2014/2015.** 25ª Abertura oficial da colheita do Arroz. 5, 6 e 7 de fevereiro de 2015. Tapes - RS. Disponível em: <<http://federarroz.com.br/pdf/TiagoBarata-CustosProducaoArrozRS.pdf>>. Acesso em: 15 ago. 2017.

BELARDO, G. C. **Avaliação de desempenho efetivo de três colhedoras em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sem queima.** 2010. 136 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Piracicaba, 2010.

BJORK, A. **Power requirement for threshing and separation in a rotary combine.** ASAE, St. Joseph, 1988.

BRONSON, E. C.; MCDOWELL T. A. **Agricultural Harvester with Accelerated Draper Belt Unload.** Estados Unidos da América, patente 20100223896. 09 set 2009.

CAMOLESE, H. S.; BAILO, F. H. R.; ALVES, C. Z. Perdas quantitativas e qualitativas de colhedoras com trilha radial e axial em função da umidade do grão. **Brazilian Journal of Biosystems Engineering**, v. 9, n. 1, p. 21-29, 2015.

CARLOS, F. S.; MARCOLIN, E.; FERNANDES, R. S.; CAMARGO, F. A. O. 2015. **Evolução da produtividade de arroz irrigado sob diferentes sistemas de manejo do solo por longo prazo.** Disponível em: <<http://www.cbai2015.com.br/docs/trab-5-7899-245.pdf>>. Acesso em: 18 ago. 2017.

CARVALHO FILHO, S. M. **Colheita mecanizada: desempenho operacional e econômico em cana sem queima prévia.** 2000. 108 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

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

CASTRO, L. H. S.; FERREIRA, J. A. **Colhedora Axial.** 2007. Trabalho Acadêmico da disciplina Análises de Máquinas Agrícolas – Faculdades Associadas de Uberaba, Uberaba, 2007. Disponível em: <<http://pt.scribd.com/doc/74786177/Colhedora-Axial-Jose-Arantes-Leonardo-Humberto>>. Acesso em: 15 nov. 2012.

CONAB. Companhia Nacional de Abastecimento. **Compêndio de Estudos Conab / Companhia Nacional de Abastecimento**. – v. 1 (2016). - Brasília: Conab, 2016. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>> Acessado em: 16 ago. 2017.

_____. Companhia Nacional de Abastecimento. **Custos do Rio Grande do Sul, safra 2015**. 2015. Disponível em <<http://www.conab.gov.br/detalhe/php?c=19247&t=this>> Acessado em: 16 ago. 2017.

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.

_____. **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.

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

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

CUNHA, J. P. A. R.; OLIVEIRA, P.; SANTOS, C. M.; MION, R. L. Qualidade das sementes de soja após a colheita com dois tipos de colhedora e dois períodos de armazenamento. *Ciência Rural*, v. 39, n. 5, p. 1420-1425, 2009.

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

DALZOTO, M. **Caracterização de parâmetros agrônômicos e operacionais da colheita mecanizada da cultura do feijão (*Phaseolus vulgaris* L.)**. 2009. 74p. (Dissertação), Universidade Estadual de Ponta Grossa, Ponta Grossa.

DEERE & COMPANY. Measuring machine capacity. In FMO – **Fundamentals of Machine Operation**: Machinery Management. Moline, Illinois. 1975. Chapter 2, 28p.

DODDS, M. E. Power requirements of a self-propelled combine. *Canadian Agricultural Engineering*, Saskatoon, v.10, n.2, p.74-76, 90, 1968.

EMPRESA BRASILEIRA DE PESQUISA AGROPECUÁRIA - EMBRAPA. **Cultivo do Arroz de arroz irrigado no Brasil**. 2005. Disponível em <<http://sistemas.deproducao.cnptia.embrapa.br/FontesHTML/Arroz/ArrozTerrasAltasMatoGrosso/colheita.htm>> Acesso: 12 de Agosto, 2017.

FERREIRA, D. F. SISVAR: um programa para análises e ensino de estatística. *Revista Symposium*, v.6, n.2, p.36-41, 2008.

HANSON P. A. M. et al. A methodology for measuring the effects of transient loads on the fuel efficiency of agricultural tractors. **Applied Engineering in Agriculture**, v.19, n.3, p.251-257, 2003. Disponível em: <<http://dx.doi.org/10.13031/2013.13657>>. Acesso em: 23 set. 2017.

INSTITUTO RIO GRANDENSE DO ARROZ – IRGA. **Custo de produção de arroz irrigado no RS: safra 2015/2016**, 2016. Disponível em: <http://www.irga.rs.gov.br/uploads/Custos_de_Producao.pdf>. Acesso em: 16 set. 2017.

INSTITUTO RIO-GRANDENSE DO ARROZ – IRGA. **Lavoura Arrozeira**, v.56, n.445, 2008.

KIM, S. H.; GREGORY, J. M. **Power requirement model for combine cylinders**. ASAE, St. Joseph, 1989. 10p. Paper No. 89-1592.

LIMA, C. M. **Desempenho de colhedoras de uma e duas fileiras, semi-montadas para colheita mecanizada direta de milho**. 2008. Tese (Mestrado) – Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2008. Disponível em: <<http://www.teses.usp.br/teses/disponiveis/11/11148/tde.../carlosmagno.pdf>>. Acesso em: 25 set. 2017.

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.

LYRA, G. A. **Consumo de combustível de duas colhedoras de cana-de-açúcar em função da velocidade e rotação do motor**. 2012. 53 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

MAZETTO, F. R.; LANÇAS, K. P. Avaliação do desempenho operacional e energética de colhedoras na cultura da soja (*Glycine Max* (L) Merrill). **Energia na Agricultura**, v.24, p.106-118, 2009.

MAZZONETTO, A. W. **Colheita integral de cana (*Saccharum spp.*) crua, análise de desempenho operacional**. 2004. 88 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2004.

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

_____. **Máquinas para colher cereais**. Piracicaba: ESALQ, 1984. 66 p.

MORAES, M. L. B. **Máquinas para colheita e armazenamento de grãos**. 2ª Ed., Pelotas, Ed. Universitária/UFPel, 2005, 151p.

MORAES, M. L. B. et al. **Máquinas para colheita e processamento de grãos**. Pelotas: Ed. UFPel, 1999.

NERY, M. S. **Desempenho operacional e econômico de uma colhedora em cana crua**. 2000. 108 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

NEVES, J. L. M. **Avaliação de perdas invisíveis em colhedoras de cana-de-açúcar e alternativas para sua redução**. 2003. 223 p, Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas 2003.

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

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

PIMENTEL-GOMES, F. **Curso de Estatística Experimental**. 12. ed. Piracicaba: Livraria Nobel, 1985. 467p.

PINTO, L. F. S.; LAUS NETO, J. A.; PAULETTO, E. A. Solos de várzea do Sul do Brasil cultivados com arroz irrigado. In: GOMES, A. da S.; MAGALHÃES JÚNIOR, A. M. de. Ed. **Arroz irrigado no Sul do Brasil**. Embrapa Informação Tecnológica, Capítulo 3, p.75-95, 2004.

RICHETTI, A. estimativa do custo de produção de Arroz Irrigado e de Terras altas, Safra 2007/08, para mato Grosso do Sul e Mato Grosso. **EMBRAPA – Comunicado técnico**. Dourados, MS. 2007.

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.

ROSA, J. H. M. **Avaliação de desempenho efetivo e econômico de uma colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em espaçamento duplo alternado**. 2013. 153 p. Dissertação (Mestrado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2013.

SANTOS, E. C. **Colheita mecanizada de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sem queima prévia: análise de parâmetros de desempenho efetivo**. 2012. 143p. Dissertação (Mestrado). Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”. Universidade de São Paulo. Piracicaba, 2012.

SCHMIDT, A. B. **Desenvolvimento de painéis multiplex de marcadores microssatélites e mapeamento de QTLs de tolerância à seca e ao frio em linhagens puras recombinantes de arroz (*Oryza sativa* L.)**. 1 v. Tese (Doutorado) - Universidade Federal de Santa Catarina, Centro de Ciências Agrárias, Programa de Pós-Graduação em Recursos Genéticos Vegetais, Florianópolis, 2009.

SCHMIDT JUNIOR, J. C. **Avaliação do desempenho efetivo de colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2011. 108 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

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.

SIEMENS, J. C.; BOWERS, W. W. Machinery management: how to select machinery to fit the real needs of farm managers. **East Moline: John Deere Publishing**, 1999. 5p.

SILVA J. G. Máquinas no arrozal. **Revista Cultivar Máquinas**, v.3, p.6-9, 2004.

_____. Cuidados minimizam perdas na colheita. **A Lavoura**, n. 695, p.14-19, 2013.

SILVEIRA, G. M. **Mecanização**: Custo horário das máquinas agrícolas. DBO Agrotecnologia, São Paulo, v. 4, p. 26 -29. 2005.

SILVEIRA, G. M.; YANAI, K.; KURACHI, S. A. H. **Determinação da eficiência de campo de conjuntos de máquinas convencionais de preparo do solo, semeadura e cultivo**. Campina Grande, v. 10, n. 1, 2006

SIM TRACTOR. **Colhedora de grãos**. Disponível em: <<http://www.simtractor.com/forum/viewtopic.php?t=10797&sid=74e30eb168dd012608f06bca3d86a91e>>. Acesso em: 14 out. 2017.

SOCIEDADE SUL-BRASILEIRA DE ARROZ IRRIGADO (SOSBAI). **Recomendações técnicas da pesquisa para o Sul o Brasil**. XXX REUNIÃO TÉCNICA DA CULTURA DO ARROZ. Bento Gonçalves, RS. 10 a 12 de agosto de 2016.

SRIVASTAVA, A. K.; GOERING, C. E.; ROHRBACH, R. P. **Engineering principles of agricultural machines**. St. Joseph: ASAE, 1993. 601 p.

UFV. **Pós-colheita**: tecnologia, pesquisa e informação. Universidade Federal de Viçosa. 2011. Disponível em: <http://www.ufv.br/poscolheita/Parte3/Cereal/CerealWeb/Introducao_index.htm>. Acesso em: 14 out. 2017.

VALE, W. G. et al. Desempenho operacional e energético de um trator durante a operação de manuseio mecânico. **Ciência Global e Technology**, v.4, n.2, p.68-75, 2011. Disponível a partir de: <<http://rioverde.ifgoiano.edu.br/periodicos/index.php/gst/article/view/422>>. Acessado: 15 de julho de 2017.

VERNETTI JUNIOR, F. de J.; GOMES, A. S., FERREIRA, L.H.G. Arroz irrigado em sucessão a milho e soja. In: Congresso Brasileiro de Arroz Irrigado, 3.; Reunião da cultura de arroz irrigado, 25., 2003, Itajaí. **Anais... EPAGRI**, v.1. p.246–247, 2003.

VERNETTI JUNIOR, F. de J.; GOMES, A.S.; SCHUCH, L.O.B. Sustentabilidade de sistemas de rotação e sucessão de culturas em solos de várzea no Sul do Brasil. **Ciência Rural**, v. 6, n. 39, p.1708-1714, 2009.

WEIMAR, L. C. N.; TILLMAN, C. A. C.; MENEGHETTI, V.; FRANK, C. J.; CHIELE, D. P.; CERONI, P. S. Determinação de perdas na colheita mecanizada de arroz irrigado - variedade irga 422. In: XVIII Congresso de iniciação científica (CIC). **Anais**. Pelotas, 2009.