Universidade de São Paulo
Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”

**Custos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em três faixas de
produtividade**

Flávio Luiz dos Santos Teixeira

Dissertação apresentada para
obtenção do título de Mestre em
Ciências. Área de concentração:
Máquinas Agrícolas

Piracicaba

2013

Flávio Luiz dos Santos Teixeira

Engenheiro Agrônomo

**Custos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em três faixas de
produtividade**

versão revisada de acordo com a resolução CoPGr 6018 de 2011

Orientador:

Prof. Dr. **TOMAZ CAETANO CANNAVAM RIPOLI**

Dissertação apresentada para obtenção do título de Mestre
em Ciências. Área de concentração: Máquinas Agrícolas

Piracicaba

2013

**Dados Internacionais de Catalogação na Publicação
DIVISÃO DE BIBLIOTECA - ESALQ/USP**

Teixeira, Flávio Luiz dos Santos

Custo da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em três faixas de produtividade /
Flávio Luiz dos Santos Teixeira. - - versão revisada de acordo com a resolução CoPGr
6018 de 2011. - - Piracicaba, 2013.
40 p: il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", 2013.

1. Cana-de-açúcar 2. Colhedoras 3. Colheita 4. Custo econômico 5. Mecanização
agrícola 6. Produtividade I. Título

CDD 633.61
T266c

DEDICATÓRIAS

Aos meus pais, Amaury Teixeira e Haydée dos Santos Teixeira, pois procuraram sempre me instruir para o bem e para o melhor e mesmo distante estão sempre torcendo para meu sucesso.

A minha esposa, Andréa Zollner Piovezani Teixeira, pelo apoio e paciência para chegar até aqui.

Aos meus filhos, Luis Felipe e Lívia, que são a razão de todo esse esforço.

Aos meus irmãos, Paulo Sérgio, Evandro e Ricardo pela amizade e apoio.

A todos os meus amigos e também chamados de irmãos, Milton Pyles de Oliveira, Mateus Marrafon e João Henrique Mantellatto Rosa, pelo apoio dispensado.

AGRADECIMENTOS

Primeiramente a Deus, por me dar forças para perseverar em busca de meus objetivos.

A Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz” e a Universidade de São Paulo, pela oportunidade de aprendizado e realização do mestrado.

Ao Departamento de Engenharia de Biossistemas pela transmissão de conhecimento e pela disponibilidade de materiais necessários no programa de pós-graduação em máquinas agrícolas.

Ao professor Tomaz Caetano Cannavam Ripoli pela paciência, dedicação, orientação, e apoio durante o mestrado.

Aos professores Marcos Milan, José Paulo Molin, Casimiro Dias Gadanha Junior e Thiago Libório Romanelli, do Departamento de Engenharia de Biossistemas da ESALQ/USP, pelos conhecimentos transmitidos juntamente aos conselhos concedidos durante o curso.

A secretaria de pós-graduação do Departamento de Engenharia de Biossistemas, na pessoa de Davilmar Collevatti e Fernanda Barbosa Neves da Silva.

As bibliotecárias Eliana Maria Garcia e Silvia Maria Zinsly.

Aos amigos do curso de mestrado em máquinas agrícolas: André Ferreira, Carlos Amaury Zanelli de Souza, Cilene de Oliveira, Eloy Karam, Edemilson Mantoam, Fernanda Souza, Nelson Franco Junior, Luciano Libório Romanelli, Raniére Vieira e Hugo José Rosa.

Ao amigo e diretor da Companhia Agrícola São João, Nelson Antunes Junior.

A Assocana – Associação dos Plantadores e Fornecedores de Cana da Média Sorocabana, por me liberar semanalmente de meus compromissos profissionais, a fim de me dedicar aos estudos.

Obrigado

EPÍGRAFE

“O insucesso é apenas uma oportunidade
para recomeçar de novo com mais
inteligência”

Henry Ford

SUMÁRIO

RESUMO.....	11
ABSTRACT	13
1 INTRODUÇÃO	19
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	21
2.1 Importância do setor sucroenergético	21
2.2 Colheita mecanizada de cana-de-açúcar	24
3 MATERIAL E MÉTODOS	29
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO.....	33
5 CONCLUSÕES	37
REFERÊNCIAS.....	39

RESUMO

Custos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em três faixas de produtividade

Em função de pressões ambientais e, consequente proibição da queima, escassez de mão de obra e necessidade de redução de custos, a colheita mecanizada de cana-de-açúcar vem aumentando consideravelmente nos últimos anos. Diversos são os aspectos que podem influenciar na capacidade operacional de colhedoras, podendo ser eles de ordem de campo, ou seja, condições de trabalho em nível de lavoura, administrativa, que diz respeito a aspectos gerenciais e de planejamento e, por fim, da máquina, que tratam de questões relacionadas às características construtivas da colhedora. Nas ultimas safras, dado a diversos aspectos, a produtividade agrícola vem apresentando amplitudes consideráveis e, com tendência de queda, impactando, diretamente nos custos por tonelada colhida. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi de verificar o comportamento dos custos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em três faixas de produtividade agrícola. O desenvolvimento do trabalho tomou como referência a base de dados da safra 2010/2011 da Companhia Agrícola São João, fornecedora de cana-de-açúcar para a Usina Barra Grande (Lençóis Paulista/SP). Para avaliação da influência da produtividade agrícola nos custos de colheita, foram pré-selecionadas áreas da companhia cujas produções estimadas figuravam nas seguintes faixas de produtividade (tratamentos): T1 – 35 a 70 t ha⁻¹; T2 – 71 a 100 t ha⁻¹ e T3 – 101 a 135 t.ha⁻¹. No total foram consideradas 6 áreas (repetições) por tratamento. A demonstração geral do comportamento dos dados foi feita a partir da análise estatística descritiva e para análise estatística foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, aplicando-se o teste F ao nível de 5% de probabilidade, e o Teste de Tukey, para as comparações de probabilidade no caso de eventuais diferenças entre médias. Foi constatado que os valores de capacidade de colheita tendem a ser maiores quando a máquina está operando em condições de maior produtividade agrícola, refletindo, consequentemente, na redução de custos por tonelada colhida. Tal relação se mostrou mais sensível a menores valores de produção, sendo que se recomenda, portanto, que sejam realizadas reformas dos canaviais de baixas produtividades (< 50 t ha⁻¹), de modo a não comprometer ainda mais os custos de produção da cana-de-açúcar.

Palavras-chave: Colhedora; Mecanização; Desempenho operacional

ABSTRACT

Mechanized harvesting costs for sugarcane in three distinct productivity intervals

In function of the increasing environmental pressures and, the prohibition of sugarcane burning, as well as a lack of labor force and the necessity of cost reduction, the mechanized harvest of the sugarcane has been growing considerably in the past few years. There are many aspects that can affect the operational capacity of a harvester machine, they might be field related, as in the work at a crop level, of administrative order, regarding the managerial and planning aspects, and finally, the machine itself, dealing with matters related to the constructive characteristics of the harvester. In the last harvests, thanks to a diversity of aspects, the agricultural productivity has been showing considerable variations, with a decline tendency, thus, affecting directly the cost by harvested ton. Therefore, the objective of this study was to evaluate the behavior of mechanized harvesting costs in three distinct intervals of agricultural productivity. The development of this work used as a reference the sugarcane harvest database entries for 2010/2011 from “Agrícola São João”, a company with its production committed to the Barra Grande sugar-ethanol mill (Lençóis Paulistas/SP). To evaluate the influence of the agricultural productivity on the harvest costs, three company areas were preselected, with productivity intervals (treatments) estimated in: T1 – 35 to 70 t ha⁻¹; T2 – 71 to 100 t ha⁻¹ and T3 – 101 to 135 t ha⁻¹. In a total of 6 areas (repetitions) for each treatment. The general presentation of the data behavior was made using descriptive statistical analysis and, for the statistical analysis a completely randomized design was used, applying the F-test at a likelihood level of 5%, as well as a Tukey Test for the comparison of probabilities in case of eventual differences between the means. It was observed that the value for harvesting capacity tends to be higher when the machine is operating under conditions of high agricultural productivity. Such relation has showed to be more sensitive to lower values of production, thus, it is usually recommended that the sugarcane crop should undergo a reform when productivity levels are low (< 50 t ha⁻¹), in a such a way that does not compromises even more the sugarcane production costs.

Keywords: Harvester; Mechanization; Operational performance

LISTA DE FIGURAS

Figura 1 - Evolução da produção brasileira de cana-de-açúcar no Brasil em milhões de toneladas, por ano safra.....	22
Figura 2 - Distribuição da produção de cana-de-açúcar na safra 2012/2013 por região.	23
Figura 3 - Evolução da produção brasileira por ano safra de açúcar (milhões de toneladas).....	23
Figura 4 - Evolução da produção brasileira por ano safra de etanol (bilhões de litros)	24
Figura 5 - Comparativo entre Protocolo Agroambiental e Lei Estadual n 11.241/02 no que diz respeito a prazos para eliminação da queima da palha da cana no Estado de São Paulo em áreas mecanizáveis e não mecanizáveis.....	25
Figura 6 - Esquema de uma colhedora de cana picada com destaque para o processamento da matéria-prima e detalhamento dos órgãos ativos	26
Figura 7 – Influência da produtividade agrícola do canavial (PA), em $t\ ha^{-1}$ (eixo x) na capacidade efetiva (CE), em $t\ h^{-1}$ (eixo Y), na colhedora MASSEY FERGUSON 201.	27
Figura 8 - Capacidade operacional de colheita ($t\ h^{-1}$) em função da produtividade agrícola ($t\ ha^{-1}$)	27
Figura 9 – Área produtiva da Companhia Agrícola São João com destaque (em azul) para as áreas selecionadas.....	29
Figura 10 - Critério para avaliação do porte do canavial	30
Figura 11 - Máquinas utilizadas no ensaio.	30
Figura 12 - Relação entre capacidade de colheita ($t\ h^{-1}$) e produtividade agrícola ($t\ ha^{-1}$).....	33
Figura 13 - Relação entre custo de colheita ($R\$ t^{-1}$) e produtividade agrícola ($t\ ha^{-1}$).....	35
Figura 14 - Relação entre custos de colheita ($R\$ t^{-1}$) e capacidade de colheita ($t\ h^{-1}$).	36

LISTA DE TABELAS

Tabela 1 - Base de dados do trabalho	32
Tabela 2 - Análise de variância: Capacidade de colheita ($t\ h^{-1}$)	34
Tabela 3 - Teste de Tukey ($t\ h^{-1}$): Capacidade de colheita ($t\ h^{-1}$)	34
Tabela 4 - Análise de variância: Custo de colheita ($t\ h^{-1}$)	35
Tabela 5 - Teste de Tukey: Custo de colheita ($t\ h^{-1}$)	36

1 INTRODUÇÃO

O setor sucroenergético brasileiro compreende todas as atividades agrícolas e industriais relacionadas à produção de cana-de-açúcar, açúcar, etanol e bioeletricidade. Atualmente a produção de cana-de-açúcar gira em torno de 580 milhões de toneladas, sendo o Brasil maior produtor de açúcar e o segundo maior produtor de etanol do mundo, de forma que o setor é considerado apostas para os próximos anos quando o assunto é matriz energética.

Na última década, dado a proibição da queima prévia da cana-de-açúcar, impulsionada por aspectos principalmente ambientais, escassez de mão de obra e necessidade de redução de custos, a colheita mecanizada de cana aumentou consideravelmente, passando de cerca de 30% em 2000 para pouco menos de 90% em 2012 na região centro-sul canavieira, esta responsável cerca de 90% de toda cana produzida no Brasil.

Considerando que a colheita da cana-de-açúcar representa cerca de 40% do custo de produção da matéria-prima, sendo, conseqüentemente, um dos maiores dispêndios da cadeia sucroenergética como um todo, tendo em vista a participação relativa da cana nos custos de produção de açúcar e etanol, o desempenho operacional de colhedoras de cana-de-açúcar é fator primordial para tomadas de decisão.

Diversos são os aspectos que podem influenciar na capacidade operacional de colhedoras, podendo ser eles de ordem de campo, ou seja, condições de trabalho em nível de lavoura, administrativa, que diz respeito a aspectos gerenciais e de planejamento e, por fim, da máquina, que tratam de questões relacionadas às características construtivas da colhedora.

Nas ultimas safras, dado a diversos aspectos, como potenciais produtivos específicos, adversidades climáticas, falta de investimento nos canaviais e a não adequação das lavouras para a colheita mecanizada, a produtividade agrícola vem apresentando amplitudes consideráveis e, com tendência de queda, impactando, diretamente nos custos por tonelada colhida. Dessa forma, o objetivo do trabalho foi de verificar o comportamento dos custos da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em três faixas de produtividade agrícola.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 Importância do setor sucroenergético

O setor sucroenergético brasileiro compreende todas as atividades agrícolas e industriais relacionadas à produção de cana-de-açúcar, açúcar, etanol e bioeletricidade. Atualmente a produção de cana-de-açúcar gira em torno de 580 milhões de toneladas, sendo que na safra 2010/2011 já foi atingido o montante de quase 620 milhões de toneladas, conforme Figura 1. Na ilustração, inclusive, é possível verificar dois períodos distintos de crescimentos, o segundo de forma mais evidente. O primeiro é o que ocorre em 1975, com a criação do PROÁLCOOL (Programa Nacional do Alcool), sendo um programa do governo federal de incentivo à produção e uso de álcool como combustível.

No final da década de 80, entretanto, o não atendimento da demanda gerou um vasto desabastecimento do mercado nacional do combustível, acarretando em crise governamental e descrédito do setor. Além disso, 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 para a produção de açúcar, visando principalmente à exportação (RODRIGUES, 2006). O programa acelerou o crescimento e o desenvolvimento da cultura de cana-de-açúcar e, segundo Paulillo et al (2006), abriu importante mercado para o etanol que, aliado à abertura do mercado internacional para o açúcar, permitiu a expansão e sustentação do setor sucroalcooleiro.

O segundo período acontece no início dos anos 2000, com a introdução dos veículos *flex-fuel* na frota brasileira. De acordo com a Associação Nacional dos Fabricantes de Veículos Automotores – ANFAVEA (2011), em 2009, 84% dos veículos licenciados no Brasil foram *flex-fuel*. Apesar de nas últimas safras a produção ter apresentado um leve declínio, em função, principalmente de condições climáticas e crises financeiras, que entre outros, resultou no fechamento de algumas unidades de produção bem como em reduções na produtividade agrícola média, pode-se dizer que num contexto geral o setor vem crescendo.

Figura 1 - Evolução da produção brasileira de cana-de-açúcar no Brasil em milhões de toneladas, por ano safra

Fonte: BRASIL (2011), adaptado.

Em termos de distribuição, como se nota na Figura 2, o centro-sul canavieiro (CS) foi responsável por pouco mais de 90% da produção brasileira de cana-de-açúcar na safra 2012/2013, sendo que desse percentual, São Paulo é destaque, correspondendo por quase 60% da produção. Para os próximos anos, entretanto, espera-se que essa participação relativa diminua, visto que determinados estados como, Goiás, Minas Gerais, Mato Grosso do Sul, vem apresentando expansões consideráveis da cultura.

No que diz respeito à produção de açúcar e etanol, o Brasil tem grande representatividade, sendo o maior produtor de açúcar e o segundo maior produtor de etanol. Na safra 2011/12, foram produzidas cerca de 36 milhões de toneladas de açúcar e 23 bilhões de litros de etanol, conforme ilustrado, respectivamente, na Figura 3 e Figura 4.

*Centro-Sul: Espírito Santo; Goiás; Mato Grosso; Mato Grosso do Sul; Minas Gerais; Paraná; Rio de Janeiro ; Rio Grande do Sul; Santa Catarina; São Paulo. ** Norte-Nordeste: Acre; Alagoas; Amapá; Amazonas; Bahia; Ceará; Maranhão; Pará; Paraíba; Pernambuco; Piauí; Rio Grande do Norte; Rondônia; Roraima; Sergipe; Tocantins.

Figura 2 - Distribuição da produção de cana-de-açúcar na safra 2012/2013 por região.

Fonte: UNICA (2013), elaborado pelo autor.

Figura 3 - Evolução da produção brasileira por ano safra de açúcar (milhões de toneladas)

Fonte: BRASIL (2011), adaptado.

Figura 4 - Evolução da produção brasileira por ano safra de etanol (bilhões de litros)

Fonte: BRASIL (2011), adaptado.

2.2 Colheita mecanizada de cana-de-açúcar

Dentro do ciclo operacional de produção de cana-de-açúcar, a etapa da colheita é considerada como uma das mais importantes, pois dela depende a qualidade do produto entregue para a indústria nas usinas (MAGALHÃES et al., 2008). Além disso, considerando os custos de produção da matéria-prima, a colheita corresponde por cerca de 40% do total gasto (PECEGE, 2012), sendo o item mais oneroso do processo agrícola.

Uma das principais mudanças ocorridas no segmento canavieiro é a gradativa substituição da colheita manual pela colheita mecânica da cana-de-açúcar, justificada por diversos fatores, com destaque para aspectos ambientais e econômicos (RAMÃO et al., 2007).

No estado de São Paulo, que como salientado, responde por praticamente metade de toda cana produzida no Brasil, a implantação da colheita mecanizada é realidade, principalmente quando se leva em conta os prazos para a eliminação da queima da cana-de-açúcar. Como se observa na Figura 5, em áreas mecanizáveis,

que de modo geral são plantações em terrenos acima de 150 hectares e com declividade igual ou inferior a 12%, a eliminação da queima da cana deve ocorrer totalmente até 2014, enquanto que nas não mecanizáveis o prazo é 2017. Vale ressaltar, que esses prazos foram antecipados pelo Protocolo Agroambiental, e que os prazos originais eram 2021 para áreas mecanizáveis e 2031 para não mecanizáveis, originalmente estabelecidos pela Lei Estadual nº 11.241/02.

Figura 5 - Comparativo entre Protocolo Agroambiental e Lei Estadual n 11.241/02 no que diz respeito a prazos para eliminação da queima da palha da cana no Estado de São Paulo em áreas mecanizáveis e não mecanizáveis

Fonte: UNICA (2013), adaptado.

Diversos são os tipos de máquinas que podem ser empregados na colheita mecanizada de cana-de-açúcar, de modo que, dado o número de etapas realizadas, as colhedoras combinadas ou comumente denominadas colhedoras de “cana picada” são as mais utilizadas. Tais máquinas realizam basicamente cinco operações: corte do ponteiro, corte basal, fracionamento dos colmos em rebolos, limpeza parcial da matéria-prima e, descarregamento na unidade de transporte, respectivamente (PEREIRA; TORREZAN, 2006). De forma a facilitar a compreensão, é ilustrado na Figura 6 um esquema de uma colhedora de cana picada com destaque para o processamento da matéria-prima e detalhamento dos órgãos ativos.

Figura 6 - Esquema de uma colhedora de cana picada com destaque para o processamento da matéria-prima e detalhamento dos órgãos ativos

Fonte: Neves (2003)

De acordo com Ripoli & Ripoli (2009), vários fatores podem influenciar na capacidade operacional de colhedoras, podendo ser eles de ordem de: i) campo, ou seja, condições de trabalho em nível de lavoura, como por exemplo, variedade, porte do canavial, condições do preparo de solo, espaçamento e declividade do terreno; ii) administrativa, que diz respeito a aspectos gerenciais e de planejamento, como reparos e manutenção, aptidão do operador e logística do sistema e, por fim; iii) da máquina, que tratam de questões relacionadas às características da colhedora, como centro de gravidade da máquina, velocidade da operação, potência e rodado.

Dentre os fatores de campo, a produtividade agrícola do canavial vem implícita em características da variedade e, apesar de ser recorrentemente relacionada a capacidade de colheita e, conseqüentemente, custos, dificilmente é tratada de forma separada.

Para Ripoli & Ripoli (2009), existe relação entre produtividade agrícola e capacidade de colheita da máquina, porém, altas produções de colmos, ou seja, valores entre 130 a 150 t ha⁻¹ podem vir a diminuir a capacidade de colheita pela colhedora, em função, principalmente, da redução da velocidade de deslocamento, conforme ilustra a Figura 7.

Figura 7 – Influência da produtividade agrícola do canavial (PA), em $t\ ha^{-1}$ (eixo x) na capacidade efetiva (CE), em $t\ h^{-1}$ (eixo Y), na colhedora MASSEY FERGUSON 201.

Fonte: Ripoli (2009)

Banchi et al. (2012), a partir de dados coletados de 72 colhedoras, no período de 2007 a 2011, em três diferentes unidades sucroalcooleiras da região sudeste canieira do Brasil, totalizando cerca de 315 mil horas trabalhadas, verificou que a capacidade operacional de colhedoras é crescente de acordo com a produtividade agrícola, conforme Figura 8. Os autores destacam, entretanto, que ao longo da faixa de variação, existem oscilações na ordem de 80%.

Figura 8 - Capacidade operacional de colheita ($t\ h^{-1}$) em função da produtividade agrícola ($t\ ha^{-1}$)

Fonte: Banchi et al. (2012).

3 MATERIAL E MÉTODOS

O desenvolvimento do trabalho tomou como referência a base de dados da safra 2010/2011 da Companhia Agrícola São João, fornecedora de cana-de-açúcar para a Usina Barra Grande, unidade do Grupo Zilor, localizada no município de Lençóis Paulista/SP. Na safra 2010/2011 a agrícola foi responsável pela entrega de 252 mil toneladas de matéria-prima em uma área de 4.164 ha.

Para avaliação da influência da produtividade agrícola nos custos de colheita, foram pré-selecionadas informações de áreas da companhia cujas produções estimadas figuravam nas seguintes faixas de produtividade (tratamentos):

- T1 – 35 a 70 t ha⁻¹
- T2 – 71 a 100 t ha⁻¹
- T3 – 101 a 135 t ha⁻¹

No total foram consideradas 6 áreas (repetições) por tratamento, que apesar de serem similares em termos de produtividade, diferiam quanto a variedade, estágio de corte e tamanho da área, conforme Tabela 1, página 32. Na Figura 9¹ é ilustrada a área produtiva da Companhia Agrícola São, bem como as áreas selecionadas como base, em azul.

Figura 9 – Área produtiva da Companhia Agrícola São João com destaque (em azul) para as áreas selecionadas

¹ Fornecido pela Companhia Agrícola São João

Ressalta-se que apesar de diferentes variedades, todos os canaviais selecionados apresentavam porte do canavial definido como “ereto”, sendo que a determinação de tal parâmetro seguiu a metodologia proposta por Ripoli (2009), conforme Figura 10. Além disso, todas as áreas apresentavam declividade de 4%, não oferecendo, portanto, limitações quanto à mecanização da colheita, e estavam configuradas no espaçamento simples de plantio de 1,4 metro.

Figura 10 - Critério para avaliação do porte do canavial

Fonte: Ripoli (2009), adaptado.

Sabe-se que a velocidade de deslocamento da operação é fator determinante para a capacidade operacional da colhedora, sendo que, portanto, para a determinação da quantidade de matéria-prima colhida e horas trabalhadas pela máquina, todas as repetições (“tiros” de colheita) foram realizadas num intervalo de velocidade compreendido entre 5,00 e 5,50 km h⁻¹. A colheita de tais repetições foi realizada por duas colhedoras da fabricante John Deere, modelo 3520, conforme ilustra a Figura 11.

Figura 11 - Máquinas utilizadas no ensaio.

No que diz respeito à custos, como já salientado, os valores foram informados diretamente pela companhia, sendo que a mesma utiliza do sistema de apuração dos custos por absorção, onde os gastos mensais contabilizados são apropriados por centros de custos, e também por equipamento (se for o caso), representando gastos com a mesma finalidade e ou atividade. O apontamento dos dados é realizado por pelos trabalhadores da empresa nas suas respectivas atividades, identificando todos os eventos ocorridos ao longo da jornada de trabalho, sendo eles produtivos ou improdutivos². Quando a atividade utiliza insumos, os volumes dos mesmos são apontados no mesmo formulário. Tal apontamento é posteriormente inserido no sistema utilizado pela companhia.

A demonstração geral do comportamento dos dados foi feita a partir da análise estatística descritiva, calculando-se medidas de tendência central (média aritmética e mediana), medidas de dispersão (desvio padrão e coeficiente de variação), enquanto que a apuração da normalidade dos dados foi realizada pelo teste de Anderson-Darling. Para análise estatística foi utilizado o delineamento experimental inteiramente casualizado, aplicando-se o teste F ao nível de 5% de probabilidade, e o Teste de Tukey, para as comparações de probabilidade no caso de eventuais diferenças entre médias.

² a) Tempos produtivos – Contabiliza os períodos em que a máquina esta efetivamente operando; b) Tempos improdutivos – Além da contabilização dos períodos trabalhados, leva em consideração também demais tempos como, manobras de cabeceira, interrupções para reabastecimento e manutenção, regulagens, descanso, refeições de operadores, entre outros.

Tabela 1 - Base de dados do trabalho

Faixa de produtividade	Repetição	Variedade	Corte	Área	Quantidade colhida	Produtividade agrícola	Horas trabalhadas	Capacidade de colheita	Custo de colheita	
t.ha⁻¹	N	-	n	ha	t	t.ha⁻¹	horas	t h⁻¹	R\$ h⁻¹	R\$ t⁻¹
35 a 70	R1	RB85-5156	4	37,54	1.950,76	51,96	145,52	13,41	207,86	15,51
	R2	RB85-5156	5	48,62	2.476,04	50,93	180,65	13,71	272,73	19,90
	R3	SP89-1115	4	11,59	531,36	45,85	26,26	20,23	274,90	13,59
	R4	SP83-2847	2	54,55	3.743,03	68,62	151,93	24,64	244,45	9,92
	R5	RB86-7515	3	31,11	1.123,20	36,10	116,55	9,64	243,01	25,22
	R6	RB86-7515	3	120,32	6.945,79	57,73	293,19	23,69	241,06	10,18
71 a 100	R1	RB86-7515	5	54,55	3.900,00	71,49	182,63	21,35	213,49	10,00
	R2	CTC-14	1	62,22	5.407,90	86,92	175,96	30,73	211,12	6,87
	R3	RB86-7515	3	27,52	2.435,67	88,51	101,40	24,02	201,10	8,37
	R4	CTC-09	1	17,43	1.681,07	96,45	115,19	14,59	202,52	13,88
	R5	SP81-3250	2	20,12	1.689,20	83,96	61,32	27,55	204,28	7,42
	R6	RB86-7515	3	32,80	2.834,70	86,42	105,04	26,99	214,77	7,96
101 a 135	R1	RB92-579	1	36,30	3.717,61	102,41	144,72	25,69	205,82	8,01
	R2	RB92-579	1	15,76	2.014,58	127,83	53,96	37,33	243,72	6,53
	R3	CTC-15	1	7,10	838,66	118,12	25,42	32,99	241,16	7,31
	R4	CTC-10	2	18,67	2.129,95	114,08	83,14	25,62	275,07	10,74
	R5	RB86-7515	2	12,24	1.625,42	132,80	61,02	26,64	271,24	10,18
	R6	RB86-7515	2	15,88	1.889,32	118,97	50,01	37,78	267,47	7,08

*Fornecido pela Companhia Agrícola São João

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Na Figura 12 é apresentada a relação entre a capacidade de colheita da máquina em diferentes faixas de produtividade agrícola. Como se nota, ainda que o coeficiente de determinação (R^2) da equação que define a reta não seja tão representativo, observa-se uma tendência dos valores de capacidade de colheita serem maiores quando a máquina está operando em condições de maior produtividade agrícola. Posto de outra forma, quanto maior a quantidade de cana disponível para a máquina numa determinada área, que no caso é delimitada pela “boca de alimentação” da colhedora durante a operação, maior será a capacidade de colheita, conforme conclusões de Banchi et al. (2012). Apenas a repetição “R4” do tratamento 2 se mostra visualmente discrepante em relação à amostra, podendo, eventualmente, ser desconsiderada em determinadas análises.

Figura 12 - Relação entre capacidade de colheita (t h⁻¹) e produtividade agrícola (t ha⁻¹)

Esse aumento da capacidade de colheita em função da produtividade, entretanto, é mais sensível a menores valores de produção. Como se observa na Tabela 2 e Tabela 3, que apresentam, respectivamente, a análise de variância e o teste de Tukey para o parâmetro, foi verificado diferença significativa apenas entre

os tratamentos 1 e 3. A faixa de produtividade de 71 a 100 t ha⁻¹, que representa uma classe intermediária entre níveis considerados, não resultou em diferenças individuais entre os extremos.

Tabela 2 - Análise de variância: Capacidade de colheita (t h⁻¹)

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob{>F}
Tratamentos	2	543,27	271,63	7,87	0,0046**
Resíduo	15	518,01	34,53		
Total	17	1.061,28			

*Obs.: Nível de significância: ** - 1%; * - 5 %.

Média geral	24,26
Desvio-padrão	5,88
Diferença mínima significativa	8,81
Coeficiente de variação %	24,23

Tabela 3 - Teste de Tukey (t h⁻¹): Capacidade de colheita (t h⁻¹)

Tratamentos	Médias
35 a 70 (t ha ⁻¹)	17,55 b
71 a 100 (t ha ⁻¹)	24,21 ab
101 a 135 (t ha ⁻¹)	31,01 a

*Obs.: Letras iguais indicam que, no nível de 5% de significância, não há diferença entre as médias.

No caso dos custos de colheita a relação com a produtividade agrícola é ainda mais significativa, como se nota na Figura 13. Desconsiderando a repetição “R4” do tratamento 2, que como descrito, mostra certa discrepância em relação à amostra, o coeficiente de determinação (R^2) que define a curva de relação é de 0,8093, o que é um valor considerável, especialmente quando se trata de experimentos em nível de campo.

A sensibilidade para menores valores de produtividade agrícola também se mostra mais evidente para os custos de colheita. Analisando a Figura 13, observa-se que a amplitude dos valores é bastante superior na faixa de produtividade de 35 a 70 t ha⁻¹, principalmente para pontos em até 50 t ha⁻¹. Considerando os pontos de máximo e mínimo, têm-se uma variação dos custos de colheita de 154% para a Faixa 1”, cerca de três vezes maior quando comparado as variações das outras faixas consideradas, cujos valores ficaram em torno de 50% .

Tal percepção é refletida na análise estatística. Como se nota na Tabela 4 e Tabela 5, que apresentam, respectivamente, a análise de variância e o teste de Tukey, foi observado diferença estatística significativa apenas para o tratamento 1 (35 a 70 t ha⁻¹), enquanto que os tratamentos 2 (71 a 100 t ha⁻¹) e 3 (101 a 135 t ha⁻¹) resultaram em médias bastante próximas.

Figura 13 - Relação entre custo de colheita (R\$ t⁻¹) e produtividade agrícola (t ha⁻¹)

Tabela 4 - Análise de variância: Custo de colheita (R\$ t⁻¹)

Causas	GL	SQ	QM	F	Prob{>F}
Tratamentos	2	199,04	99,52	6,63	0,0086**
Resíduo	15	225,03	15,00		
Total	17	424,07			

*Obs.: Nível de significância: ** - 1%; * - 5 %.

Média geral	11,04
Desvio-padrão	3,87
Diferença mínima significativa	5,81
Coeficiente de variação %	35,10

Tabela 5 - Teste de Tukey: Custo de colheita (R\$ t⁻¹)

Tratamentos	Médias
35 a 70 (t ha ⁻¹)	15,72 a
71 a 100 (t ha ⁻¹)	9,08 b
101 a 135 (t ha ⁻¹)	8,31 b

*Obs.: Letras iguais indicam que, no nível de 5% de significância, não há diferença entre as médias.

Apesar de terem sido analisadas separadamente, compreende-se que os parâmetros analisados estão intimamente interligados. Ou seja, a colheita mecanizada em canaviais de maior produtividade resulta em aumento na capacidade de colheita pela máquina, o que, conseqüentemente, acarretará em diminuição nos custos por tonelada colhida, conforme Figura 14.

Embora não seja possível analisar com maiores detalhes essa relação, visto que o trabalho tomou como referência uma base de dados com os custos “fechados”, ou seja, sem o detalhamento dos componentes que formam os custos, infere-se que essa sensibilidade dos custos é maior para menores valores de capacidade de colheita em função da diluição dos custos fixos, conforme destaca Rosa (2013).

Figura 14 - Relação entre custos de colheita (R\$ t⁻¹) e capacidade de colheita (t h⁻¹).

5 CONCLUSÕES

Com base nos resultados obtidos pode-se concluir que os valores de capacidade de colheita tendem a ser maiores quando a máquina está operando em condições de maior produtividade agrícola, refletindo, conseqüentemente, na redução de custos por tonelada colhida.

Essa relação, entretanto, se mostrou mais sensível a menores valores de produção, visto que dentro das faixas de produtividades estudadas (T1 – 35 a 70 t ha⁻¹; T2 – 71 a 100 t ha⁻¹ e T3 – 101 a 135 t ha⁻¹), apenas a de menor produção resultou em diferença estatística significativa em termos de custos.

Recomenda-se, portanto, que sejam realizadas reformas dos canaviais de baixas produtividades (< 50 t ha⁻¹), de modo a não comprometer ainda mais os custos de produção da cana-de-açúcar.

REFERÊNCIAS

- ANFAVEA. **Anuário da indústria automobilística brasileira 2011**. São Paulo, 2011. 158p. Disponível em: <http://www.anfavea.com.br/anuario.html>. Acesso em: 16 mar. 2012.
- BANCHI, A.D.; LOPES, J.R.; MARTINS, J.M.S.; DIMASE, M. Capacidade operacional de colhedoras de cana-de-açúcar – Modelagem matemática em função da produtividade agrícola e da vida da máquina. **Revista Agrimotor**, São Paulo, n. 77, p. 42-45, 2012a.
- BRASIL. Ministério da Agricultura, Pecuária e Abastecimento. Secretaria de produção e agroenergia. **Anuário estatístico da agroenergia 2010**. Brasília, 2011. 223p. Disponível em: http://www.agricultura.gov.br/arg_editor/file/Desenvolvimento_Sustentavel/Agroenergia/anuario_agroenergia/index.html. Acesso em: 21 fev. 2012.
- NEVES, J.L.M. **Avaliação de perdas invisíveis em colhedoras de cana-de-açúcar picada e alternativas para sua redução**. 2003. 223p. Tese (Doutorado em Engenharia Agrícola) – Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.
- PEREIRA, L.L.; TORREZAN, H.F. Colheita mecanizada da cana-de-açúcar. In: SEGATO, S.V.; PINTO, A.S.; JENDIROBA, E.; NÓBREGA, J.C.M. (Org.). **Atualização em produção de cana-de-açúcar**. Piracicaba: CP 2, 2006. p. 333-344.
- RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. Edição dos autores. Piracicaba, 2009. 333p.
- RODRIGUES, L.O. **Processo de terceirização e a presença de arranjos institucionais distintos na colheita de cana-de-açúcar**. 2006. 102p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Curso de Pós-Graduação em Economia Aplicada, Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Piracicaba, 2006.
- 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; IEUNICAMP, 2006. 119p. (Projeto MAPA/IICA).
- ROSA, J. H. M. **Avaliação do desempenho efetivo e econômico de uma colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*) em espaçamento duplo alternado**. 2013. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013..
- UNICA. **Unicadata**. Produção. Histórico de produção e moagem. Disponível em: <http://www.unicadata.com.br/historico-de-area-ibge.php?idMn=33&tipoHistorico=5>. Acesso em: 21 jun. 2012.

UNICA. **Sustentabilidade**. Protocolo agroambiental. Disponível em:
<http://www.unica.com.br/protocolo-agroambiental/>. Acesso em: 10 jan. 2013.