

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

**CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE DUAS COLHEDORAS DE CANA-  
DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE E ROTAÇÃO DE  
MOTOR**

**GABRIEL ALBUQUERQUE DE LYRA**

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP

Junho – 2012

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

**CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE DUAS COLHEDORAS DE CANA-  
DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE E ROTAÇÃO DE  
MOTOR**

**GABRIEL ALBUQUERQUE DE LYRA**

Orientador: Professor Doutor Kléber Pereira Lanças

Dissertação apresentada à Faculdade de Ciências Agronômicas da Unesp - Campus de Botucatu, para obtenção do título de Mestre em Agronomia (Energia na Agricultura).

BOTUCATU – SP

Junho – 2012

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

L992 Lyra, Gabriel Albuquerque de, 1988-  
Consumo de combustível de duas colhedoras de cana-de-açúcar em função da  
velocidade e rotação de motor / Gabriel Albuquerque de Lyra.- Botucatu  
:[s.n.], 2012  
xi, 53 f. : il., color., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista  
Faculdade de Ciências Agrônomicas, Botucatu, 2012  
Orientador: Kléber Pereira Lanças  
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar - colheita. 2. Máquinas agrícolas. 3. Consumo de  
combustível. I. Lanças, Kléber Pereira. II. Universidade Estadual Paulista  
"Júlio de Mesquita Filho" (Campus de Botucatu). Faculdade de Ciências  
Agrônomicas. III. Título.

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

CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "CONSUMO DE COMBUSTÍVEL DE DUAS COLHEDORAS DE CANA-  
DE-AÇÚCAR EM FUNÇÃO DA VELOCIDADE E ROTAÇÃO DO  
MOTOR"

ALUNO: GABRIEL ALBUQUERQUE DE LYRA

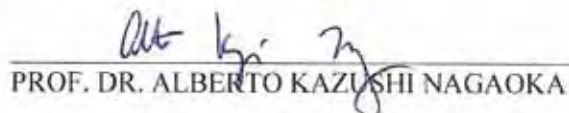
ORIENTADOR: PROF. DR. KLEBER PEREIRA LANÇAS

Aprovado pela Comissão Examinadora



---

PROF. DR. KLEBER PEREIRA LANÇAS



---

PROF. DR. ALBERTO KAZUSHI NAGAOKA



---

PROF. DR. FLAVIO RIELLI MAZETTO

Data da Realização: 23 de julho de 2012.

***DEDICO***

Aos meus pais Israel de Andrade Lyra Filho e Josimeire Albuquerque de Lyra

## AGRADECIMENTOS

A Deus, pelo dom da vida, força e determinação que me fez concluir mais esta etapa em minha carreira.

Ao Professor Doutor Kléber Pereira Lanças, do Departamento de Engenharia Rural da FCA-UNESP, por acreditar no meu trabalho, me aceitar como membro da equipe de trabalhos do NEMPA, por ser um orientador sempre prestativo, um exemplo na vida acadêmica e acima de tudo um grande amigo.

Aos meus pais Israel de Andrade Lyra Filho e Josimeire Albuquerque de Lyra pela educação, carinho e incentivo dados em todos os momentos da minha vida.

Ao amigo de todas as horas e compadre Mestre Fabrício Campos Masiero pela amizade, respeito e dedicação em ajudar sempre.

Aos amigos Magno Luiz de Abreu e Elizeu Brachtvogel por terem me recebido de braços abertos em Botucatu no início da minha jornada no mestrado.

Aos amigos de república Elizeu Brachtvogel, Givaldo Dantas Sampaio Neto, Lucas Almeida de Holanda, Magno Luiz de Abreu e Rômulo Pimentel Ramos pela agradável convivência.

Ao amigo Gean Gerônimo pela apoio na coleta dos dados da minha dissertação junto a Usina Santa Cândida.

Aos colegas NEMPA – Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais: Camilo Giachini, Carlos Renato Ramos, Diego Fiorese, Emanuel Spadim, Fabrício Masiero, Felipe Machado, Fernando Campos, Guilherme Oguri, Gustavo Montanha, Indiamara Marasca e Leonardo Monteiro.

A CAPES, pela disponibilidade de bolsa de auxílio financeiro durante o curso de mestrado.

A todos os funcionários do Departamento de Engenharia Rural pela atenção, amizade e serviços prestados. Às secretárias da Seção de Pós-graduação da FCA-UNESP, Câmpus de Botucatu pela atenção e atendimento.

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

## SUMÁRIO

	Página
1 RESUMO.....	1
2 SUMMARY.....	3
3 INTRODUÇÃO.....	5
4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA .....	7
4.1 Cana-de-açúcar.....	7
4.2 Cana-de-açúcar no Brasil.....	8
4.3 Colheita de cana-de-açúcar.....	11
4.3.1 Colheita mecanizada de cana-de-açúcar.....	13
5 MATERIAL E MÉTODOS.....	18
5.1 Localização da área experimental.....	18
5.2 Colhedoras.....	18
5.3 Consumo de combustível.....	20
5.3.1 Calibração dos fluxômetros.....	20
5.3.2 Consumo horário de combustível.....	22
5.3.3 Consumo de combustível por área colhida.....	23
5.3.4 Consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida.....	23
5.4 Aquisição de dados.....	23
5.5 Delineamento experimental.....	24
6 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	25
6.1 Consumo horário de combustível.....	25
6.1.1 Consumo horário de combustível da colhedora A7700 .....	25
6.1.2 Consumo horário de combustível da colhedora A8800 .....	29
6.2 Consumo de combustível por área colhida.....	33
6.2.1 Consumo de combustível por área colhida pela colhedora A7700.....	33
6.2.2 Consumo de combustível por área colhida pela colhedora A8800.....	37
6.3 Consumo de combustível por tonelada de cana colhida.....	40

6.3.1 Consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida pela colhedora A7700.....	40
6.3.2 Consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida pela colhedora A8800.....	44
7 CONCLUSÕES.....	49
8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	50



## LISTA DE TABELAS

Tabela	Página
1 - Colhedoras utilizadas no experimento.....	19
2 - Resultados da análise de variância para consumo horário de combustível da colhedora A7700 .....	26
3 - Resultados da análise de variância para consumo horário de combustível da colhedora A8800.....	30
4 - Resultados da análise de variância para consumo de combustível por área colhida pela colhedora A7700.....	33
5 - Resultados da análise de variância para consumo de combustível por área colhida pela colhedora A8800.....	37
6 - Resultados da análise de variância para consumo de combustível por tonelada de cana colhida pela colhedora A7700.....	41
7 - Resultados da análise de variância para consumo de combustível por tonelada de cana colhida pela colhedora A8800.....	44

## LISTA DE FIGURAS

Figura	Página
1 - Figura 1. Esquema de uma colhedora de cana-de-açúcar picada com destaque para os principais órgãos ativos (NEVES, 2003).....	15
2 - A esquerda colhedora Case A7700, a direita colhedora Case A8800.....	19
3 - Fluxômetros volumétricos instalados na colhedora.....	20
4 - Calibração dos fluxômetros volumétricos.....	21
5 - Curva de calibração do fluxômetro 1.....	21
6 - Curva de calibração do fluxômetro 2.....	22
7 - Controlador lógico programável (CLP) e GPS.....	24
8 - Gráfico do resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo horário de combustível da colhedora A7700 em função da rotação do motor.....	26
9 - Gráfico do resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo horário de combustível da colhedora A7700 em função da velocidade de deslocamento.....	27
10 - Gráfico dos resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo horário de combustível da colhedora A7700 em função da rotação do motor nas diferentes faixas de velocidade.....	28
11 - Gráfico dos resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo horário de combustível da colhedora A7700 em função da faixa de velocidade deslocamento nas diferentes rotações do motor.....	29
12 - Gráfico do resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo horário de combustível da colhedora A8800 em função da rotação do motor.....	30
13 - Gráfico do resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo horário de combustível da colhedora A8800 em função da velocidade de deslocamento.....	31

14 - Gráfico dos resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo horário de combustível da colhedora A8800 em função da rotação do motor nas faixas de velocidade de deslocamento.....	32
15 - Gráfico dos resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo horário de combustível da colhedora A8800 em função da faixa de velocidade deslocamento nas diferentes rotações do motor.....	33
16 - Gráfico do resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por área colhida pela colhedora A7700 em função da rotação do motor.....	34
17 - Gráfico do resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por área colhida pela colhedora A7700 em cada faixa de velocidade de deslocamento.....	35
18 - Gráfico dos resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por área pela colhedora A7700 em função da rotação do motor nas diferentes faixas de velocidade de deslocamento.....	36
19 - Gráfico dos resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por área colhida pela colhedora A7700 em função da na faixa de velocidade nas diferentes rotações do motor.....	37
20 - Gráfico com resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo por área colhida pela colhedora A8800 em função da rotação do motor.....	38
21 - Gráfico com resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo por área colhida pela colhedora A8800 em função da faixa de velocidade de deslocamento.....	39
22 - Gráfico dos resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por área pela colhedora A8800 em função da rotação do motor nas diferentes faixas de velocidade de deslocamento.....	39
23 - Gráfico dos resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por área pela colhedora A8800 em função das faixas de velocidade de deslocamento nas diferentes rotações do motor.....	40

24 - Gráfico do resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por tonelada de cana colhida pela colhedora A7700 em função da rotação do motor.....	41
25 - Gráfico do resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por tonelada de cana colhida pela colhedora A7700 em função da faixa de velocidade de deslocamento.....	42
26 - Gráfico com resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida pela colhedora A7700 em função da rotação do motor nas diferentes faixas de velocidade de deslocamento.....	43
27 - Gráfico com resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida pela colhedora A7700 em função das faixas de velocidade de deslocamento nas diferentes rotações do motor..	44
28 - Gráfico do resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por tonelada de cana colhida pela colhedora A8800 em função da rotação do motor.....	45
29 - Gráfico do resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por tonelada de cana colhida pela colhedora A8800 em função da faixa de velocidade de deslocamento.....	46
30 - Gráfico com os resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para o consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida pela colhedora A8800 em função da rotação do motor nas diferentes faixas de velocidade de deslocamento.....	47
31 - Gráfico com os resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para o consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida pela colhedora A8800 em função das faixas de velocidade de deslocamento nas diferentes rotações do motor.....	47

## LISTA DE ABREVIATURAS

CLP – Controlador lógico programável.

F – Valor do teste F.

GL – Grau de liberdade.

kg.ha<sup>-1</sup> – Quilograma por hectare.

km.h<sup>-1</sup> – Quilometro por hora.

L.h<sup>-1</sup> – Litro por hora.

L.ha<sup>-1</sup> – Litro por hectare.

L.t<sup>-1</sup> – Litro por tonelada.

ml – Mililitro.

NS – Não significativo.

P – Significância.

QM – Quadrado médio do resíduo.

RPM – Rotações por minuto.

S – Significativo.

SQ – Soma dos quadrados.

t.dia<sup>-1</sup> – Toneladas por dia.

t.h<sup>-1</sup> – Toneladas por hora.

t.ha<sup>-1</sup> – Toneladas por hectare.

## 1 RESUMO

O setor sucroalcooleiro brasileiro encontra-se em pleno processo de modernização, utilizando novas tecnologias em diversas áreas o que demanda mão-de-obra qualificada dos técnicos envolvidos. A atual realidade deste setor frente ao avanço da produção de cana-de-açúcar, aos problemas causados pela queima da palha e da crescente demanda por mecanização agrícola nas diversas etapas do processo produtivo, torna a modernização do campo um caminho inevitável.

Um dos fatores que vêm sendo analisado e pesquisado de forma mais intensa é o consumo de combustível das colhedoras mecanizadas de cana-de-açúcar, visto que o mesmo está além dos valores estimados para essa operação. O alto consumo é decorrente da falta de treinamento adequado dos operadores, que trabalham com a máquina em potência máxima a maior parte do tempo, mesmo quando não é necessário.

Este trabalho teve como objetivo avaliar o consumo de colhedoras de cana-de-açúcar, para isso foram analisadas duas colhedoras: CASE IH modelo A8800, em canaviais de alta produtividade (mais de 100 t.ha<sup>-1</sup>), e CASE IH modelo A7700, em canaviais de menor produtividade (menos de 40 t.ha<sup>-1</sup>). As colhedoras foram avaliadas em três faixas de velocidade (5 a 6 km.h<sup>-1</sup>, 6 a 7 km.h<sup>-1</sup> e 7 a 8 km.h<sup>-1</sup>) e três diferentes rotações do motor (1900 RPM, 2000 RPM e 2100 RPM).

Os resultados mostraram que em canaviais de maior produtividade não foi viável utilizar a máquina na rotação de 1900 RPM, abaixo da recomendada pelos

fabricantes (2100 RPM). A colhedora A8800 teve consumo horário médio menor, quando utilizada com 2000 RPM no motor ( $54,4 \text{ L.h}^{-1}$ ). O mesmo ocorreu para o consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida, sendo o consumo a 1900 RPM do motor o mais alto ( $0,60 \text{ L.t}^{-1}$ ). Nas áreas de menor produtividade o menor consumo energético foi observado com a menor rotação do motor, pois a máquina não exigiu muita potência para colher este volume de plantas. Analisando a velocidade de deslocamento verificou-se que há uma tendência de que quanto maior esse parâmetro maior o consumo horário de combustível da colhedora; porém, os melhores resultados para o consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida foram obtidos nas faixas de maior velocidade, tanto para canaviais de alta produtividade quanto para os de menor produtividade por área.

FUEL CONSUMPTION OF SUGAR CANE'S HARVESTERS AS A FUNCTION OF OPERATING CONDITIONS, Botucatu, 2012.

Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista.

Author: GABRIEL ALBUQUERQUE DE LYRA

Adviser: KLÉBER PEREIRA LANÇAS

## 2 SUMMARY

The Brazilian sugar and ethanol sector is in the process of modernization, by using new technologies in several areas which demand skilled labor of the technicians involved. The actual reality of this sector forward to advancing the production of sugar cane, the problems caused by the burning of straw and growing demand for agricultural mechanization in the different of the productive process, modernization of the countryside makes an inevitable path.

One of the factors that have been examined and studied more intensively is the fuel consumption of mechanized harvesters for sugar cane, since it is beyond the estimated values for this operation. The high consumption results from the inadequate training of operators, working with the machine at full power most of the time, even when not necessary.

This work was aimed at evaluating the consumption of sugarcane's harvesters, to do this two sugarcane's harvesters were analyzed: CASE IH model A8800 in sugarcane high yield (over 100 t.ha<sup>-1</sup>), and CASE IH model A7700, lower yield (less than 40 t.ha<sup>-1</sup>). The harvester were evaluated at three speed ranges (5-6 km.h<sup>-1</sup>, 6-7 km.h<sup>-1</sup> and 7-8 km.h<sup>-1</sup>) and three different engine speed (1900, 2000 and 2100 revolutions per minute).

The results showed that higher yield of sugarcane field was not viability of using the machine well below by the manufacturer recommended (1900 RPM). The harvester A8800 the meddle of hourly consumption was lower when used the engine to 2000 RPM (54.4 l.h<sup>-1</sup>). The same happened to the fuel consumption per ton of sugarcane harvested, and the consumption of the engine at 1900 RPM was the highest (0.60 l.h<sup>-1</sup>). In the fields of



lower productivity the lowest energy consumption was observed with the lower engine speed because the machine did not require much power to reap this amount plant. Examining the speed ranges was found that there was a tendency that higher this parameter higher the hourly fuel consumption of the harvester. But the best results for fuel consumption per ton of sugarcane harvested were obtained at higher speed ranges, both for sugarcane fields of high productivity and to lower productivity.

### 3 INTRODUÇÃO

Combustíveis de fontes alternativas têm impulsionado o crescimento do setor sucroalcooleiro brasileiro, sendo o preço dos combustíveis fósseis e o impacto ambiental que estes combustíveis ocasionam os principais fatores que tornam o etanol um dos combustíveis mais competitivos no mercado mundial.

As atuais leis ambientais brasileiras determinam o fim das queimadas de canaviais em áreas mecanizáveis (áreas com até 12% de declividade) até 2021 e em áreas não mecanizáveis até 2031, além disso, o governo do Estado de São Paulo por meio da UNICA – União da Indústria de Cana-de-açúcar firmou um acordo, o Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro, com a maioria das indústrias canavieiras do estado antecipando o fim das queimadas de canaviais em áreas mecanizáveis para 2014. O fato de já haver uma data para o fim das queimadas faz com que as empresas do setor sucroalcooleiro priorizem o processo de adaptação às novas leis, esta adaptação se dá por meio da maximização do uso de mecanização nos canaviais.

Considerando-se todas as etapas do sistema produtivo canavieiro a colheita junto com o transporte da matéria prima até a unidade industrial, representam cerca de 30% de todos os custos envolvidos (variedades, fertilizantes, mão de obra, agroquímicos, operações mecanizadas). Esta é a principal razão motivadora dos grandes avanços ocorridos nos últimos 38 anos em sistemas mecanizados de colheita de colmos (RIPOLI & RIPOLI, 2009). Mesmo com este elevado custo a colheita mecanizada apresenta-se como alternativa viável por conta de sua capacidade operacional ser maior que o da colheita semimecanizada,

sendo o maior agravante desta tecnologia o alto consumo de combustível das colhedoras (cerca de 50 a 60 l.h<sup>-1</sup>).

Uma colhedora gasta em média 60 litros de óleo diesel para colher um hectare de cana-de-açúcar, considerando o atual preço do óleo diesel em torno de 2,04 reais por litro (ANP, 2012), esta colhedora gastará em torno de R\$ 122,00 por hectare colhido, colhendo em média 10 ha por dia o gasto diário com combustível é superior a R\$ 1.200,00. Com os resultados obtidos neste trabalho será possível minimizar estes gastos com combustível.

O objetivo deste trabalho foi avaliar o consumo de combustível de duas colhedoras de cana-de-açúcar em diferentes condições operacionais de velocidade de deslocamento e rotação do motor das máquinas.

## 4 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

A cultura da cana-de-açúcar apresenta uma grande diversidade de produtos comerciais a partir de seus resíduos sólidos e líquidos de moagem. Destacam-se nessa lista de produtos, o açúcar, o álcool e a cogeração de energia elétrica gerada com a queima do bagaço e do palhiço. Para dar início aos processos industriais é preciso realizar a colheita da matéria prima no campo, existem três sistemas para realização deste processo: manual, semimecanizado e mecanizado. No sistema mecanizado, que é o foco deste trabalho, o corte e o carregamento são realizados mecanicamente para aumentar a eficiência de colheita.

### 4.1 Cana-de-açúcar

A cana-de-açúcar é da família *Poaceae*, gênero *Saccharum*, que produz colmos, com fibra e ricos em açúcar. A parte aérea é constituída por caules, folhas e, dependendo do ambiente, flores. Os caules são colmos, subdivididos em nós e entrenós, e a parte subterrânea é formada pelo sistema radicular fasciculado, com intensa ramificação (CÂMARA, 1998)

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

Originária da Oceania (Nova Guiné) foram os árabes os responsáveis por disseminar a cultura no norte da África e sul da Europa, e os chineses levaram a cultura para Java e Filipinas, isso por volta século VIII, época das invasões. Na América, Colombo levou as primeiras mudas para São Domingos em 1493, e posteriormente foi trazida por outros navegantes para América Central e América do Sul. (MOZAMBANI et al., 2006).

A importância da cana-de-açúcar é decorrente de sua vasta utilidade, podendo ser empregada in natura, sob a forma de forragem para alimentação animal, ou como matéria-prima para a fabricação de melado, aguardente, rapadura e principalmente açúcar e etanol. Seus resíduos também possuem grande importância econômica, o bagaço pode ser queimado nas caldeiras e servir como combustível e o vinhoto ser transformado em adubo (CAPUTO et al., 2008).

#### **4.2 Cana-de-açúcar no Brasil**

Há mais de 500 anos, o açúcar tinha valor tão alto quanto o do ouro em toda a Europa, porque sua produção era limitada a quantidades que não supriam a demanda do mercado. Assim, o plantio de cana-de-açúcar era um negócio bastante rentável, mas que não era possível de se realizar na Europa, principalmente, por questões climáticas. Graças ao domínio da tecnologia naval, os portugueses se lançaram nas Grandes Navegações em busca de terras. Uma das idéias era plantar cana nas novas áreas para produzir açúcar. No início, a cana foi plantada no massapê, sob o clima tropical quente e úmido, com mão-de-obra escrava, da África. Assim, começou o primeiro ciclo econômico brasileiro, o “Ciclo da Cana-de-açúcar”. No século XIX, o Brasil, que já tinha sido o maior produtor mundial de açúcar, caiu para o quinto lugar, ficando com apenas 8% da produção mundial. Já no século XX, com o fim do Ciclo do Café, houve uma retomada do cultivo da cana para produzir açúcar para o mercado interno. São Paulo e Rio de Janeiro passaram a abastecer o Sul do País, fazendo com que a atividade entrasse em declínio no Nordeste (UNICA, 2011).

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

Em 1938, a mistura de 5% de etanol à gasolina foi estendida para toda gasolina produzida no país, decorrente do início da operação da primeira refinaria de Petróleo do Brasil. Com essas mudanças o etanol de subproduto passaria a ser visto como um fator de equilíbrio da balança comercial brasileira e de recuperação do setor agroindustrial, que nos anos 30 passava por intensa crise de superprodução (SILVA, 2010).

No ano de 1975, com a criação do PROÁLCOOL, programa do governo federal de incentivo à produção e uso de álcool como combustível (em substituição à gasolina), o país conseguiu evoluir na produção de álcool combustível por meio do processamento e fermentação da cana-de-açúcar. Este avanço tecnológico foi de fundamental importância para o Brasil enfrentar as crises do petróleo que se seguiram nas próximas décadas (PINHEIRO MACHADO, 2006).

Segundo Paulillo et al. (2006) o PROÁLCOOL abriu um importante mercado para o álcool que, aliado à abertura do mercado internacional para o açúcar, permitiu a expansão e sustentação do setor sucro-alcooleiro. O programa acelerou o crescimento e o desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar em novas regiões produtoras como o Paraná, Goiás, Mato Grosso e Mato Grosso do Sul.

O ciclo do PROÁLCOOL teve fim no final da década de 80 com uma crise de governo e de confiabilidade do setor sucroalcooleiro, gerada pelo desabastecimento do vasto mercado nacional que havia sido criado. O financiamento público ao programa escasseou a partir de 1987 enquanto o mercado internacional de açúcar teve preços em ascensão. Estes fatores por um lado desestimularam a expansão e a renovação dos canaviais e, por outro, levaram os produtores a desviar a matéria-prima da produção de etanol para a de açúcar, visando principalmente à exportação (RODRIGUES & ORTIZ, 2006).

Hoje o Brasil é dividido em duas macro regiões produtoras de cana-de-açúcar: a Centro-Sul compreendendo os estados das regiões Centro-Oeste, Sudeste e Sul e a macro região Norte-Nordeste representando os estados das regiões Norte e Nordeste do Brasil.

A lavoura de cana-de-açúcar continua em expansão no Brasil. As áreas em produção tiveram aumento considerável, sendo mais significativo nos Estados de: Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, Goiás e Mato Grosso. Nestes Estados, além do aumento da área cultivada, outras novas usinas entraram em funcionamento na safra passada. A produtividade dos canaviais destas novas unidades é superior às demais, por serem lavouras mais novas, o

que colaborou para que a queda da produtividade não fosse ainda maior. A área cultivada com cana-de-açúcar está estimada em 8,4 milhões de hectares, distribuídos em todos Estados produtores. O Estado de São Paulo continua sendo o maior produtor com 52% (4.370 mil hectares), seguido por Minas Gerais com 9% (743 mil hectares), Goiás com 8% (678 mil hectares), Paraná com 7% (611 mil hectares) Mato Grosso do Sul com 6% (481 mil hectares), Alagoas com 5% (467 mil hectares) e Pernambuco com 4% (326 mil hectares). Nos demais Estados produtores as áreas são menores, mas, com bons índices de produtividade (CONAB, 2011).

A expansão da área plantada com cana-de-açúcar tem comportamento diferenciado em todo o País. O maior percentual de aumento está na região Sudeste, responsável por 38% do total da área nova agregada. São Paulo foi o Estado que apresentou o maior aumento, acrescentando 265.444 hectares à área existente. Em Minas Gerais o aumento foi de 117.540 hectares. Outra região que apresentou crescimento significativo na área de expansão foi a Centro-Oeste, puxada por Goiás pelo plantio de 110.764 hectares, seguido pelo Mato Grosso do Sul, 73.499 ha e Mato Grosso, 15.704 ha. Na região Sul, o Paraná apresentou uma expansão de 39.555 hectares de novas lavouras de cana-de-açúcar. O total da área de expansão em todo País deve ficar em 697.771 hectares (CONAB, 2011).

A produtividade média brasileira de cana-de-açúcar está estimada em 68.289 kg/ha, 12% menor que a na safra 2010/11, que foi de 77.446 kg/ha. A previsão do total de cana moída na safra 2011/12 é de 571.471 milhões de toneladas, com queda de 8,4% em relação à safra 2010/11, que foi de 623,905 milhões de toneladas, o que significa que a quantidade de cana moída deve ser 52 milhões de toneladas a menos que a moagem da safra anterior (CONAB, 2011).

No mercado mundial, segundo o cálculo das taxas de crescimento obtidas a partir das projeções do AGE (Assessoria de Gestão Estratégica do Ministério da Agricultura), as exportações brasileiras de açúcar devem chegar a 32 milhões de toneladas na safra 2019/20 (crescimento de 4% a.a) e a produção de 47 milhões na mesma safra. Para o mercado de etanol, as projeções referentes à produção, consumo e exportação refletem grande dinamismo devido especialmente ao crescimento do consumo interno e das exportações. A produção de etanol projetada para a safra 2019/20 é de 63 bilhões de litros, mais que o dobro

da produção da safra 2008/09. O consumo interno para 2020 está projetado para 48 bilhões de litros e as exportações em 15 bilhões (MAPA, 2011).

O Brasil é exemplo de sucesso na produção e uso em larga escala de um combustível renovável e de baixo carbono, como se preconiza hoje no mundo. Recentemente, foi reconhecido pela agência ambiental dos Estados Unidos, a Environmental Protection Agency (EPA), que designou o etanol produzido no Brasil como “biocombustível avançado.” Paralelamente, cresce rapidamente o número de novas vertentes que vão gerar crescimento adicional nos próximos anos, como a bioeletricidade, os bioplásticos e a produção de hidrocarbonetos como diesel e querosene de aviação, a partir da cana-de-açúcar (JANK, 2010).

### **4.3 Colheita de cana-de-açúcar**

Entende-se por colheita de cana-de-açúcar a atividade que se inicia com o corte da planta no campo e termina em seu transporte até a usina para ser processada.

No início, a cultura da cana-de-açúcar era colhida manualmente e sem a utilização da queima do canavial. Somente na década de 50 com a invenção das máquinas carregadoras de cana-de-açúcar foi implantada a prática de queimar as palhas do canavial, com o intuito de se aumentar a produtividade do corte manual.

Ripoli (1996) definiu três sub-sistemas distintos de colheita no Brasil: manual, semimecanizado e mecanizado. O sistema manual, que consiste no emprego da mão-de-obra para o corte e carregamento da matéria prima, foi muito comum na região nordeste do país. O sistema semimecanizado, no qual o corte é manual e o carregamento é mecanizado é o mais comum no país, principalmente por grande parte dos produtores autônomos. No sistema mecanizado a matéria-prima é cortada e carregada sem a utilização direta da mão-de-obra.

A colheita mecanizada de cana-de-açúcar é meta entre a maioria das unidades sucroalcooleiras brasileiras e encontra-se em franca expansão (PEARCE, 2006). Nos últimos anos, a colheita tem passado por uma fase de substituição do corte manual para o mecanizado devido aos fatores mão-de-obra e ambiental. O fator mão-de-obra se deve ao elevado custo de encargos trabalhistas no Brasil e a escassez de trabalhadores para atender a



demanda crescente da produção de cana no país. O fator ambiental deve-se às pressões da sociedade para eliminação da queima da cana-de-açúcar (RIPOLI & RIPOLI, 2004).

Os processos convencionais de colheita manual ou mecânica, com queima prévia, visam apenas o aproveitamento dos colmos e estão constituídos de uma sequência de operações simples que incluem o corte da base, do ponteiro e empilhamento dos colmos. Tanto na colheita mecanizada quanto na semimecanizada o aproveitamento do palhiço não faz parte do processo de colheita, conseqüentemente este é separado dos colmos, mesmo que parcialmente, e deixado no campo para posterior recuperação. No caso do corte manual, a colheita sem queima prévia acarreta restrições ergonômicas e econômicas que inviabilizam a operação (BRAUNBECK, 1999).

A necessidade de se promover a limpeza parcial do canavial visando facilitar a operação de corte é a principal razão da queima. Dependendo das condições climáticas, tal procedimento pode reduzir entre 60 e 90%, a matéria vegetal estranha que acompanha a matéria prima colhida, porém a condição ideal de colheita da cana-de-açúcar é a planta madura e sem queima que deve ser limpa e processada o mais rápido possível (RIPOLI & RIPOLI, 2009).

Como desvantagens do uso da queima para colheita aparecem problemas como a destruição de inimigos naturais da broca da cana-de-açúcar (*Diatraea Saccharalis*), as dificuldades na conservação e purificação dos caldos, a maior exposição do solo podendo causar erosão, entre outros.

A mudança entre o sistema de colheita da cana-de-açúcar com o uso de fogo para a colheita mecanizada foi denominado de processo de cana verde ou cana crua, e é um processo irreversível, gradativo e que se torna contínuo, previsto na legislação estadual paulista e segundo a Lei nº 11.241 que dispõe sobre a queima da palha da cana-de-açúcar e foi regulamentada pelo decreto nº 47.700, de 11 de março de 2003, que apresenta, em seu artigo 2º, a tabela de eliminação gradativa do atual processo de cultivo, o sistema de colheita com queima prévia deverá ser totalmente substituído em 30 anos, num prazo que se encerra em 2031. A partir daí, não mais será permitida a queima da palha de cana-de-açúcar (LEME FILHO, 2009).

A UNICA, representando a indústria paulista produtora de açúcar, etanol e bioeletricidade e o Governo do Estado de São Paulo, assinaram, no dia 4 de junho de

2007, o Protocolo Agroambiental do Setor Sucroalcooleiro. Esse Protocolo, de adesão voluntária, estabeleceu uma série de princípios e diretrizes técnicas, de natureza ambiental, a serem observadas pelas indústrias da cana-de-açúcar. Assim, o setor paulista se comprometeu a antecipar, em até 14 anos, os referidos prazos. Em fevereiro de 2008, a Secretaria Estadual do Meio Ambiente informava que 141 indústrias de açúcar e etanol já haviam aderido ao Protocolo, recebendo o respectivo “Certificado de Conformidade Agroambiental”. Essas adesões correspondem a mais de 90% do total de cana produzida no Território Paulista (UNICA, 2008).

Além de evitar problemas ambientais a colheita de cana-de-açúcar sem queima apresenta outras vantagens, como a maior cobertura vegetal do solo, evitando erosões, melhora o potencial de matéria orgânica no solo, menor infestação de microorganismos nos colmos evitando a deterioração, pois não há exsudação como na cana queimada e melhor manutenção da umidade do solo.

#### **4.3.1 Colheita mecanizada de cana-de-açúcar**

Segundo Furlani Neto (1984) a primeira máquina cortadora de cana foi patenteada em 1854 no Havaí, era tracionada por uma parelha de muares e além de cortar a cana, removia folhas e palhas dos colmos com escova de arame. Assim, fez se reconhecer pela primeira vez o corte mecânico.

A mecanização da colheita no Havaí iniciou-se em 1906, quando foi introduzida a primeira cortadora autopropelida. Em 1925, foi nomeado um comitê pela associação dos usineiros do Havaí para estudar dispositivos econômicos de trabalho, que foram posteriormente identificados em 286 tipos diferentes. Em 1937, tal comitê desenvolveu o primeiro protótipo integrado de colheita, visando suprir a escassez de mão de obra e reduzir o custo do corte manual (BELARDO, 2010).

Na Austrália e no Brasil a introdução em escala comercial das primeiras colhedoras combinadas automotrizes aconteceu na primeira metade da década de 70 com a marca australiana Toft. No ano de 1995, já com o nome de Austoft no Brasil, foi lançada a primeira colhedora combinada automotriz para colheita de cana sem queima prévia (NEVES, 2003).

O sistema de colheita mais utilizado hoje ainda consiste no corte manual da cana queimada, carregamento mecanizado com carregadoras e transporte até a unidade industrial em caminhões, semimecanizado. A principal mudança que ocorre deste sistema de colheita para o sistema totalmente mecanizado é a eliminação da queima da palha, do corte manual e do uso de carregadoras, visto que a colhedora combinada automotriz realiza o corte de base dos colmos com facões de base, a limpeza parcial, corta os ponteiros e ainda fraciona os colmos num só processo, jogando esse material diretamente no trator com transbordo ou caminhão transbordo que estará pronto para ser transportado até a indústria (COELHO, 2009).

Um dos principais fatores que influenciaram a mecanização do setor sucroalcooleiro aconteceu na década de 60, quando o setor sofreu as primeiras dificuldades de escassez de mão de obra que impulsionaram grandes mudanças principalmente nos sistemas de colheita. Essas mudanças tiveram início no subsistema de carregamento de matéria prima às unidades transportadoras, o qual passou a ser mecânico. Desde então, as operações de corte, carregamento e transporte (CCT) passaram por diferentes métodos, podendo ser CCT manuais, mecânicos ou mistos, por meio da colheita de cana queimada ou crua, com ou sem desponete, entre outras variáveis (PEREIRA, 1983).

Impulsionada pela legislação e pelas vantagens da colheita da cana-de-açúcar sem queima, a colheita mecanizada mostra-se como única alternativa viável para esta operação. Costa Neto (2006) adverte que a mecanização da colheita de cana-de-açúcar é inevitável, pois uma colhedora equivale a 100 cortadores, podendo chegar a capacidade de mais de  $600 \text{ t dia}^{-1}$ , comparada a 5 ou 6  $\text{t dia}^{-1}$  por pessoa. O autor afirma, ainda, que programas educacionais e de qualificação profissional são essenciais, assim como políticas públicas objetivas para minimizar reflexos do êxodo rural que provavelmente ocorrerá nos próximos anos.

Atualmente, aproximadamente 40% da área de cana-de-açúcar colhida utiliza o processo mecanizado de colheita, com ou sem queima prévia do canavial. As principais áreas de colheita mecanizadas são as que apresentam relevo adequado e regiões com problemas relacionados à dificuldade de contratação de mão de obra para a colheita manual. Este número tende a aumentar rapidamente considerando que nas novas áreas em

expansão de plantio de cana-de-açúcar existe a maior dificuldade de se encontrar mão de obra qualificada e disposta a exercer esta função (MAGALHÃES et al., 2008).

No Brasil são utilizadas com maior frequência as colhedoras combinadas automotrizes de cana picada. Nesse tipo de máquina, a cana passa por várias etapas dentro da colhedora, desde o momento do corte basal até o carregamento no veículo de transporte. Durante a colheita, a máquina (Figura 1), é posicionada em uma fileira de cana e quando se inicia o deslocamento da colhedora, os ponteiros são cortados pelo cortador de pontas. O sistema de alimentação é constituído pelos divisores de linhas, rolo alimentador e tombador, que direcionam a fileira de cana para o corte. O corte de base é realizado por dois discos rotativos com lâminas, e o recolhimento e transporte interno das canas inteiras é realizado por rolos alimentadores e transportadores. O corte da cana em rebolos é feito pelos picadores e a retirada das impurezas (limpeza) pelo extrator primário. Em seguida, os rebolos são elevados pelo elevador de taliscas e na parte superior, antes do descarregamento dos rebolos, ocorre uma segunda limpeza pelo extrator secundário (NEVES, 2003).

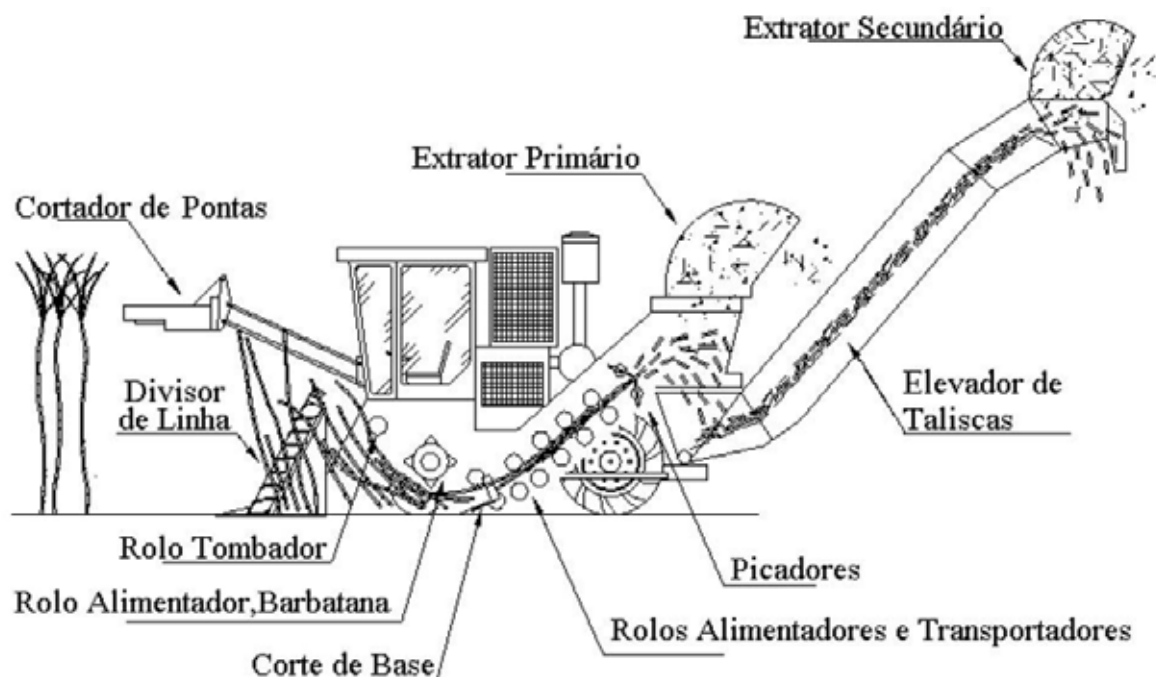


Figura 1. Esquema de uma colhedora de cana-de-açúcar picada com destaque para os principais órgãos ativos (NEVES, 2003).

A mecanização total ou parcial se apresenta atualmente como a única opção para a colheita da cana, tanto do ponto de vista ergonômico quanto econômico e, principalmente, do ponto de vista legal e ambiental, já que apenas o corte mecânico viabiliza a colheita sem queima prévia, o que por sua vez viabiliza o aproveitamento do palhiço (BRAUNBECK & MAGALHÃES, 1999).

Lopes (1995) cita que a colheita de cana-de-açúcar é atividade complexa, custosa e que para planejamento devem ser considerados fatores edafoclimáticos, vegetativos e de disponibilidade de recursos. Segundo Ripoli e Paranhos (1987), as características morfológicas e fisiológicas das variedades interferem no corte mecânico de cana-de-açúcar.

Ripoli e Ripoli (2008) afirmam que fatores como: condições agronômicas, ambientais, técnicas e de gerenciamento influenciam a operação de colheita mecanizada e caso esta não seja executada dentro de preceitos técnicos, podem comprometer a qualidade da matéria-prima, a produtividade e a longevidade do canavial.

Belardo (2010) observou que é difícil, em operação normal, obter com precisão a velocidade desejada, as variações ocorridas são perfeitamente aceitáveis, mesmo sendo a velocidade pré-estabelecida nas colhedoras.

A velocidade de deslocamento das colhedoras de cana-de-açúcar é influenciada diretamente pelas condições da cultura e do terreno; porém, tendo uma máquina sua velocidade elevada, sua capacidade de corte por unidade de tempo será maior. Geralmente, as colhedoras podem trabalhar com velocidade de até  $9,0 \text{ km.h}^{-1}$ , segundo especificações dos fabricantes, mas atualmente no estado de São Paulo, porém são utilizadas na faixa de  $4,0$  a  $6,0 \text{ km.h}^{-1}$ , nos talhões onde não há sistematização voltada para a colheita mecânica. As maiores velocidades em talhões não adequadamente sistematizados, principalmente no que se refere à condição da soqueira, levam inevitavelmente a um aumento de perdas de matéria-prima. A velocidade deve ser ajustada em função das características do talhão no que diz respeito à sistematização, porte do canavial e a produtividade agrícola estimada (RIPOLI & RIPOLI, 2002).

Ripoli et al. (2001), avaliaram o desempenho de colhedora de rodado de esteira em canavial de terceiro corte, porte ereto, produtividade de  $176 \text{ t.ha}^{-1}$  e previamente sistematizado pra colheita mecanizada com quatro velocidades de deslocamento: 1,5; 3; 5 e 7

km.h<sup>-1</sup>. Os resultados mostraram, para estas condições, que não houve influência da velocidade de deslocamento sobre as perdas totais de matéria prima, índice de matéria estranha total e qualidade tecnológica de matéria prima.

A velocidade de deslocamento é um fator significativo para o desempenho operacional das colhedoras de cana-de-açúcar e para o consumo de combustível. Quanto maior a velocidade maior será a capacidade operacional, com uma velocidade de deslocamento de 7 km.h<sup>-1</sup> a eficiência de campo chega a 75%. O consumo horário de combustível também é influenciado pela velocidade de deslocamento da colhedora, sendo que quanto maior a velocidade maior o consumo horário e menor o consumo por tonelada de cana colhida (CARVALHO FILHO, 2000)

Neves et al., (2006), através dos resultados obtidos em pesquisa, afirmou que o baixo desempenho das colhedoras, expresso pelos altos índices de perdas de matéria prima, ou a baixa eficiência de limpeza não está associado diretamente à velocidade de deslocamento da colhedora ou ao potencial de produção do canavial.

Visando suprir as deficiências da colheita mecanizada, os grandes fabricantes do setor de máquinas agrícolas que desenvolvem colhedoras de cana-de-açúcar no Brasil, vêm buscando melhorias principalmente referentes à qualidade de matéria-prima colhida, desempenhos operacionais e menores níveis de perdas.

## **5 MATERIAL E MÉTODOS**

### **5.1 Localização da área experimental**

O experimento foi conduzido na Usina Santa Cândida, do grupo Tonon Bioenergia, localizada no município de Bocaina, Estado de São Paulo, situada nas seguintes coordenadas geográficas: 22°06'22" de Latitude Sul, 48°28'46" de Longitude Oeste, com 532 metros de altitude.

As áreas experimentais foram nas fazendas Santa Luiza e Faveral. A fazenda Santa Luiza possui menos de 12% de declividade, estava plantada com a variedade RB85-5453 de porte ereto e com 37,6 toneladas por hectare de produtividade. Na fazenda Faveral a declividade também é inferior a 12%, a variedade que estava plantada era a RB92-579 com porte ereto e 102,1 toneladas por hectare de produtividade.

### **5.2 Colhedoras**

Foram utilizadas duas colhedoras de cana-de-açúcar, conforme observado na tabela 1 e na figura 2:

Tabela 1. Colhedoras utilizadas no experimento.

Colhedoras		
Marca*	Case IH	Case IH
Modelo*	A7700	A8800
Ano de fabricação	2009	2010
Horímetro	8.712 horas	4.240 horas
Motor	Cummins M11, Potência: 335cv (246 kW)	Scania DC9, Potência: 330cv (243kW)
Cortadores de pontas	Tambor separador bidirecional, equipado com tritador de palha.	Tambor separador bidirecional.
Rodado	Esteiras	Esteiras



Figura 2. A esquerda colhedora Case A7700, a direita colhedora Case A8800.

\*Marcas e modelos não expressam recomendações de uso pelo autor.



### 5.3 Consumo de combustível

Para medição do consumo horário e específico de combustível foram utilizados dois fluxômetros volumétricos M-III, da FLOWMATE fabricado pela OVAL Corporation\* do Japão e distribuído no Brasil pela K&K do Brasil, modelo LSN41L8-M2, vazão de 10 mL/pulso, conforme Figura 3, um instalado entre os filtros e a bomba injetora do motor da colhedora e o outro no retorno do combustível ao tanque. O consumo real foi calculado pela diferença entre os valores dos pulsos gerados pelos fluxômetros, os quais emitiram ao sistema de aquisição de dados, uma unidade de pulso a cada 10 mL de combustível que passou pelo mesmo.



Figura 3. Fluxômetros volumétricos instalados na colhedora.

#### 5.3.1 Calibração dos fluxômetros

Para calibração dos fluxômetros foram utilizados: um tanque com óleo diesel, uma proveta volumétrica graduada de 1 (um) litro, um CLP (controlador lógico programável), mangueiras e os fluxômetros.

\*Marcas e modelos não expressam recomendações de uso pelo autor.

As mangueiras foram utilizadas para conectar o tanque de óleo diesel ao fluxômetro, e o fluxômetro a proveta volumétrica. Com a utilização apenas da gravidade foi passado um litro de óleo diesel pelo sistema e verificado no CLP a quantidade de pulsos emitidos pelo fluxômetro conforme observado na figura 4.



Figura 4. Calibração dos fluxômetros volumétricos.

As figuras 5 e 6 apresentam as curvas de calibração para os fluxômetros 1 e 2 respectivamente.

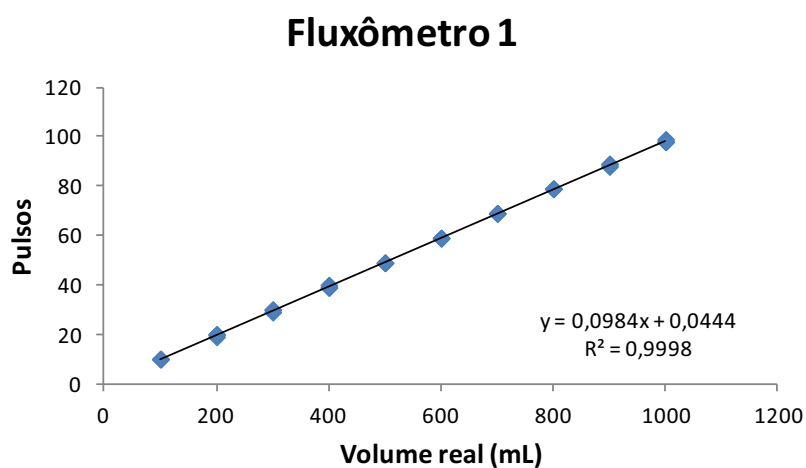


Figura 5. Curva de calibração do fluxômetro 1.

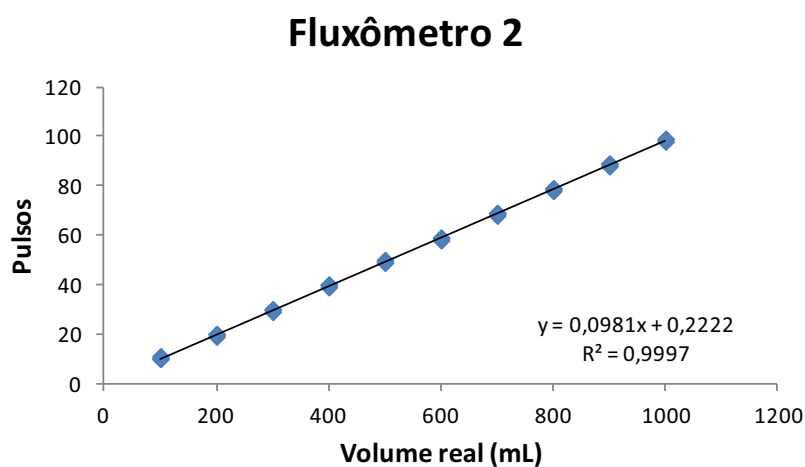


Figura 6. Curva de calibração do fluxômetro 2.

Os fluxômetros apresentaram precisão de 98,8% (calibrado antes e depois da realização dos ensaios).

### 5.3.2 Consumo horário de combustível

Os pulsos gerados pelos fluxômetros volumétricos foram convertidos em volume, considerando a vazão de 10 mL/pulso. O cálculo do consumo horário foi realizado de acordo com a Equação 1:

$$CCh = \frac{\sum (p_e - p_s) \cdot 3,6}{\Delta t} \quad (1)$$

Em que:

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

$\sum (p_e - p_s)$  = diferença entre os somatórios de pulsos dos fluxômetros, equivalente a volume de combustível gasto (mL), de entrada e de saída;

$\Delta t$  = tempo gasto (s);

3,6 = fator de conversão.

### 5.3.3 Consumo de combustível por área colhida

O consumo de combustível por área foi calculado pela equação 2:

$$CCa = Td \times CCh \quad (2)$$

Em que:

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

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

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

### 5.3.4 Consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida

O consumo de combustível por tonelada colhida foi calculado pela equação 3:

$$Ct = CCa / P \quad (3)$$

Em que:

$Ct$  = consumo de combustível por toneladas de cana colhida ( $L \cdot t^{-1}$ )

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

$P$  = produtividade do canavial ( $t \cdot ha^{-1}$ ), cedida pela unidade industrial.

## 5.4 Aquisição de dados

Para aquisição dos sinais obtidos pelos sensores instalados no sistema de alimentação de combustível utilizou-se um controlador lógico programável (CLP) para coleta dos dados, permitindo a leitura e o armazenamento dos sinais enviados pelos sensores.

Para a determinação da velocidade de deslocamento e área foi utilizado um GPS modelo MAP 60csx da marca Garmin\*.



Figura 7. Controlador lógico programável (CLP) e GPS.

### 5.5 Delineamento experimental

Foram analisadas três faixas de velocidade de deslocamento das colhedoras (5 a 6 km.h<sup>-1</sup>, 6 a 7 km.h<sup>-1</sup> e 7 a 8 km.h<sup>-1</sup>) e três rotações do motor (1900 RPM, 2000 RPM e 2100 RPM que é a recomendada pelo fabricante) em quatro repetições para cada tratamento. A colhedora A7700 foi submetida aos ensaios em uma área destinada a renovação do canavial com baixa produtividade (37,58 t.ha<sup>-1</sup>), enquanto a colhedora A8800 foi submetida aos ensaios em áreas com produtividade de 102,07 t.ha<sup>-1</sup>. Os dados foram submetidos a análise estatística através da análise de variância e as médias foram comparadas pelo teste Tukey a 5% de probabilidade.

\*Marcas e modelos não expressam recomendações de uso pelo autor.

## **6 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

Os dados referentes aos atributos estudados serão mostrados por meio de tabelas e gráficos, para melhor análise e interpretação dos resultados.

### **6.1 Consumo horário de combustível**

#### **6.1.1 Consumo horário de combustível da colhedora A7700**

Os dados apresentados na tabela 2 são os resultados da análise de variância para consumo horário de combustível da colhedora A7700, conforme observado os resultados apresentaram diferença significativa para todas variáveis analisadas,  $P < 0,05$ , e um baixo coeficiente variação, que comprova a precisão dos equipamentos utilizados no ensaio.

Tabela 2. Resultados da análise de variância para consumo horário de combustível da colhedora A7700.

	GL	SQ	QM	F	P
Rotação	2	1.844,93	922,47	71,36	0,0000 <sup>S</sup>
Velocidade	2	90,10	45,05	3,49	0,0451 <sup>S</sup>
Rotação * Velocidade	4	395,33	98,83	7,65	0,0003 <sup>S</sup>
Erro	27	349,04	12,93		
Total corrigido	35	2.679,40			
CV (%): 6,82					
Erro padrão: 1,04				Desvio Padrão: 3,64	
Média geral: 52,72				Número de observações: 36	

A figura 8 mostra o resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo horário de combustível da colhedora A7700.

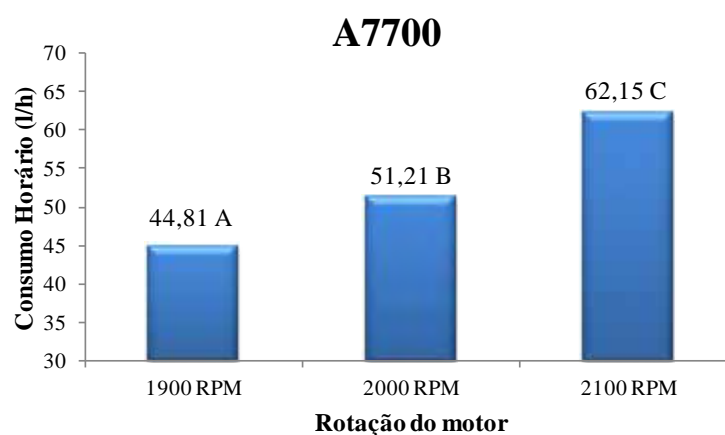


Figura 8. Gráfico do resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo horário de combustível da colhedora A7700 em função da rotação do motor.

No ensaio realizado com a colhedora A7700 o canavial apresentava uma baixa produtividade (menos de 40 t.ha<sup>-1</sup>), por conta deste fator o consumo horário foi significativamente menor quando o motor da colhedora permaneceu em menor rotação, uma

vez que a mesma não necessitava de alta potência para realização da colheita, gerando uma economia de mais de 17 litros de combustível por hora trabalhada.

Observa-se na figura 9 que a variável velocidade de deslocamento da colhedora comportou-se de maneira contrária a rotação do motor, sendo o menor consumo o da maior faixa de velocidade, resultado da baixa produtividade da cultura onde a colhedora não apresentou dificuldade em deslocar-se, diferente dos resultados encontrados por Neves (2011) que afirma que quanto maior a velocidade de deslocamento maior o consumo horário.

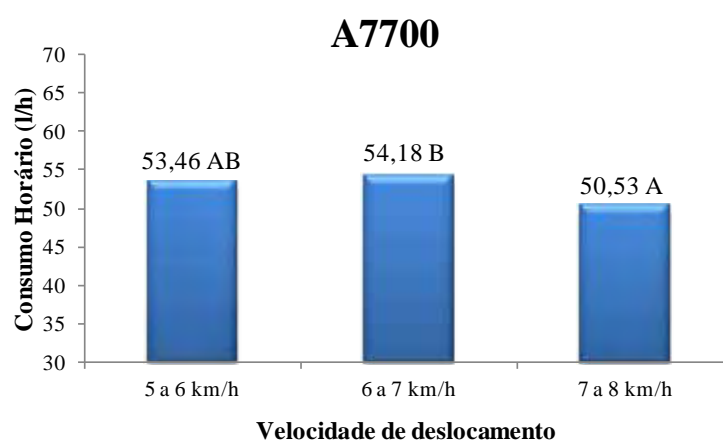


Figura 9. Gráfico do resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo horário de combustível da colhedora A7700 em função da velocidade de deslocamento.

A figura 10 mostra os resultados do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo horário da colhedora A7700 em função das rotações do motor nas diferentes faixas de velocidade de deslocamento.

Observa-se que nas faixas de velocidade de 5 a 6 km.h<sup>-1</sup> e de 6 a 7 km.h<sup>-1</sup> não houve diferença significativa entre o consumo nas rotações de 1900 e 2000 RPM, que foram significativamente menores que o consumo horário para rotação recomendada pelo fabricante (2100 RPM).



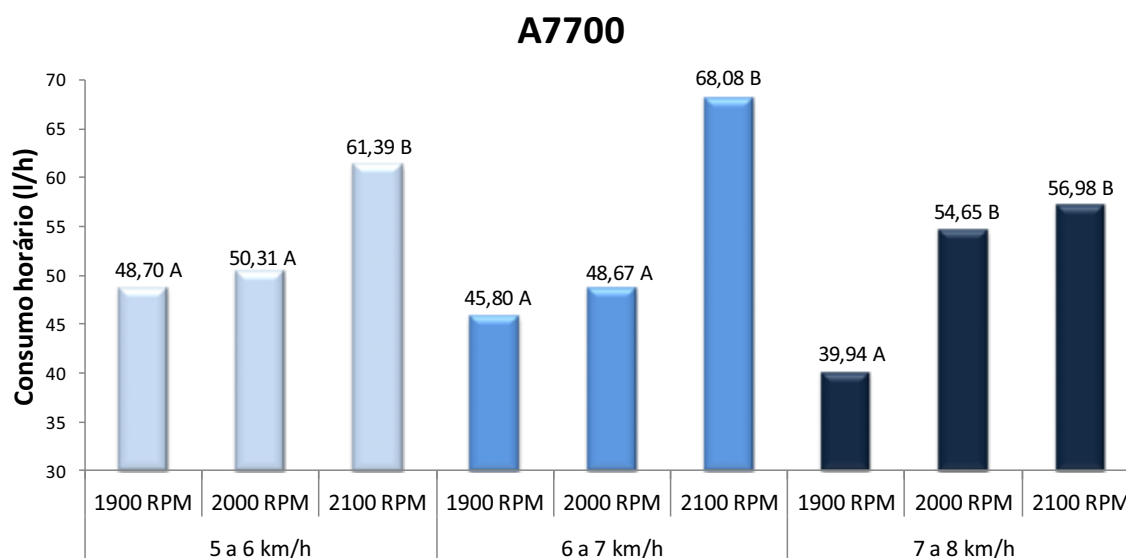


Figura 10. Gráfico dos resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo horário de combustível da colhedora A7700 em função da rotação do motor nas diferentes faixas de velocidade.

A figura 11 mostra os resultados do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo horário da colhedora A7700 em função das faixas de velocidade de deslocamento nas diferentes rotações do motor. Na faixa de velocidade mais alta o consumo foi significativamente menor na menor rotação (39,94 L.h<sup>-1</sup>), gerando uma economia de 17,04 l.h<sup>-1</sup> em relação a rotação de 2100 RPM, porém não houve diferença significativa do consumo na faixa de velocidade de 6 a 7 km.h<sup>-1</sup>. Independente da faixa de velocidade deslocamento houveram sempre maiores valores de consumo na mais alta rotação do motor da colhedora, não sendo significativo apenas na faixa de velocidade de 7 a 8 km.h<sup>-1</sup>.

Segundo Belardo (2010) há aumento nas capacidades de colheita, sendo elas, capacidade efetiva, capacidade efetiva bruta de matéria-prima, capacidade efetiva bruta de colmos e capacidade efetiva líquida de colmos, com o aumento da velocidade de deslocamento de colhedoras de cana-de-açúcar. Colhendo com o motor a 2000 RPM o consumo da colhedora A7700 não apresentou diferença significativa entre as faixas de velocidade, desta forma o ideal é trabalhar na maior faixa de velocidade aumentando a capacidade de colheita sem aumentar significativamente o consumo horário de combustível.

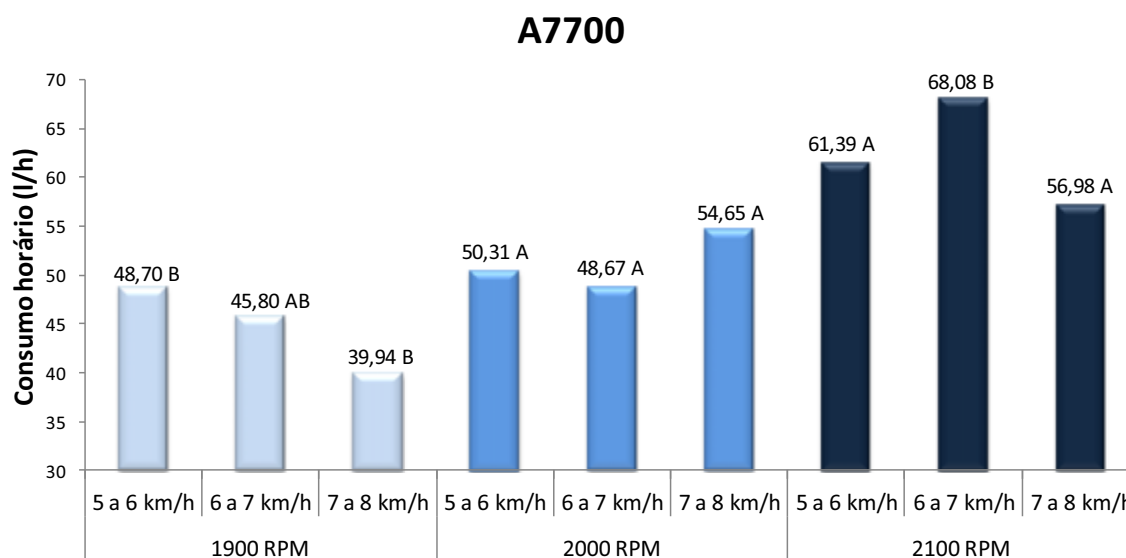


Figura 11. Gráfico dos resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo horário de combustível da colhedora A7700 em função da faixa de velocidade de deslocamento nas diferentes rotações do motor.

Na figura 11 observa-se que o consumo a 2100 RPM foi significativamente maior na faixa de velocidade de deslocamento de 6 a 7 km.h<sup>-1</sup>, e não houve diferença significativa entre as faixas de velocidade 5 a 6 e 7 a 8 km.h<sup>-1</sup>.

### 6.1.2 Consumo horário de combustível da colhedora A8800

Os dados apresentados na tabela 3 são os resultados da análise de variância para consumo horário de combustível da colhedora A8800, Conforme observado os resultados apresentaram diferença significativa para todas variáveis analisadas,  $P < 0,05$ , e um baixo coeficiente de variação.

Tabela 3. Resultados da análise de variância para consumo horário de combustível da colhedora A8800.

	GL	SQ	QM	F	P
Rotação	2	223,30	111,65	40,68	0,0000 <sup>S</sup>
Velocidade	2	116,66	58,33	21,25	0,0000 <sup>S</sup>
Rotação * Velocidade	4	168,04	42,01	15,31	0,0000 <sup>S</sup>
Erro	27	74,11	2,74		
Total corrigido	35	582,11			
CV (%): 2,68					
Erro padrão: 0,49				Desvio Padrão: 1,68	
Média geral: 57,89				Número de observações: 36	

A figura 12 mostra o resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo horário de combustível da colhedora A8800.

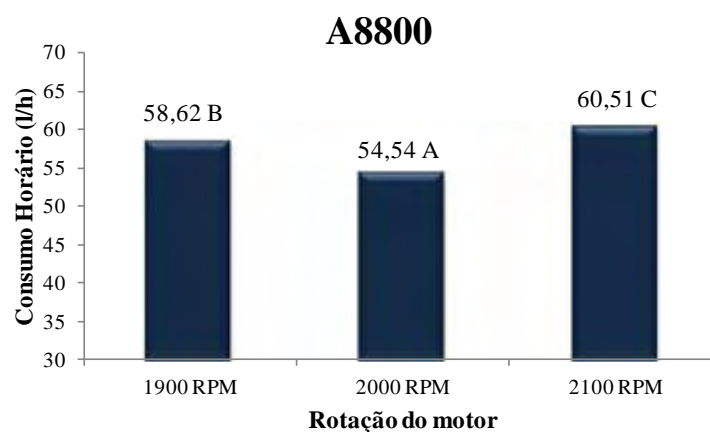


Figura 12. Gráfico do resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo horário de combustível da colhedora A8800 em função da rotação do motor.

A colhedora A8800 foi ensaiada em canavial com maior produtividade, o que explica o consumo maior a 1900 RPM que em 2000 RPM. Com o motor

a 1900 RPM a colhedora não apresentou potência suficiente para realização da colheita de maneira adequada, compensando esta deficiência aumentando na injeção de combustível no motor.

A figura 13 apresenta os resultados do teste de Tukey a 5% de probabilidade para faixas de velocidade de deslocamento da colhedora. Apesar da pequena diferença numérica o consumo foi significativamente maior na faixa de velocidade de 7 a 8 km.h<sup>-1</sup> (60,25 l.h<sup>-1</sup>), devido a maior quantidade de massa sendo processada pelo sistema industrial.

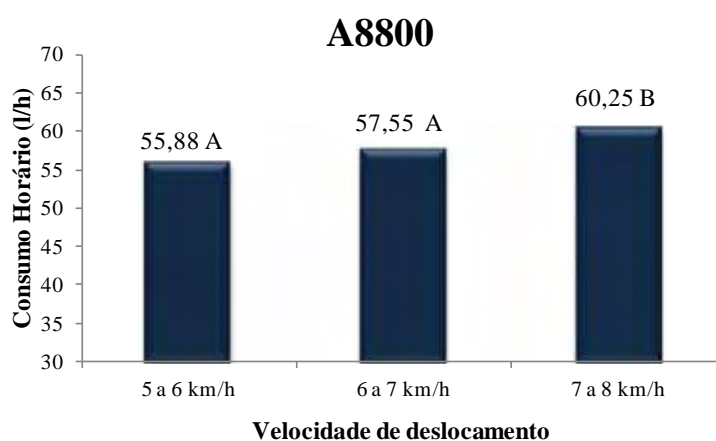


Figura 13. Gráfico do resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo horário de combustível da colhedora A8800 em função da velocidade de deslocamento.

A figura 14 apresenta os resultados do teste de Tukey a 5% probabilidade para o consumo horário da colhedora A8800 em função da rotação nas diferentes faixas de velocidade de deslocamento.

Cada faixa de velocidade apresentou um comportamento diferente, na faixa de velocidade de 5 a 6 km.h<sup>-1</sup> o consumo horário foi significativamente menor quando a máquina operou com 2000 RPM do motor, na faixa de velocidade de 6 a 7 km.h<sup>-1</sup> o consumo foi significativamente maior com 2100 RPM e não diferiu nas duas demais faixas.

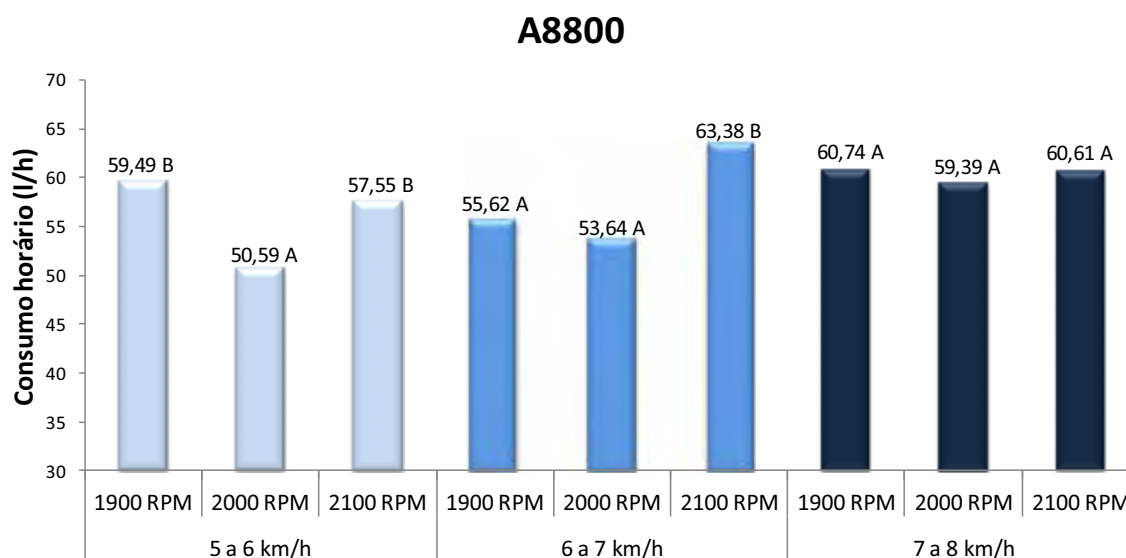


Figura 14. Gráfico dos resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo horário de combustível da colhedora A8800 em função da rotação do motor nas faixas de velocidade de deslocamento.

Na faixa de maior velocidade o consumo horário não diferiu entre os tratamentos, porém em todas as faixas de velocidade o consumo foi numericamente menor quando a colhedora operou com 2000 RPM no motor.

Na figura 15 é possível visualizar os resultados do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo horário em função da velocidade de deslocamento nas diferentes rotações do motor da colhedora.

Operando com o motor a 1900 RPM a colhedora A8800 apresentou um consumo significativamente menor quando colheu na faixa de velocidade de 6 a 7 km.h<sup>-1</sup> (55,62 l.h<sup>-1</sup>). Tanto colhendo a 2000 RPM quanto a 2100 RPM o consumo horário foi significativamente menor quando a colhedora operou na faixa de velocidade de 5 a 6 km.h<sup>-1</sup> (50,59 e 57,55 l.h<sup>-1</sup> respectivamente).

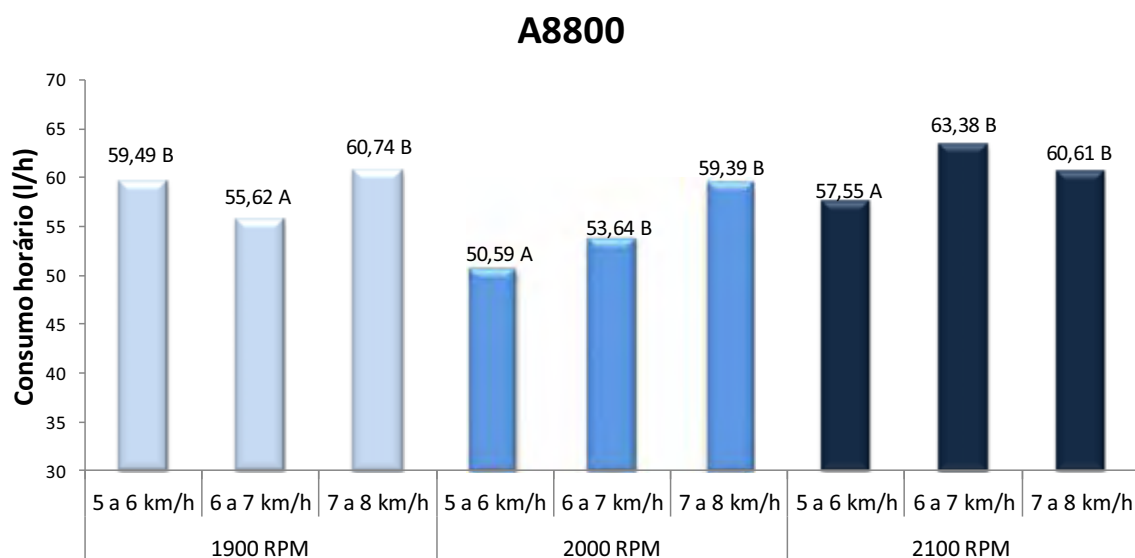


Figura 15. Gráfico dos resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo horário de combustível da colhedora A8800 em função da faixa de velocidade de deslocamento nas diferentes rotações do motor.

## 6.2 Consumo de combustível por área colhida

### 6.2.1 Consumo de combustível por área colhida pela colhedora A7700

Tabela 4. Resultados da análise de variância para consumo de combustível por área colhida pela colhedora A7700.

	GL	SQ	QM	F	P
Rotação	2	1.983,47	991,37	66,66	0.0000 <sup>S</sup>
Velocidade	2	2.466,47	1.233,24	82,89	0.0000 <sup>S</sup>
Rotação * Velocidade	4	372,18	93,05	6,25	0.0011 <sup>S</sup>
Erro	27	401,71	14,88		
Total corrigido	35	5.223,84			
CV (%): 6,97					
Erro padrão: 1,11			Desvio Padrão: 3,91		
Média geral: 55,33			Número de observações: 36		

Os dados apresentados na tabela 4 são os resultados da análise de variância para consumo de combustível por área colhida pela colhedora A7700, conforme observado os resultados apresentaram diferença significativa para todas variáveis analisadas,  $P < 0,05$ , e um baixo coeficiente de variação.

A figura 16 mostra o resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por área colhida pela colhedora A7700 em função da rotação. Conforme observado no consumo horário para colhedora A7700, o consumo por área colhida também foi menor quanto menor a rotação ( $47,38 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$  operando com o motor a 1900 RPM).

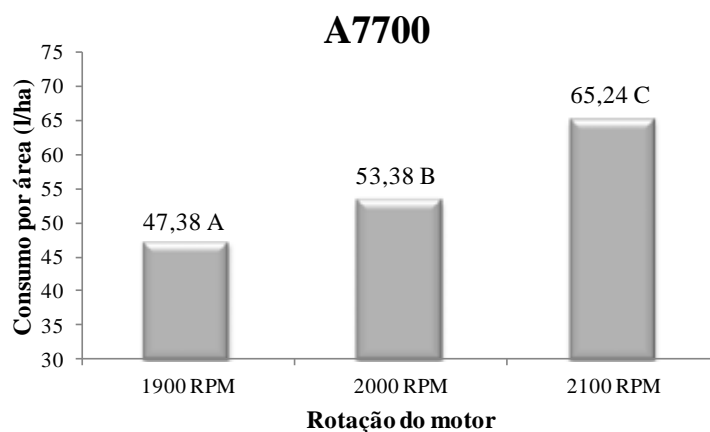


Figura 16. Gráfico do resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por área colhida pela colhedora A7700 em função da rotação do motor.

A figura 17 apresenta o resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para o consumo por área colhida pela colhedora A7700 em função da faixa de velocidade de deslocamento da colhedora.

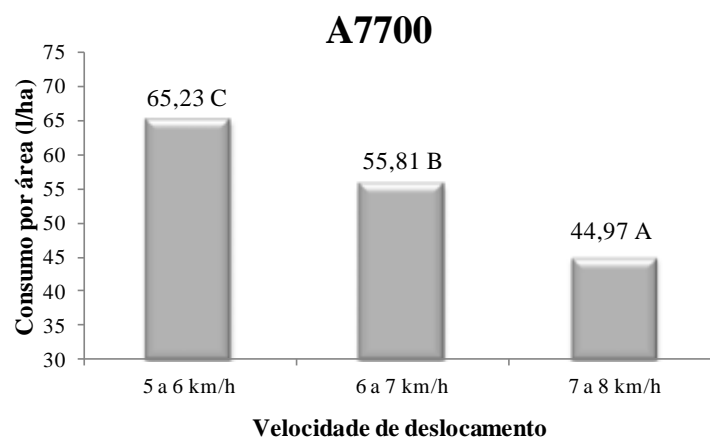


Figura 17. Gráfico do resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por área colhida pela colhedora A7700 em cada faixa de velocidade de deslocamento.

O consumo por área colhida pela colhedora A7700 em função da velocidade de deslocamento se comporta de maneira oposta ao consumo por área colhida em função da rotação do motor, quanto maior a faixa de velocidade de deslocamento menor o consumo. 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).

A figura 18 apresentam os resultados do teste de Tukey a 5% de probabilidade para o consumo de combustível por área colhida pela colhedora A7700 em função da rotação do motor nas diferentes faixas de velocidade de deslocamento. Nas faixas de velocidade de deslocamento de 5 a 6 e 6 a 7  $\text{km.h}^{-1}$  o consumo não diferiu entre as rotações de 1900 e 2000. Na faixa de velocidade de 7 a 8  $\text{km.h}^{-1}$  consumo por área foi significativamente menor com rotação 1900 RPM (35,55 litros por hectare).



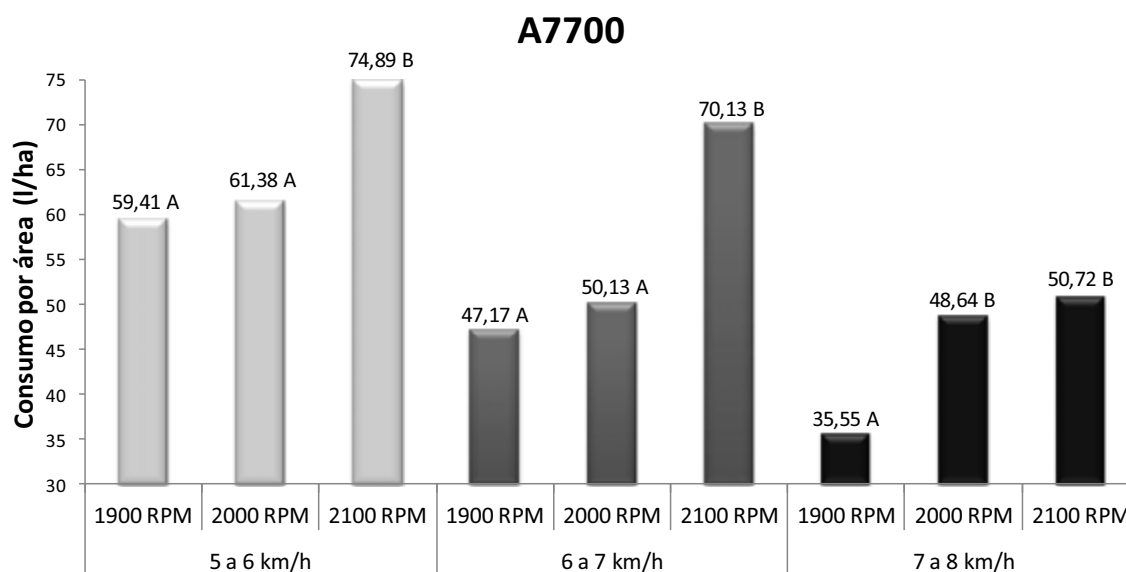


Figura 18. Gráfico dos resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por área pela colhedora A7700 em função da rotação do motor nas diferentes faixas de velocidade de deslocamento.

A figura 19 apresenta os resultados do teste de Tukey a 5% de probabilidade para o consumo de combustível por área colhida pela colhedora A7700 em função das diferentes faixas de velocidade de deslocamento nas diferentes rotações do motor. Em todas as rotações analisadas o consumo por área colhida foi menor na maior velocidade de deslocamento. O maior consumo por área colhida foi observado na faixa de velocidade de 5 a 6 km.h<sup>-1</sup> com 2100 RPM (74,89 L.ha<sup>-1</sup>), e o menor na faixa de velocidade de 7 a 8 km.h<sup>-1</sup> com 1900 RPM do motor (35,55 L.ha<sup>-1</sup>). A redução da rotação e aumentado da velocidade de deslocamento da colhedora ocasionou uma redução de 39,34 litros de combustível para cada hectare colhido em canavial de baixa produtividade, isso se deu por conta da máquina estar trabalhando abaixo de sua capacidade máxima.

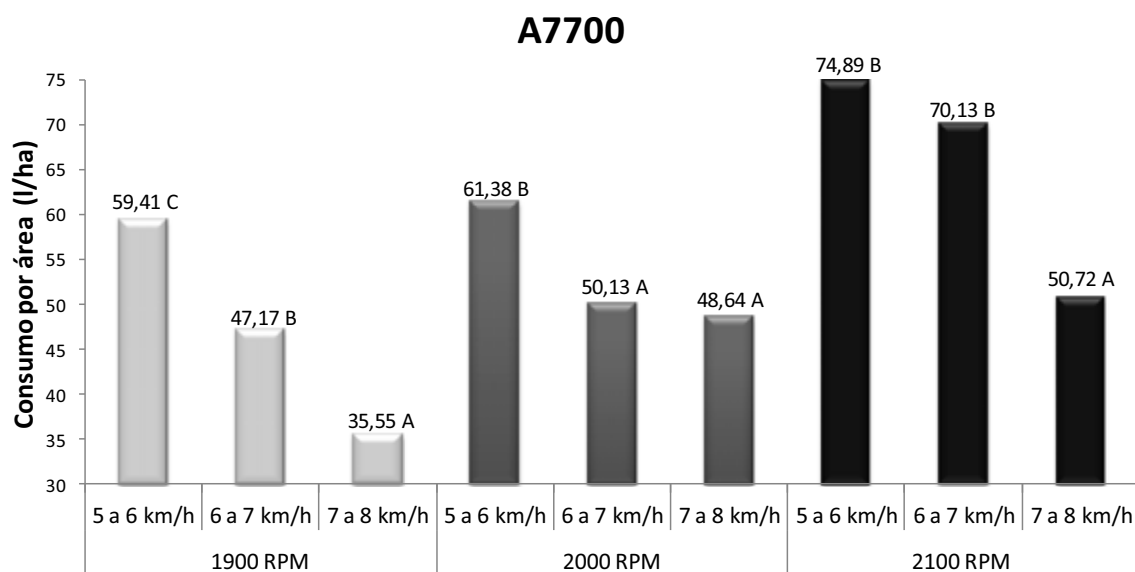


Figura 19. Gráfico dos resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por área colhida pela colhedora A7700 em função da faixa de velocidade nas diferentes rotações do motor.

### 6.2.2 Consumo de combustível por área colhida pela colhedora A8800

Tabela 5. Resultados da análise de variância para consumo de combustível por área colhida pela colhedora A8800.

	GL	SQ	QM	F	P
Rotação	2	272,34	136,17	48,66	0.0000 <sup>S</sup>
Velocidade	2	1.291,28	645,64	230,72	0.0000 <sup>S</sup>
Rotação * Velocidade	4	216,49	54,12	19,34	0.0000 <sup>S</sup>
Erro	27	75,56	2,80		
Total corrigido	35	1.855,66			
CV (%): 2,77					
Erro padrão: 0,48			Desvio Padrão: 1,70		
Média geral: 60,35			Número de observações: 36		

Os dados apresentados na tabela 5 são os resultados da análise de variância para consumo de combustível por área colhida pela colhedora A8800, Conforme

observado os resultados apresentaram diferença significativa para todas variáveis analisadas,  $P < 0,05$ , e um baixo coeficiente de variação.

Na figura 20 observa-se o resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para o consumo de combustível por área colhida pela colhedora A8800 em função da rotação do motor da colhedora.

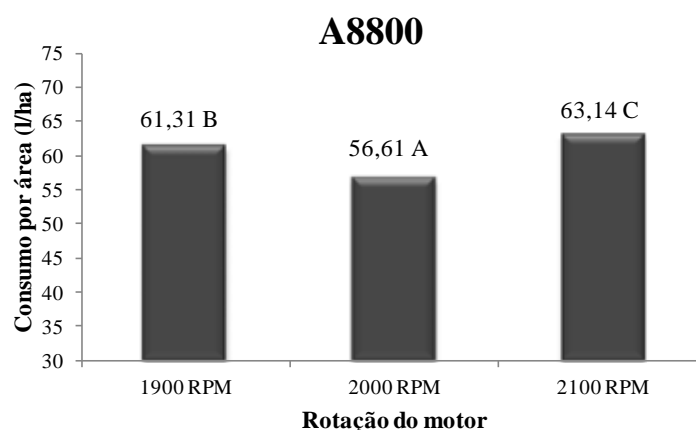


Figura 20. Gráfico com resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo por área colhida pela colhedora A8800 em função da rotação do motor.

O consumo por área colhida pela colhedora A8800 foi significativamente menor a 2000 RPM ( $56,61 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) seguido pelo consumo a 1900 RPM ( $61,31 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e pelo consumo a 2100 RPM ( $63,14 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

A figura 21 mostra os resultados do teste de Tukey a 5% de probabilidade para o consumo de combustível por área colhida pela colhedora A8800 em função da faixa de velocidade de deslocamento.

Dentre as faixas de velocidade, o menor consumo foi observado na maior faixa analisada ( $53,62 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) seguido pela faixa de 6 a 7  $\text{km}\cdot\text{h}^{-1}$  ( $59,27 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ ) e o maior consumo foi da faixa mais lenta ( $68,17 \text{ L}\cdot\text{ha}^{-1}$ ).

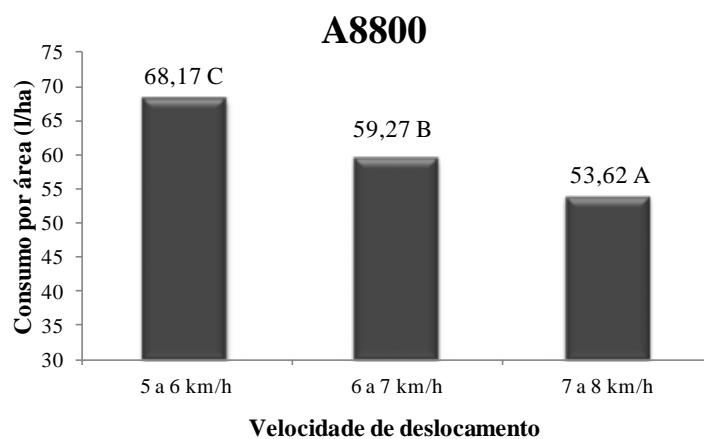


Figura 21. Gráfico com resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo por área colhida pela colhedora A8800 em função da faixa de velocidade de deslocamento.

A figura 22 apresenta os resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para o consumo de combustível por área colhida pela colhedora A8800 em função da rotação do motor nas diferentes faixas de velocidade de deslocamento.

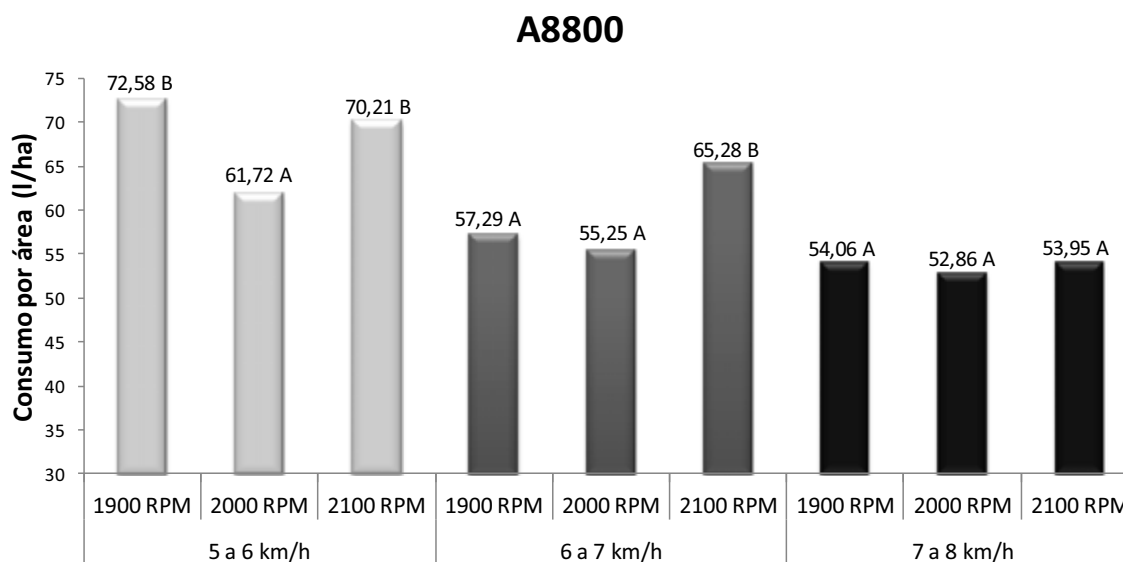


Figura 22. Gráfico dos resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por área pela colhedora A8800 em função da rotação do motor nas diferentes faixas de velocidade de deslocamento.

Em todas as faixas de velocidade analisadas o consumo por área foi numericamente menor quando a colhedora operou com o motor a 2000 RPM, porém este resultado só apresentou diferença significativa para faixa de velocidade de 5 a 6 km.h<sup>-1</sup> (61,72 L.ha<sup>-1</sup>).

Na figura 23 observa-se que o consumo na faixa de velocidade de 7 a 8 km.h<sup>-1</sup> só não foi significativamente menor quando a colhedora operou com 2000 RPM. O maior consumo foi observado na menor faixa de velocidade e na menor rotação do motor.

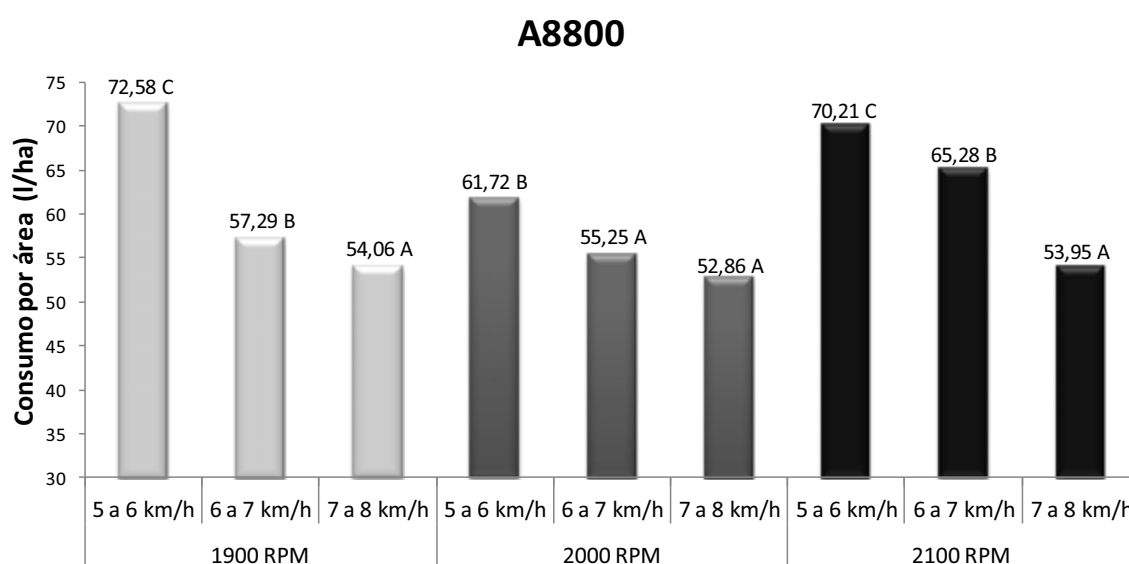


Figura 23. Gráfico dos resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por área pela colhedora A8800 em função das faixas de velocidade de deslocamento nas diferentes rotações do motor.

### 6.3 Consumo de combustível por tonelada de cana colhida

#### 6.3.1 Consumo de combustível por tonelada de cana colhida pela colhedora A7700

Conforme observado na tabela 6, que traz o resultado da análise de variância para consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida pela colhedora A7700, os resultados foram significativos para todas as variáveis analisadas,  $P < 0,05$ .

Tabela 6. Resultados da análise de variância para consumo de combustível por tonelada de cana colhida pela colhedora A7700.

	GL	SQ	QM	F	P
Rotação	2	1,52	0,76	65,49	0.0000 <sup>S</sup>
Velocidade	2	1,91	0,96	82,29	0.0000 <sup>S</sup>
Rotação * Velocidade	4	0,29	0,07	6,22	0.0011 <sup>S</sup>
Erro	27	0,31	0,01		
Total corrigido	35	4,04			
CV (%): 7,02					
Erro padrão: 0,03				Desvio Padrão: 0,109	
Média geral: 1,536				Número de observações: 36	

Na figura 24 observa-se que quando considerada apenas a rotação de trabalho do motor da colhedora o consumo foi significativamente menor para rotação de 1900 RPM, devido a baixa produtividade do canavial.

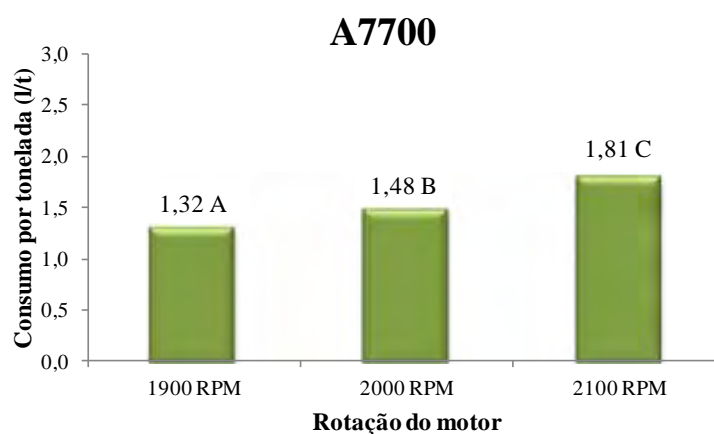


Figura 24. Gráfico do resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por tonelada de cana colhida pela colhedora A7700 em função da rotação do motor.

A figura 25 mostra o resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para o consumo de combustível por tonelada de cana colhida em função da velocidade de deslocamento. O menor consumo observado foi 1,25 L.t<sup>-1</sup> seguidos por 1,55 e 1,81 L.t<sup>-1</sup> nas faixas de velocidade de 7 a 8; 6 a 7 e 5 a 6 km.h<sup>-1</sup>, respectivamente, mostrando que as maiores velocidades analisadas proporcionam menores valores de consumo por tonelada de cana colhida.

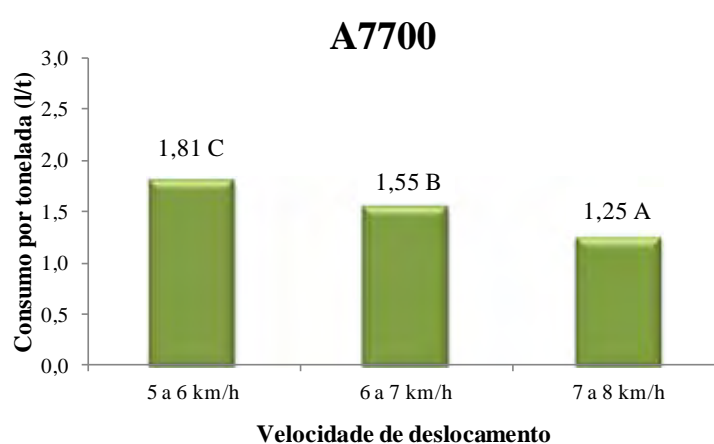


Figura 25. Gráfico do resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por tonelada de cana colhida pela colhedora A7700 em função da faixa de velocidade de deslocamento.

A figura 26 apresenta o gráfico com os resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para o consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida pela colhedora A7700 em função da rotação do motor da colhedora nas diferentes faixas de velocidade de deslocamento.

Em todas as faixas de velocidade de deslocamento o consumo foi maior quando a colhedora foi operada com o motor a 2100 RPM, 2,08; 1,95 e 1,41 l.t<sup>-1</sup> nas faixas de velocidade de 5 a 6, 6 a 7 e 7 a 8 km.h<sup>-1</sup>, respectivamente, não sendo significativo apenas na faixa de velocidade de 7 a 8 km.h<sup>-1</sup>, onde apenas na rotação de 1900 RPM o consumo por área foi significativamente menor.

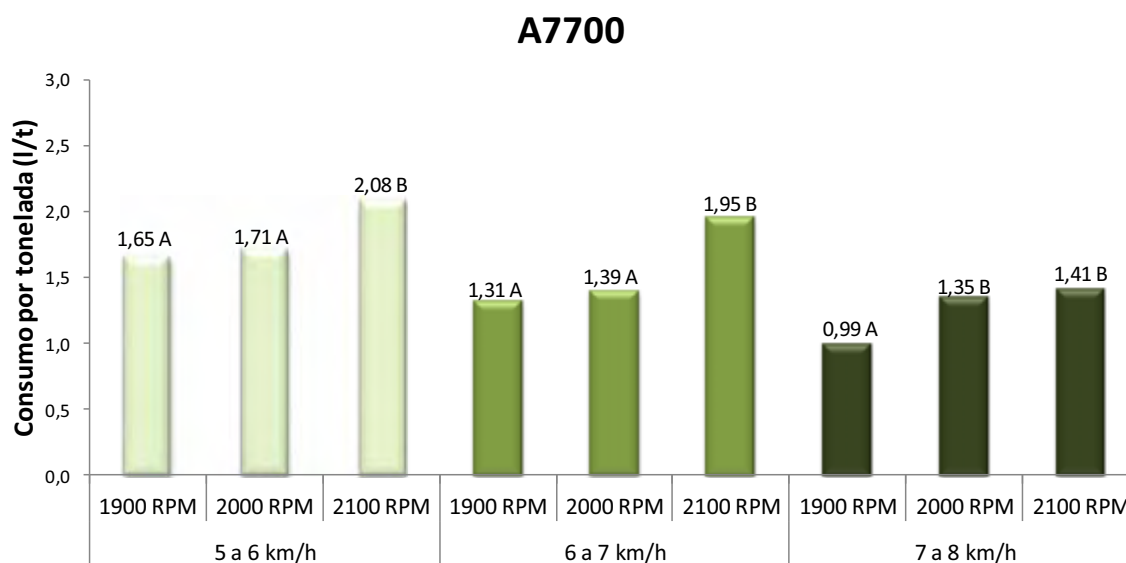


Figura 26. Gráfico com resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida pela colhedora A7700 em função da rotação do motor nas diferentes faixas de velocidade de deslocamento.

A figura 27 traz o gráfico com os resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida em função das faixas de velocidade de deslocamento nas diferentes rotações do motor. Os menores consumos por tonelada de cana colhida pela colhedora A7700 ocorreram na faixa de velocidade de 7 a 8 km.h<sup>-1</sup>, este só não foi significativamente menor quando a colhedora foi operada com 2000 RPM no motor.

Por conta da baixa produtividade dos talhões colhidos pela colhedora A7700, a mesma não necessitou de alta potência no motor e quanto maior a velocidade de deslocamento, maior a capacidade de colheita de colhedoras. Isso explica o menor consumo por tonelada ter sido observado na faixa de velocidade de 7 a 8 km.h<sup>-1</sup> e na rotação de 1900 RPM (0,99 L.t<sup>-1</sup>), e o maior consumo na faixa de velocidade de 5 a 6 km.h<sup>-1</sup> operando com o motor a 2100 RPM (2,08 L.t<sup>-1</sup>).



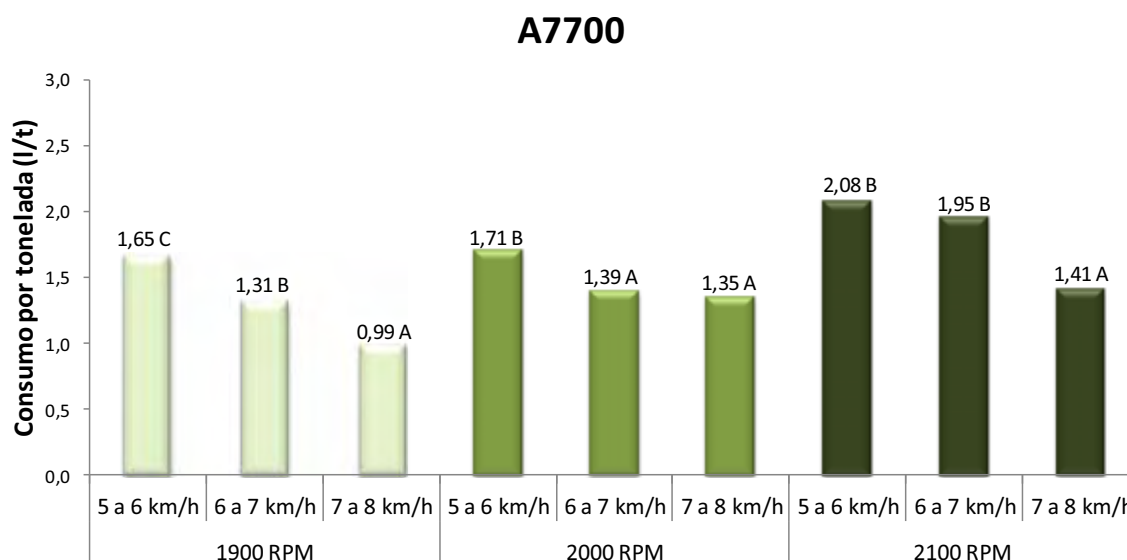


Figura 27. Gráfico com resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida pela colhedora A7700 em função das faixas de velocidade de deslocamento nas diferentes rotações do motor.

### 6.3.2 Consumo de combustível por tonelada de cana colhida pela colhedora A8800

Tabela 7. Resultados da análise de variância para consumo de combustível por tonelada de cana colhida pela colhedora A8800.

	GL	SQ	QM	F	P
Rotação	2	0,22	0,11	571,37	0.0000 <sup>S</sup>
Velocidade	2	0,09	0,04	226,32	0.0000 <sup>S</sup>
Rotação * Velocidade	4	0,02	0,01	30,61	0.0000 <sup>S</sup>
Erro	27	0,01	0,00		
Total corrigido	35	0,34			

CV (%): 2,85  
 Erro padrão: 0,004  
 Média geral: 0,49

Desvio Padrão: 0,014  
 Número de observações: 36

Os dados apresentados na tabela 7 são os resultados da análise de variância para consumo de combustível por tonelada de cana colhida pela colhedora A8800. Conforme observado os resultados apresentaram diferença significativa para todas variáveis analisadas,  $P < 0,05$ , e um baixo coeficiente de variação.

Na figura 28 visualiza-se o resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo por tonelada de cana-de-açúcar colhida pela colhedora A8800 em função da rotação do motor. Numericamente os valores do consumo por tonelada foram menores que os encontrados para o consumo da colhedora A7700, isso se dá por conta da produtividade do canavial em que a máquina foi ensaiada, quanto maior a produtividade do canavial menor o consumo por tonelada colhida. Na colhedora A8800 o menor consumo foi observado quando a colhedora foi operada com o motor a 2000 RPM, isso mostra que houve uma maior demanda por potência que na colhedora A7700 por conta do porte do canavial.

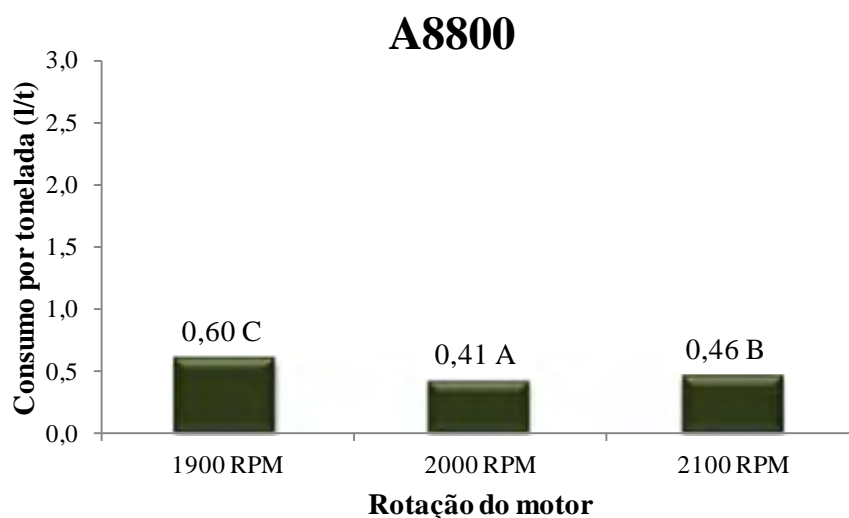


Figura 28. Gráfico do resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por tonelada de cana colhida pela colhedora A8800 em função da rotação do motor.

A figura 29 mostra o gráfico com resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para o consumo por tonelada de cana-de-açúcar colhida pela colhedora A8800

em função da faixa de velocidade de deslocamento. O consumo por tonelada da colhedora A8800 se comportou da mesma forma que o da A7700, quanto menor a velocidade maior o consumo por tonelada, sendo o maior consumo na faixa de 5 a 6 km.h<sup>-1</sup> (0,56 L.t<sup>-1</sup>) e menor na faixa de 7 a 8 km.h<sup>-1</sup> (0,44 L.t<sup>-1</sup>).

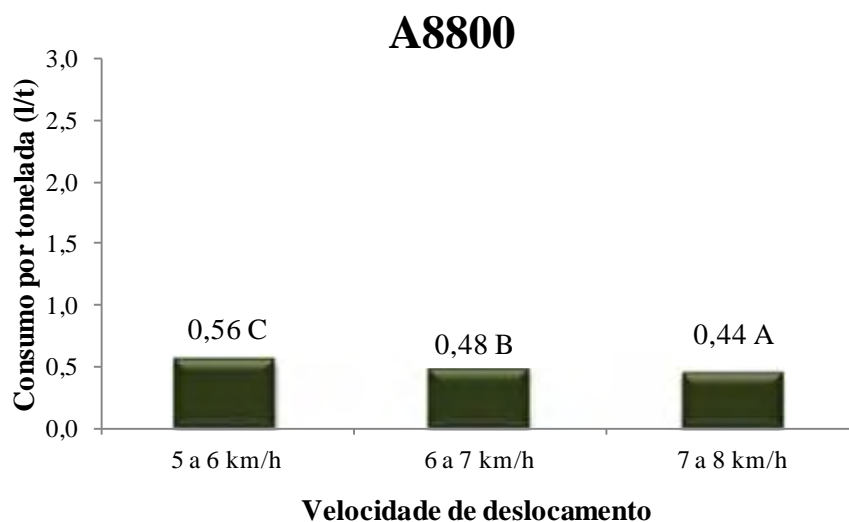


Figura 29. Gráfico do resultado do teste de Tukey a 5% de probabilidade para consumo de combustível por tonelada de cana colhida pela colhedora A8800 em função da faixa de velocidade de deslocamento.

A figura 30 mostra os resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para o consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida pela colhedora A8800 em função da rotação do motor nas diferentes faixas de velocidade de deslocamento. Na faixa de velocidade de deslocamento de 7 a 8 km.h<sup>-1</sup> o consumo foi o mesmo nas rotações de 2000 e 2100 RPM (0,39 L.t<sup>-1</sup>), nas faixas de 5 a 6 e 6 a 7 km.h<sup>-1</sup> os consumos foram significativamente menores com 2000 RPM (0,45 e 0,40 L.t<sup>-1</sup> respectivamente).

## A8800

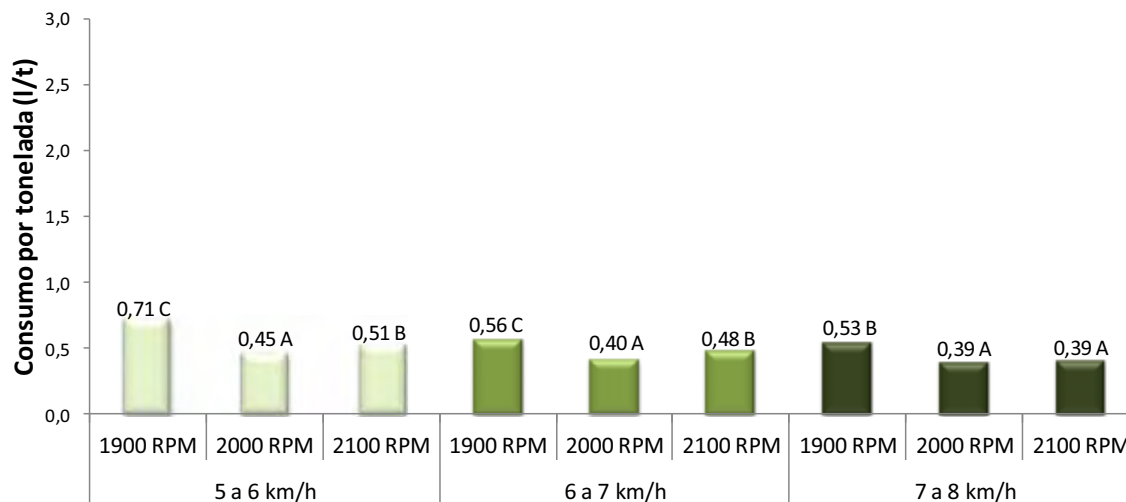


Figura 30. Gráfico com os resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para o consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida pela colhedora A8800 em função da rotação do motor nas diferentes faixas de velocidade de deslocamento.

Na figura 31 observam-se os resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para o consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida pela colhedora A8800 em função das faixas de velocidade de deslocamento nas diferentes rotações do motor. Para todas as rotações analisadas o consumo foi menor na maior faixa de velocidade, não sendo significativo apenas para 2000 RPM.

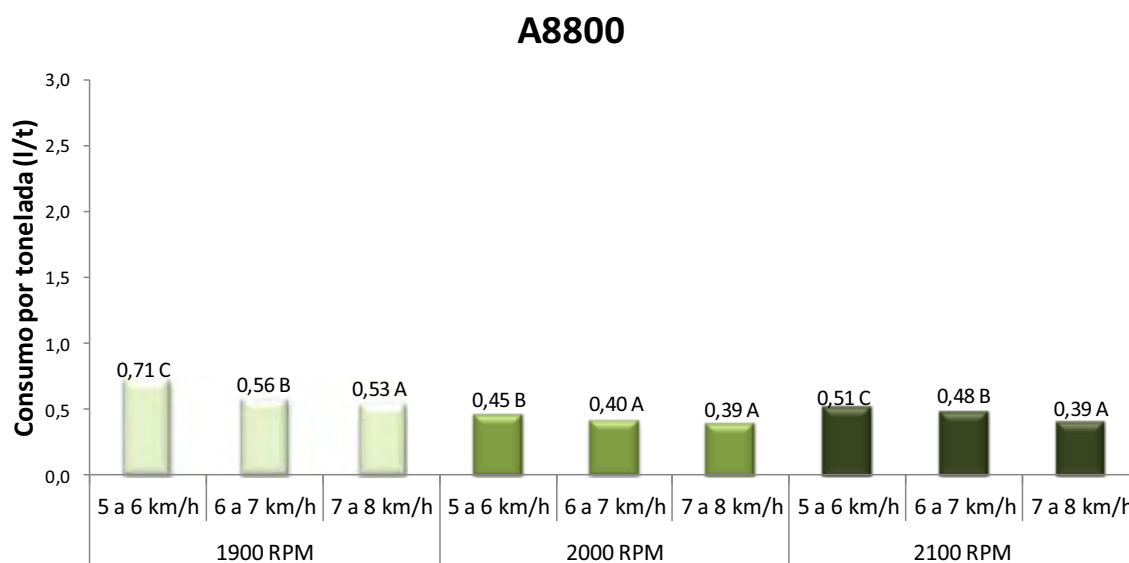


Figura 31. Gráfico com os resultados dos testes de Tukey a 5% de probabilidade para o consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida pela colhedora A8800 em função das faixas de velocidade de deslocamento nas diferentes rotações do motor.

Ripoli et al. (2001), avaliaram o desempenho de colhedora de rodado de esteira em quatro velocidades de deslocamento: 1,5; 3; 5 e 7 km.h<sup>-1</sup>. Os resultados mostraram, para estas condições, que não houve influência da velocidade de deslocamento sobre as perdas totais de matéria prima, índice de matéria estranha total e qualidade tecnológica de matéria prima. Sendo assim o aumento da velocidade de deslocamento gera benefícios na diminuição do consumo por tonelada de cana-de-açúcar colhida, aumento da capacidade de colheita e não deve haver prejuízos quanto à qualidade da matéria colhida.

## **7 CONCLUSÕES**

O consumo horário de combustível das colhedoras de cana-de-açúcar varia de acordo com a rotação do motor e velocidade de deslocamento.

Em canavial de baixa produtividade o menor consumo de combustível foi observado com a máquina sendo operada a 1900 RPM no motor. No canavial com maior produtividade houve maior demanda por potência para realização da colheita, sendo o menor consumo observado a 2000 RPM.

A velocidade de deslocamento influenciou o consumo de combustível por área colhida e o consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida tanto para áreas com altas como em áreas com baixas produtividades, sendo que, quanto maior a velocidade de deslocamento da colhedora menor foi o consumo de combustível.

## 8 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

AGÊNCIA NACIONAL do PETRÓLEO, GÁS NATURAL e BIOCOMBUSTÍVEIS (Brasil). Sistema de levantamento de preços. 2012. Disponível em: <<http://www.anp.gov.br/preco/>>. Acesso em: 01 maio 2012.

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

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.

BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Projeções do agronegócio Brasil 2009/10 a 2019/20. Brasília, DF, 2010. Disponível em: <<http://www.agricultura.gov.br>>. Acesso em: 21 out. 2011.

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

BRAUNBECK, O. A.; MAGALHÃES, P. S. G. Colheita de cana-de-açúcar com auxílio mecânico. Campinas, 1999. Disponível em: <[http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Auxilio\\_Mecanico\\_Colheita\\_Cana\\_000fxew1kab02wyiv80soht9h8k862sp.pdf](http://www.agencia.cnptia.embrapa.br/Repositorio/Auxilio_Mecanico_Colheita_Cana_000fxew1kab02wyiv80soht9h8k862sp.pdf)>. Acesso em: 15 nov. 2011.

CÂMARA, G. M. S. Cana-de-açúcar. In: SOUSA, J. S. I. **Enciclopédia agrícola brasileira**. São Paulo: Edusp, 1998. v. 2, p. 111-120.

- CAPUTO, M. M. et al. Resposta de genótipos de cana-de-açúcar à aplicação de indutores de maturação. **Bragantia**, Campinas, v. 67, n. 1, p. 15-23, 2008.
- CARVALHO FILHO, S. M. **Colheita mecanizada: desempenho operacional e econômico em cana sem queima prévia**. 2000. 108 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2000.
- CESNIK, R.; MIOCQUE, J. **Melhoramento da cana-de-açúcar**. Brasília, DF: Embrapa Informação Tecnológica, 2004. 307 p.
- COELHO, M. F. **Planejamento da qualidade no processo de colheita mecanizada da cana-de-açúcar**. 2009. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) - Universidade de São Paulo, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.
- COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. Acompanhamento da safra brasileira, terceiro levantamento - safra 2011/2012 - dezembro/2011. Brasília, 2011. Disponível em: <<http://www.conab.gov.br>>. Acesso em: 11 mar. 2012.
- COSTA NETO, J. D. A cana em tempo bom. **Revista CREA-PR**, Curitiba, n. 41, p. 16-19, out. 2006.
- FURLANI NETO, V. L. **Incidência da matéria estranha e perdas no campo nos processos de corte manual e com colhedoras amontoadoras em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 1984. 120 p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1984.
- JANK, M.S. A globalização e o setor sucroenergético brasileiro. São Paulo, 2010. Disponível em: <<http://www.unica.com.br/opiniao/>>. Acesso em: 25 out. 2011.
- LEME FILHO, J. R. A. **Desenvolvimento da cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sob diferentes formas de colheita e de manejo do palhço**. 2009. 111 p. Tese (Doutorado) - Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2009.
- LOPES, M. B. **Simulação de um sistema de carregamento e transporte de cana-de-açúcar**. 1995. 143 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.
- MAGALHÃES, P. S. G.; BALDO, R. F. G.; CERRI D. G. P. Sistema de sincronismo entre a colhedora de cana-de-açúcar e o veículo de transbordo. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 28, n. 2, p. 274-282, abr./jun. 2008.
- MOZAMBANI, A. E. et al. História e morfologia da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V. et al. **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: Livroceres, 2006. p. 11-18.



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. et al. Avaliação de perdas invisíveis na colheita mecanizada em dois fluxos de massa de cana-de-açúcar. **Engenharia Agrícola**, Jaboticabal, v. 26, p. 787 - 794, 2006.

NEVES, P. T. **Manutenção produtiva total (total productive maintenance)**: estudo de caso na colheita mecanizada de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). 2011. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2011.

PAULILLO, L. F.; MELLO, F. O. T.; VIAN, C. E. F. **Análise da competitividade das cadeias de agroenergia no Brasil**. In: BUAINAIN, A. M.; BATALHA, M. O. (Coord.). Análise da competitividade das cadeias agroindustriais brasileiras. São Carlos: UFSCAR, DEP; UNICAMP, IE, 2006. 119 p. (Projeto MAPA/IICA).

PEARCE, J. Evolução constante. **Cultivar Máquinas**, Pelotas, n. 51, p. 12-13, 2006.

PEREIRA, V. Avaliação da nova sistemática de corte de cana implantada na região de Ribeirão preto na safra 83/84. **STAB. Açúcar, Álcool e subprodutos**, Piracicaba, v. 2, n. 2, p. 16-21, nov./dez. 1983.

PINHEIRO MACHADO, F. B. **Brasil, a doce terra**: história do setor. Ribeirão Preto, 2006. Disponível em: <[http://www.jornalcana.com.br/conteudo/noticias.asp?id\\_materia=8541](http://www.jornalcana.com.br/conteudo/noticias.asp?id_materia=8541)>. Acesso em: 22 nov. 2011.

RIPOLI, T. C. C.; PARANHOS, S. B. Cana-de-açúcar: colheita. In: PARANHOS, S.B. (Coord.). **Cana-de-açúcar**: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. p. 517-597.

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

RIPOLI, T. C. C. Ensaio & certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas**: ensaio e certificação. Piracicaba: FEALQ, 1996. cap. 13, p. 635-673.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa da cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Os Autores, 2002. 302 p.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. Piracicaba. Edição dos autores, 2004. 302 p.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar**: colheita, energia e ambiente. Piracicaba: Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, 2009. 333 p.

RIPOLI, M. L. C.; RIPOLI, T. C. C. Sistemas de colheita. In: DINARDO-MIRANDA, L. L.; VASCONCELOS, A. C. M.; LANDELL, M. G. A. **Cana-de-açúcar**. Campinas: Instituto Agrônomo, 2008. p. 671-693.

RODRIGUES, D.; ORTIZ, L. Em direção à sustentabilidade da produção de etanol de cana-de-açúcar no Brasil. São Lourenço da Serra, 2006. Disponível em: <[http://www.vitaecivilis.org.br/anexos/etanol\\_sustentabilidade.pdf](http://www.vitaecivilis.org.br/anexos/etanol_sustentabilidade.pdf)>. Acesso em: 25 mar. 2012

SILVA, C. E. C. **Avaliação dos condicionantes ambientais nas perspectivas de expansão da produção de etanol no Brasil**. 2010. P. 83. Dissertação (Mestrado em Engenharia – Programa de Planejamento Energético)-Universidade Federal do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro, 2010.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Sustentabilidade: protocolo agroambiental. São Paulo, 2008. Disponível em: <<http://www.unica.com.br>>. Acesso em: 15 nov. 2011.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Setor sucroenergético: histórico. São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.unica.com.br>>. Acesso em: 15 nov. 2011.

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. Dados e cotações: estatísticas. São Paulo, 2011. Disponível em: <<http://www.unica.com.br>>. Acesso em: 15 nov. 2011.