



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA
"JÚLIO DE MESQUITA FILHO"
Campus de Botucatu



FERNANDA SCARANELLO DRUDI

**PARÂMETROS PARA A PADRONIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE COLHEDORA DE
CANA-DE-AÇÚCAR PARA AVALIAÇÃO DE SEU DESEMPENHO ENERGÉTICO**

Botucatu

2017

FERNANDA SCARANELLO DRUDI

**PARÂMETROS PARA A PADRONIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE COLHEDORA DE
CANA-DE-AÇÚCAR PARA AVALIAÇÃO DE SEU DESEMPENHO ENERGÉTICO**

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

Orientador: Prof. Dr. Kléber Pereira Lanças

Botucatu

2017

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

D794p Drudi, Fernanda Scaranello, 1990-
Parâmetros para a padronização dos ensaios de colhe-
dora de cana-de-açúcar para avaliação de seu desempenho
energético / Fernanda Scaranello Drudi. - Botucatu :
[s.n.], 2017
73 p.: il., color. , grafs., tabs.

Dissertação (Mestrado) - Universidade Estadual Paulista
Faculdade de Ciências Agrônômicas, Botucatu, 2017
Orientador: Kléber Pereira Lanças
Inclui bibliografia

1. Cana-de-açúcar - Colheita. 2. Mecanização agrícola.
3. Máquinas agrícolas - Desempenho. I. Lanças, Kléber
Pereira. II. Universidade Estadual Paulista "Júlio de
Mesquita Filho" (Câmpus de Botucatu). Faculdade de Ciên-
cias Agrônômicas. III. Título.

"Permitida a cópia total ou parcial deste documento, desde que citada a fonte"



UNIVERSIDADE ESTADUAL PAULISTA

Câmpus de Botucatu



CERTIFICADO DE APROVAÇÃO

TÍTULO: "PARAMETROS PARA A PADRONIZAÇÃO DOS ENSAIOS DE COLHEDORA DE CANA-DE-AÇÚCAR PARA AVALIAÇÃO DE SEU DESEMPENHO ENERGÉTICO"

AUTORA: FERNANDA SCARANELLO DRUDI

ORIENTADOR: KLEBER PEREIRA LANÇAS

Aprovada como parte das exigências para obtenção do Título de Mestra em AGRONOMIA (ENERGIA NA AGRICULTURA), pela Comissão Examinadora:

Prof. Dr. KLEBER PEREIRA LANÇAS
Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP

Prof. Dr. PAULO ROBERTO ARBEX SILVA
Dep de Engenharia Rural / Faculdade de Ciências Agrônomicas - UNESP

Prof. Dr. FERNANDO HENRIQUE CAMPOS
./ UNIVERSIDADE TECNOLÓGICA FEDERAL DO PARANA

Botucatu, 27 de julho de 2017.

Aos meus pais Josué Drudi e Maria Augusta Scaranello Drudi, e meu irmão Fábio Scaranello Drudi por serem exemplos de luta e pelo amor de sempre. Vocês são a base da minha vida!

Dedico

Agradecimentos

À **Deus**, pela vida, pela proteção diária e por mais esta conquista.

Aos meus pais, **Josué Drudi** e **Maria Augusta Drudi** por tudo que fazem pela nossa família, por nunca terem poupado esforços para minha educação e do meu irmão, pelo amor, pelo incentivo e pelo apoio em todos os momentos. A vocês eu serei eternamente grata.

Ao meu irmão **Fábio Drudi**, sua esposa **Alessandra Drudi** pelo apoio e torcida em todos os momentos. E minha sobrinha **Julia Drudi** pelo riso fácil.

Ao meu orientador, Prof. Dr. **Kléber Pereira Lanças**, por ser meu orientador, pela confiança e pela oportunidade de crescimento profissional, pelas correções e todo ensinamento durante os últimos dois anos.

À família NEMPA **Murilo Martins**, **João Vitor Testa**, **Jefferson Sandi**, **Fábio Lopes**, **Miguel Pascucci**, **Fellippe Damasceno**, **Carlos Renato Ramos** e **Michel Moura**, pelos incentivos, pelos ensinamentos e pela compreensão, além de tornar o dia-a-dia mais alegre e de fácil convivência. Obrigado pela amizade e companheirismo esses anos.

Aos amigos que a Pós-Graduação me deu **Laís Consoline**, **Eduardo Razza**, **Jéssica Giroti**, **Lia Kato**, **Samantha Almeida** pela amizade, por compartilharem os momentos durante esses anos, pelas trocas de experiências e pelas conversas científicas.

À **Ana Caroline Soares** pelo companheirismo, por dividir comigo a casa e a vida, pelo ombro amigo e por todos os momentos compartilhados.

Aos **membros da banca**, por aceitarem o convite e pelas sugestões e contribuição para esta Dissertação.

À **Capes** pela concessão de bolsa de estudos.

À todas as pessoas que colaboraram direta e indiretamente com a elaboração deste trabalho.

“Sou um só, mas ainda assim sou um. Não posso fazer tudo, mas posso fazer alguma coisa. E, por não poder fazer tudo, não me recusarei a fazer o pouco que posso. O que eu faço, é uma gota no meio de um oceano. Mas sem ela, o oceano será menor”

Madre Teresa de Calcutá

RESUMO

A cana-de-açúcar é de grande importância para o agronegócio brasileiro, sendo o Brasil o maior produtor mundial desta cultura. O sistema mecanizado na colheita da cana-de-açúcar é um dos fatores que contribuíram para o setor sucroenergético brasileiro ser mais sustentável com impactos positivos nas áreas ambientais, econômica, social e agrônômica. O uso de metodologias se torna necessário para ensaiar as máquinas de forma concisa avaliando o seu desempenho operacional e a qualidade das operações agrícolas auxiliando nas tomadas de decisões operacionais, administrativas e financeiras. No âmbito da Associação Brasileira de Normas Técnicas (ABNT) não existe norma para a realização de ensaios com colhedoras de cana-de-açúcar com procedimentos padronizados, o que dificulta as comparações entre os resultados de diferentes ensaios. O objetivo deste trabalho foi apresentar os parâmetros para a padronização dos ensaios de colhedoras de cana-de-açúcar, com base na metodologia utilizada pelo Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (Nempa) da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) da Unesp de Botucatu, oriundos de trabalhos realizados por diversos autores, utilizando como fatores de avaliação o desempenho operacional e a qualidade da colheita. Foram utilizados dados de diversos relatórios de ensaio de campo que utilizaram a mesma metodologia, em diferentes localidades no país e no exterior, com colhedoras de cana-de-açúcar de uma e duas linhas, para diferentes produtividades agrícolas, portes do canavial, declividades do terreno, velocidades de deslocamento e rotação do motor. Os indicadores de qualidade e desempenho avaliados durante o trabalho foram o consumo de combustível, as perdas visíveis de matéria-prima no campo, a matéria estranha de origens vegetal e mineral, a altura das soqueiras e os danos e os abalos às soqueiras. A produtividade agrícola do canavial e a velocidade de deslocamento da colhedora influíram nos resultados dos indicadores avaliados durante o trabalho. A metodologia utilizada no ensaio de colhedoras de cana-de-açúcar à campo apresentou resultados compatíveis entre si e com a bibliografia consultada, mostrando ser uma técnica confiável em relação aos parâmetros avaliados, tanto para colhedoras de uma linha como para de duas linhas.

Palavras-chave: Metodologia Descritiva, Colheita Mecanizada, Desempenho Operacional.

ABSTRACT

The sugarcane is of great importance for the Brazilian agribusiness. Brazil is the world largest producer of this crop. The mechanized system in the harvest of sugarcane is one of the factors that contributed to the Brazilian sugar-energy sector being more sustainable with positive impacts in the environmental, economic, social and agronomic areas. The use of methodologies becomes necessary to test the machines in a concise way by assessing their operational performance and the quality of agricultural operations, assisting in decision making operational, administrative and financial perspective. In the context of the Brazilian Association of Technical Standards (ABNT) there is no standard for testing with chopping of sugar cane with standardized procedures, which make the comparisons between the results of various tests. The objective of this work was to present the parameters for the standardization of the tests of chopping of sugarcane, based on the methodology used by the Center for Testing of machines and Agroforestry Tires (Nempa) of the Faculty of Agricultural Sciences (FCA) of UNESP, Botucatu, arising from work carried out by several authors, using as factors for evaluating the operational performance and harvest quality. We used data from several test reports of field that used the same methodology, in different locations in the country and abroad, with harvesting of sugarcane one and two lines for different agricultural yields, sizes of rushes, slope of the terrain, travel speed and rotation of the motor. The quality indicators and performance assessed during the study were the fuel consumption, the visible losses in the field, the strange matter of vegetable origin and mineral, the height of the stumps of the ratoon and its damage and shocks. The agricultural productivity of sugarcane field and the speed of displacement of the harvester influenced on the results of the indicators evaluated during the study. The methodology used in the testing of sugarcane harvesters in the field presented compatible results among themselves and with the bibliography consulted, showing it to be a reliable technique in relation to the parameters evaluated, for both one and two lines of sugarcane harvesters.

Keywords: Descriptive Methodology, Mechanized harvest, Operational Performance.

Lista de ilustrações

Figura 1 – Evolução da colheita de cana-de-açúcar no Centro-Sul do Brasil e participação relativa (%) quanto a forma de colheita, manual e mecanizada.....	26
Figura 2 – Projeção da quantidade de colhedoras em uso nas usinas.....	27
Figura 3 – Método utilizado para determinação do porte do canavial.....	38
Figura 4 – Fluxômetro instalado na entrada e no retorno do tanque da colhedora de cana-de-açúcar para determinação do consumo de combustível.....	42
Figura 5 – Controlador Lógico Programável (CLP) utilizado na coleta de dados de consumo de combustível.....	42
Figura 6 – Demarcação da área avaliada para separação da matéria-prima deixada no campo e pesagem das perdas visíveis totais.....	43
Figura 7 – Classificação dos danos às soqueiras.....	46
Figura 8 – Média dos valores de capacidade efetiva de colheita para colhedoras de cana-de-açúcar de 1 linha.....	50
Figura 9 – Média dos valores de capacidade efetiva de colheita para colhedoras de cana-de-açúcar de 2 linhas.....	50
Figura 10 – Média dos valores de consumo horário efetivo de combustível para colhedoras de cana-de-açúcar de 1 linha.....	51
Figura 11 – Média dos valores de consumo horário efetivo de combustível para colhedoras de cana-de-açúcar de 2 linhas.....	52
Figura 12 – Média dos valores de consumo de combustível por tonelada colhida para colhedoras de cana-de-açúcar de 1 linha.....	53
Figura 13 – Média dos valores de consumo de combustível por tonelada colhida para colhedoras de cana-de-açúcar de 2 linhas.....	53
Figura 14 – Média dos valores de perdas visíveis totais para colhedoras de cana-de-açúcar de 1 linha.....	55
Figura 15 – Média dos valores de perdas visíveis totais para colhedoras de cana-de-açúcar de 2 linhas.....	55
Figura 16 – Média dos valores de altura das soqueiras para colhedoras de cana-de-açúcar de 1 linha.....	56
Figura 17 – Média dos valores de altura das soqueiras para colhedoras de cana-de-açúcar de 2 linhas.....	57

Figura 18 – Média de notas de abalo às soqueiras para colhedoras de cana-de-açúcar de 1 linha.....	58
Figura 19 – Média de notas de abalo às soqueiras para colhedoras de cana-de-açúcar de 2 linhas.....	58
Figura 20 – Média de notas de danos às soqueiras para colhedoras de cana-de-açúcar de 1 linha.....	59
Figura 21 – Média de notas de danos às soqueiras para colhedoras de cana-de-açúcar de 2 linhas.....	60
Figura 22 – Média dos valores de matéria estranha vegetal para colhedoras de cana-de-açúcar de 1 linha.....	61
Figura 23 – Média dos valores de matéria estranha vegetal para colhedoras de cana-de-açúcar de 2 linhas.....	62
Figura 24 – Média dos valores de matéria estranha mineral para colhedoras de cana-de-açúcar de 1 linha.....	63
Figura 25 – Média dos valores de matéria estranha mineral para colhedoras de cana-de-açúcar de 2 linhas.....	64

Lista de tabelas

Tabela 1 – Principais características das colhedoras avaliadas.....	37
Tabela 2 – Notas atribuídas para o fator produtividade do canavial.....	38
Tabela 3 – Notas atribuídas para o fator porte do canavial.....	39
Tabela 4 – Notas atribuídas para o fator declividade do terreno.....	39
Tabela 5 – Classificação das velocidades médias de deslocamento.....	40
Tabela 6 – Tipos de perdas de matéria-prima.....	44
Tabela 7 – Classificação de perdas de matéria-prima.....	44
Tabela 8 – Classificação de matérias estranhas vegetais e minerais	45
Tabela 9 – Classificação de abalo às soqueiras.....	46

Sumário

1 INTRODUÇÃO	21
2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	23
2.1 O setor sucroenergético brasileiro.....	23
2.2 A colheita mecanizada na cultura da cana-de-açúcar.....	24
2.3 Desempenho operacional das colhedoras de cana-de-açúcar.....	27
2.4 Qualidade da colheita mecanizada em cana-de-açúcar.....	29
2.5 Qualidade da matéria-prima colhida.....	32
2.6 Ensaio à campo de colhedoras de cana-de-açúcar.....	33
3 MATERIAL E MÉTODOS	36
3.1 Descrição do experimento.....	36
3.2 Colhedoras utilizadas	37
3.3 Descrição das áreas avaliadas.....	37
3.3.1 Determinação da produtividade agrícola	37
3.3.2 Determinação do porte do canavial	38
3.3.3 Determinação da declividade do terreno	39
3.4 Espaçamento entre fileiras de plantio.....	39
3.5 Números de cortes do canavial	39
3.6 Comprimento do talhão avaliado.....	40
3.7 Determinação da velocidade de deslocamento da colhedora.....	40
3.8 Capacidade de colheita.....	40
3.8.1 Capacidade de colheita efetiva	41
3.9 Consumo de combustível.....	41
3.9.1 Consumo horário efetivo de combustível	42
3.9.2 Consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar	42
3.10 Perdas visíveis de matéria-prima.....	43
3.11 Qualidade da matéria-prima colhida.....	44
3.12 Determinação da altura de toco, danos e abalo às soqueiras	45
4 RESULTADOS E DISCUSSÃO	47
4.1 Descrição das áreas avaliadas.....	47
4.1.1 Locais dos Ensaio	47

4.1.2 Produtividade agrícola estimada das áreas	47
4.1.3 Porte do canavial	47
4.1.4 Declividade do terreno	47
4.1.5 Espaçamento entre fileiras de plantio	48
4.1.6 Número de cortes do canavial	48
4.1.7 Comprimento do talhão avaliado	48
4.1.8 Velocidade de deslocamento	48
4.1.9 Rotação do motor	48
4.2 Dados obtidos durante as avaliações em campo	48
4.2.1 Capacidade de colheita efetiva	49
4.2.2 Consumo horário efetivo de combustível	50
4.2.3 Consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida	52
4.2.4 Perdas visíveis totais de matéria-prima	54
4.2.5 Altura das soqueiras	56
4.2.6 Abalo às soqueiras	57
4.2.7 Danos às soqueiras	59
4.2.8 Matérias estranhas vegetais	60
4.2.9 Matérias estranhas minerais	62
5 CONCLUSÕES	65
REFERÊNCIAS	66

1 INTRODUÇÃO

A cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) foi implantada no Brasil no período colonial, participando da economia brasileira e, atualmente, continua sendo um dos produtos agrícolas mais importantes do país, uma vez que os produtos resultantes do seu cultivo são o açúcar, o etanol e a energia elétrica. O clima propício é um dos grandes fatores da alta produção de cana-de-açúcar ao longo de todo o ano, dependendo da região do país, sendo uma cultura típica de regiões de clima tropical.

Na safra 2016/17, a área destinada à atividade sucroenergética foi de, aproximadamente, nove milhões de hectares. O Estado de São Paulo permanece como o maior produtor com 56,3% da área plantada seguido por Goiás com 10,3%, sendo produzido nesta safra 657,18 milhões de toneladas de cana-de-açúcar (CONAB, 2016a).

Diante das determinações provenientes de leis ambientais, ficou proibida a queima prévia da cana-de-açúcar, o que gerou mudanças no sistema de colheita havendo a necessidade de um sistema mecanizado de cana-de-açúcar crua para reduzir impactos ambientais, substituindo a queima e a mão-de-obra na colheita. Para minimizar os impactos sociais da colheita mecanizada houve a necessidade de se promover a capacitação profissional dos trabalhadores rurais diante desse novo sistema.

A operação de colheita é a responsável por grande parte dos custos e pela qualidade do material entregue na indústria, sendo que o sistema mecanizado de colheita proporciona uma redução de custos por tonelada colhida quando comparado com o sistema manual, por ser muito mais eficiente, visto que um trabalhador, no campo, colhe em torno de 7 toneladas de cana-de-açúcar por dia, enquanto uma máquina chega a colher 800 toneladas a cada 20 horas. Porém, a colheita mecanizada quando executada de forma incorreta causa aumento de perdas de colmo industrializável no campo, danos às soqueiras dificultando a rebrota como também acréscimo de matéria estranha vegetal e mineral na carga destinada a indústria, além de diminuir os ciclos da cultura. Esse material estranho interfere no processo de fabricação de açúcar e álcool, além de ocasionar desgastes nos equipamentos durante o processo.

Por anos não se estabeleceu um método comum de padronização que abordasse o assunto sobre ensaios de colhedoras para a cultura de cana-de-açúcar, uma vez

que os pesquisadores, instituições ou empresas adotam metodologias diferentes, tornando difícil a associação de trabalhos ou discussões com embasamento científico entre os profissionais da área.

O objetivo deste trabalho foi apresentar os parâmetros para a padronização dos ensaios de colhedoras de cana-de-açúcar, com base na metodologia utilizada pelo Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais (Nempa) da Faculdade de Ciências Agrônômicas (FCA) da Unesp de Botucatu, oriundos de trabalhos realizados por diversos autores, utilizando como fatores de avaliação o desempenho operacional e a qualidade da colheita.

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 O Setor Sucroenergético Brasileiro

A cana-de-açúcar e a indústria canavieira tiveram início no Brasil durante o período colonial, com o açúcar a principal base da sua economia. Goes et al. (2008), relataram que em 30 anos a cultura da cana-de-açúcar teve grande expansão e o setor canavieiro ganhou espaço no mercado nacional e internacional em função da modernização e melhoria na produtividade com o uso de biotecnologia e agroquímica renovável. A produção desta cultura, atualmente, está distribuída entre áreas da usina e de pequenos e médios produtores rurais que arrendam a terra ou fornecem a cana-de-açúcar para as usinas (GARCIA et al., 2015).

A cultura da cana-de-açúcar é de extrema importância por sua ampla utilização podendo ser utilizada como forragem para a alimentação animal, na produção de rapadura e aguardente, como também, é a matéria-prima para obtenção do açúcar e etanol hidratado e anidro. Os seus resíduos também apresentam importância econômica, sendo o bagaço utilizado para co-geração de energia elétrica, o vinhoto pode ser transformado em fertilizante e o resíduo líquido, aproveitado na irrigação (CAPUTO et al., 2008). Mais recentemente, o palhiço da cana-de-açúcar tem sido utilizado para queima em caldeiras e também para a produção do etanol de 2ª. geração. Sendo assim, o setor sucroenergético é considerado um dos setores mais dinâmicos e favoráveis para o crescimento promissor da agricultura brasileira nos dias atuais.

O Brasil é referência em produção de cana-de-açúcar, com base nos dados da safra 1975/1976, ano da criação do Proálcool, até a safra 2011/2012, a produção passou de 70 milhões de toneladas para 561 milhões de toneladas (ROSA, 2013), chegando a 665 milhões de toneladas de cana moída na safra de 2015/2016, sendo o maior produtor mundial de açúcar com 35 milhões de toneladas e o segundo maior em produção de etanol com 23 bilhões de litros na mesma safra (CONAB, 2016a). A Região Centro-Sul corresponde a cerca de 92% (617 milhões de toneladas) deste volume, enquanto a Região Norte/Nordeste fica com 8%, próximo de 49 milhões de toneladas (CONAB, 2016a). De acordo com Silva et al. (2009), a expansão do cultivo de cana-de-açúcar na região Centro-Sul ocorreu principalmente devido à crescente

demanda de veículos bicompostível na frota automotiva brasileira, aumentando o consumo do etanol.

Apesar da importância econômica da cana-de-açúcar, a cultura representa pouco em termos de ocupação de área, quando comparada à produção de grãos. A área ocupada por cana-de-açúcar no país foi de, aproximadamente, 8,7 milhões hectares na safra de 2015/2016, enquanto que a área da soja foi de 33 milhões hectares e a de milho correspondeu a 5,4 milhões hectares para a primeira safra e 10,5 milhões de hectares para a segunda safra (safrinha) (CONAB, 2016; CONAB, 2016b).

O setor sucroenergético além da produção de açúcar e etanol gera energia limpa e renovável, complementando a geração hídrica, a partir da queima do bagaço de cana e em 2014, 15% da energia consumida no país foi gerada através da biomassa de cana-de-açúcar, sendo a segunda maior fonte de energia renovável da matriz elétrica brasileira. Desde 2013, este setor vem gerando mais energia elétrica excedente para a rede do que para o próprio consumo, ficando, no ano de 2014, numa relação 60% de energia para a rede e 40% para consumo próprio (UNICA, s/d).

O etanol produzido com a cana-de-açúcar reduz as emissões de gases do efeito estufa em até 90% quando comparado à gasolina (SEABRA, 2008). A produção de etanol de cana-de-açúcar é mais eficiente energeticamente do que o produzido nos EUA a partir da cultura do milho. O custo de produção do etanol de cana-de-açúcar é de US\$ 0,28/L e o de milho é de US\$ 0,45/L, no entanto, a fabricação de etanol americano só é viável devido aos US\$ 4 bilhões de dólares em subsídios fornecidos pelo próprio governo (ANDREOLI e SOUZA, 2006).

Segundo Shikida (2014), com o mercado favorável para o açúcar e desfavorável para o etanol, produtores estão direcionando a produção para o açúcar, devido aos melhores preços no mercado, além disso, a crise internacional de 2008 atingiu os produtores fazendo com que ficasse difícil a reforma do canavial, deixando o açúcar e etanol mais caros, e também as condições climáticas não favoráveis, prejudicaram as últimas safras elevando o custo de produção nas usinas.

2.2 A colheita mecanizada na cultura da cana-de-açúcar

A mecanização na operação de colheita de cana-de-açúcar foi desenvolvida pela exigência de realizar a colheita com maior capacidade operacional, melhorando a gestão do corte até o transporte, em relação as necessidades industriais, permitindo

constância no fluxo de carga nas paradas eventuais na indústria e sem precisar realizar a queima da palha no canavial, tornando a operação viável operacional e economicamente (RAMOS, 2013).

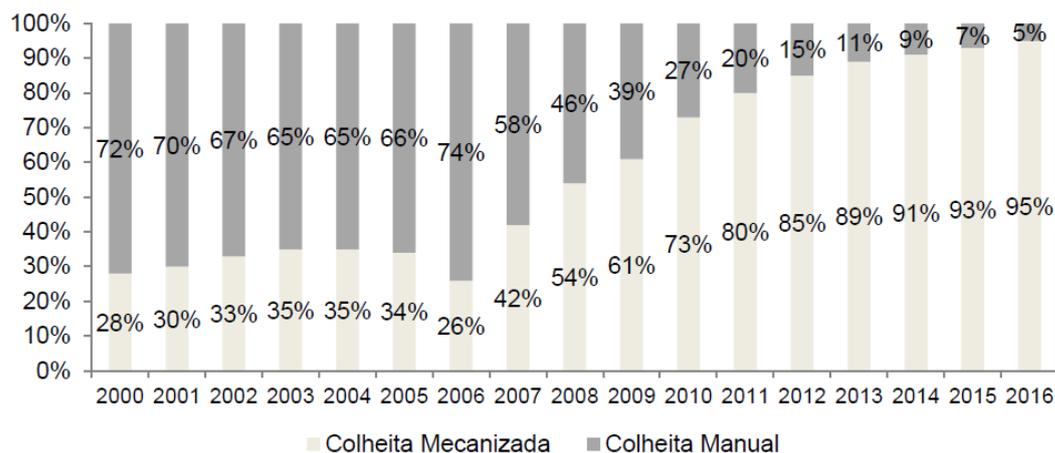
O início do sistema mecanizado na cana-de-açúcar foi na Austrália, e de acordo com Braunbeck et al. (2008), isso aconteceu após os anos 30 com as primeiras carregadoras de cana-de-açúcar, mas, no entanto, foi na década de 50 que foi criado o princípio mecânico de colheita que persiste até os dias atuais, com as operações de corte, limpeza e carregamento da matéria-prima. A primeira colhedora auto-propelida de cana-de-açúcar foi desenvolvida no Havaí no ano de 1956 e, no período de 1958 até 1961, foi implantada a primeira cortadora-carregadora de cana-de-açúcar no Brasil por uma fabricante nacional. Na década de 70 ocorreu a importação de tecnologias estrangeiras em máquinas destinadas a colheita da cana-de-açúcar, principalmente da Austrália e da Alemanha e no final dessa década, a mesma empresa nacional fabricou a primeira colhedora auto-propelida totalmente brasileira (RIPOLI e RIPOLI, 2009).

A colheita manual, no Brasil, prevaleceu até o final dos anos 90 deixando espaço para a colheita mecanizada que reduziu os custos de produção da lavoura e os impactos ambientais ao utilizar a palhada para a geração de energia nas usinas e para a cobertura do solo, além de melhorar o conforto para os operadores durante a operação de colheita (FURTADO, 2002).

De acordo com o Instituto de Economia Agrícola (2008), o processo manual de colheita foi acabando devido à preocupação ambiental, levando o governo federal e paulista a imporem um prazo para o fim da queima nos canaviais, apressando assim a substituição do corte manual para o mecânico. Essa exigência se deu pela Lei nº 11.241 de 2002 que dispõe a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar nos canaviais até o ano de 2031. Através do Protocolo AgroAmbiental de 2007, desenvolvido entre o governo e os responsáveis envolvidos no setor sucroenergético, este prazo foi antecipado para 2014 em áreas mecanizáveis (até 12% de declividade) e para 2017 em áreas não mecanizáveis. As usinas que cumpriram o prazo do Protocolo AgroAmbiental receberam uma certificação AgroAmbiental facilitando assim a comercialização do etanol. De acordo com Maeda (2012), o Protocolo interfere na imagem das usinas e associações de fornecedores de cana-de-açúcar frente ao mercado interno e externo, determinando um modelo positivo de planos e metas de adequação ambiental a ser seguido.

Na Região Centro-Sul brasileira, a colheita manual, no ano de 2000, predominava com 72% e, em 2017, a colheita mecanizada representa cerca de 95% das áreas cultivadas com cana-de-açúcar (Figura 1).

Figura 1 – Evolução da colheita de cana-de-açúcar no Centro-Sul do Brasil e participação relativa (%) quanto a forma de colheita, manual e mecanizada



Fonte: NEVES et al. (2015) - adaptado de Unica e CTC.

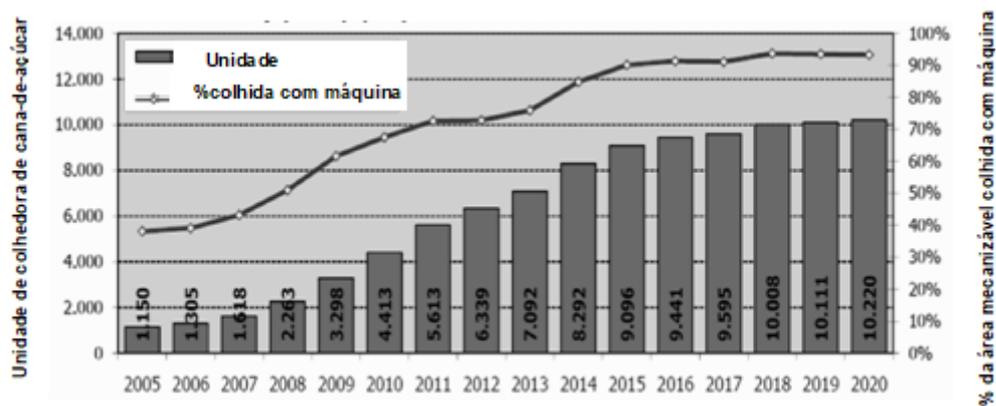
No sistema mecanizado a planta colhida passa por diversas etapas no interior da máquina desde o corte basal até o descarregamento em um veículo apropriado chamado transbordo. Inicia-se a colheita com a colhedora cortando os ponteiros (parte aérea) através do despontador, que tem a altura regulável, enquanto os divisores de linhas e o rolo tombador direcionam o colmo para o corte de base, que é composto por dois discos rotativos com lâminas e o corte é realizado pelo impacto das lâminas. Os rolos alimentadores conduzem os colmos cortados inteiros até os rolos picadores onde serão fracionados. A limpeza do material colhido (os colmos picados) é realizada, primeiramente, pelo exaustor primário. Em seguida, o colmo picado, chamado de rebolo, passa pelo elevador de talisca e por mais uma limpeza através do exaustor secundário e por fim, o descarregamento dos rebolos no transbordo que será transferido para o caminhão, com maior capacidade, e transportado até a indústria (COELHO, 2009; BELARDO et al., 2015).

A utilização das colhedoras de cana-de-açúcar em áreas mecanizáveis, nos dias de hoje, é necessária, uma vez que, esta máquina realiza o trabalho de 100 trabalhadores com rendimento de, aproximadamente, 800 toneladas por dia por

máquina quando comparado ao rendimento manual de 7 toneladas por dia por pessoa (COSTA NETO, 2006).

O mercado de colhedoras para a cana-de-açúcar ainda é feito por meio de estimativa, ao contrário de outras máquinas, como tratores e colhedoras de grãos, que o detalhamento de mercado é feito de bastante minuciosa (ROSA, 2013). Elias e Pinto (2008) estimam que no ano de 2018 já terão um pouco mais de 10.000 colhedoras em campo (Figura 2), sendo que na safra de 2014/2015 foram utilizadas mais de 9.000 unidades, valores semelhantes aos estimados por Tonette et al. (2009), ao realizarem uma modelagem matemática para calcular a demanda de colhedoras, além de mensurar a frota total de máquinas no país.

Figura 2 – Projeção por unidade de colhedoras em uso nas usinas



Fonte: ELIAS e PINTO (2008).

A mecanização da colheita da cana-de-açúcar só pode de ser realizada em canaviais com topografias adequadas, isto é, em áreas com declividade menor que 12%; porém, ainda são necessárias outras alterações técnicas para o melhor desempenho da máquina durante a operação, como a sistematização do solo e dimensionamento de talhões para a diminuição de manobras, evitar o pisoteio das máquinas nas fileiras de plantio através do espaçamento adequado, uso de variedades apropriadas à colheita mecanizada, mão-de-obra qualificada e junção de novas tecnologias desde a operação de preparo de solo até a colheita (BENEDINI e DONZELLI, 2007).

2.3 Desempenho operacional das colhedoras de cana-de-açúcar

O desempenho operacional da colheita de cana-de-açúcar pode ser descrito, de acordo com Mialhe e Ripoli (1976), Furlani Neto et al. (1977) e ASAE (1983), como o conjunto de atributos que caracterizam a habilidade da máquina para a execução da operação de colheita, sob determinadas condições operacionais. No estudo do desempenho leva-se em conta a capacidade de colheita, a qualidade do material colhido, a ergonomia e a segurança dos operadores (RIPOLI, 1996).

As variáveis produtividade agrícola, porte do canavial e espaçamentos entre fileiras adotados, juntos a outras características da área a ser colhida, influenciam diretamente no desempenho das colhedoras (Belardo et al., 2015).

A capacidade de colheita é descrita de acordo com Ripoli e Ripoli (2009), como a quantidade de trabalho que uma máquina é capaz de executar na unidade de tempo, podendo ser efetiva ou operacional. Na capacidade de colheita efetiva não são levados em conta os tempos consumidos em manobras de cabeiras e outras paradas, como abastecimento, aguardando transbordo, entre outros, podendo ser bruta quando considera apenas o material presente no veículo de transporte ou líquida quando as perdas de matéria-prima no campo são contabilizadas. A capacidade de colheita operacional está relacionada a um dia de trabalho ou uma safra inteira e leva em consideração todos os tempos de trabalho ocorridos durante a operação.

Giachini (2012), ao avaliar uma colhedora de cana-de-açúcar em três turnos de trabalho diferentes, observou que no turno das 08h01 às 16h00 foi o que melhor apresentou resultados de capacidade de campo efetiva e operacional e capacidade de colheita, além do melhor aproveitamento das horas disponíveis durante a operação de colheita.

O consumo de combustível das colhedoras é um dos fatores importantes para se calcular o custo operacional do sistema de colheita mecanizada e constitui um indicativo da eficiência do processo de conversão de energia do sistema utilizado na colheita, medidos através de equipamentos especializados em mensurações de fluxos (RIPOLI e RIPOLI, 2009).

Ramos et al. (2014), avaliaram o consumo de combustível de uma colhedora de cana-de-açúcar em um canavial de 85 t ha⁻¹ e observaram que os resultados foram melhores para o consumo de combustível por tonelada quando houve a combinação da maior velocidade (5,5 km h⁻¹) com a menor rotação do motor (1800 rpm).

Belardo (2010), verificou que em ensaios com três colhedoras distintas, com duas velocidades de deslocamento (5 e 7 km h⁻¹) e em um canavial de primeiro corte com

produtividade média de 100 t dia^{-1} , os resultados de consumo horário de combustível e consumo de combustível por tonelada colhida ficaram entre $53,75$ e $64,80 \text{ L h}^{-1}$, entre $0,47$ e $0,70 \text{ L t}^{-1}$ respectivamente, e as capacidades efetivas ficaram entre $0,74$ e $1,09 \text{ ha h}^{-1}$. O autor concluiu que ao aumentar a velocidade de deslocamento houve aumento na capacidade de colheita, porém, o inverso ocorreu com o consumo de combustível por tonelada que reduziu ao aumentar a velocidade, além de não apresentar diferenças estatísticas entre os tratamentos para os parâmetros avaliados de qualidade da operação.

Lyra (2012), avaliando o consumo de combustível de duas colhedoras de cana-de-açúcar em função da velocidade de deslocamento e da rotação do motor, encontrou valores de $0,40 \text{ L t}^{-1}$ para o consumo de combustível por tonelada colhida quando a colhedora estava em rotação de 2000 rpm e na velocidade de 6 a 7 km h^{-1} .

Durante as colheitas diurna e noturna, Giachini et al. (2016), avaliaram o consumo de combustível de uma colhedora de cana-de-açúcar resultando em $0,54 \text{ L t}^{-1}$ (colheita diurna) e $0,52 \text{ L t}^{-1}$ (colheita noturna) para consumo de combustível por tonelada nos dois períodos de colheita devido as boas condições de colheita da área.

2.4 Qualidade da colheita mecanizada em cana-de-açúcar

Para as avaliações da qualidade da operação de colheita mecanizada alguns parâmetros são necessários, tais como, as determinações das perdas visíveis, a quantidade de matérias estranhas de origem vegetal e mineral e as condições finais do corte basal.

As perdas visíveis na colheita mecanizada consistem em todo material considerado industrializável presente no campo logo após a passagem da colhedora, podendo ser na forma visível, detectadas no campo e constituídas por colmos e suas frações, que contém sacarose, e na forma invisível como caldo, serragem e estilhaços de cana-de-açúcar que ocorrem no corte e processamento interno nas colhedoras (BELARDO e RIPOLI, 2015). As perdas invisíveis não são quantificadas em ensaios de colhedoras por conta da dificuldade de sua avaliação no campo (NEVES, 2004).

Saber a origem e as causas das perdas na operação de colheita é de extrema importância para solucionar e diminuir sua incidência para níveis aceitáveis. As perdas visíveis estão relacionadas às características do canavial como produtividade, características varietais, topografia do terreno, espaçamento entre fileiras do canavial

e sistematização do plantio, e à operação da colhedora tais como a capacitação dos operadores, o sincronismo da colhedora com o transbordo, a velocidade de deslocamento, a rotação do exaustor primário, a altura da carga transportada e o estado e regulagem dos seus órgãos ativos (NEVES, 2015).

A porcentagem de perdas visíveis deixadas no campo pelas colhedoras representa o material industrializável que deveria ser entregue na indústria e não o foi. De acordo com Benedini et al. (2009), as perdas totais visíveis são quantificadas e classificadas em níveis baixos quando a porcentagem for menor que 2,5%, níveis médios quando estiver entre 2,5 e 4,5% e em níveis altos quando a porcentagem for maior que 4,5%.

Manhães et al. (2013), constataram que os valores encontrados para perdas de toco e de pedaços de cana-de-açúcar estiveram em níveis baixos, podendo estar relacionados ao bom nivelamento do solo e pouca incidência de pedras na área, possibilitando uma altura de corte próxima do ideal que, de acordo com Belardo (2016), seria de 5 cm, por estar na base dos colmos a concentração de maior quantidade de açúcar na planta.

Martins (2016), avaliou perdas vegetais de matéria-prima com uma colhedora de cana-de-açúcar em três velocidades de deslocamento (3,0, 5,0 e 7,0 km h⁻¹) e duas rotações do extrator primário (700 e 1000 rpm). O autor não obteve diferença estatística em relação as rotações analisadas do extrator primário (1,5 e 1,8%), mas para as velocidades, observou um aumento de perdas (1,2, 1,6 e 2,1%) para velocidades crescentes.

O mecanismo de corte de base nas colhedoras possui um dispositivo duplo rotativo com múltiplas lâminas que realizam o corte inercial por impacto (VOLPATO, 2001). De acordo com Neves (2003), este sistema exerce funções importantes durante a colheita, por estar diretamente ligado à qualidade da matéria-prima, aos níveis de perdas, material estranho mineral e a qualidade das soqueiras, tais como o seu abalo, a sua altura e os danos causados.

A qualidade do corte de base interfere no melhor aproveitamento da lavoura, com menos perdas de matéria-prima industrializável em campo, diminuindo a contaminação do material colhido com matéria estranha mineral e, ainda, garantindo as melhores condições agrônômicas para a rebrota do canavial, sem reduzir a produtividade das próximas safras (VOLTARELLI et al., 2014)

Os danos causados nas soqueiras podem provocar maior incidência de fungos e doenças nas mesmas, pela fragmentação que vem a ser uma porta de entrada para insetos (MANHÃES et al., 2013).

Mello (2011), avaliando um sistema de corte de base sem impacto, para colhedoras de cana-de-açúcar, com lâminas serrilhadas e que possam ser adaptadas em qualquer colhedora de cana-de-açúcar, concluiu que o sistema sugerido apresentou menores valores de danos e abalos às soqueiras e perdas de matéria-prima, indicando que, o uso dessas lâminas, poderia ser uma alternativa mais eficiente para o corte basal da cana-de-açúcar.

A altura de corte e os danos causados às soqueiras estão ligados ao corte de base da colhedora influenciados pela declividade do terreno, experiência do operador com a máquina, pela velocidade de deslocamento, tipo de preparo do solo e o controlador automático de altura do corte de base. O desgaste do fio de corte das facas, a velocidade de deslocamento acima do ideal e corte por impacto nos colmos são os principais fatores que causam os danos às soqueiras (VOLTARELI, 2015).

Cassia e Silva (2015), relatam que os valores aceitáveis, para as unidades produtoras de cana-de-açúcar, em relação à altura de corte da soqueira é na faixa de 5 e 10 cm acima do solo, pois valores abaixo reduzem a qualidade da operação e valores acima considera-se como perdas (neste caso classificada como toco).

Avaliando as perdas na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em relação ao desgaste de facas do corte de base, Reis (2009), concluiu que os maiores danos às soqueiras estão relacionados ao desgaste das facas após 6 horas trabalhadas.

As perdas e a contaminação da cana-de-açúcar com terra durante o processo de colheita estão relacionadas diretamente ao perfil inadequado do solo e pelo não acompanhamento do perfil do solo executada pelo cortador basal (OLIVEIRA, et al., 2007). Há casos em que essas perdas podem chegar a 10%, quando o valor aceitável para algumas usinas é de 5% e, as quantidades de terra aderidas aos colmos colhidos ficam entre 3 e 5 kg t⁻¹ de cana-de-açúcar colhida (BRAUNBECK, 1999). A carga colhida no campo com matéria estranha e levada a indústria diminui as eficiências de filtragem e de clarificação do caldo, alterando a qualidade final do açúcar (RIDGE e DICK, 1992).

Noronha et al. (2011), avaliando uma colhedora de cana-de-açúcar em dois turnos diferentes de trabalho (diurna e noturna) não observou diferença significativa para danos às soqueiras, porém houve diferença entre os períodos avaliados para

soqueiras com danos periféricos e rachaduras, com 42,6% no turno diurno e 35,8% no turno noturno.

2.5 Qualidade da matéria-prima colhida

A carga da colheita mecanizada da cana-de-açúcar que chega à indústria deveria ser composta apenas por rebolos industrializáveis, mas na prática isto não acontece, as matérias estranhas de origem vegetal e mineral fazem parte desta carga. Para Silva (2003), as matérias estranhas referem-se a tudo que acompanhe a matéria-prima que não sejam colmos maduros, podendo ser divididas em vegetais (folhas verdes, palmito, raízes, palha e colmos secos) e minerais (solo solto ou aderido às raízes, pedras). O nível de matéria estranha vegetal aceitável, de acordo com Benedini et al. (2009), é de até 6%, e para matéria estranha mineral é de até 0,6% e, acima desses valores, classifica-se como nível alto de matéria estranha.

A quantidade de matéria estranha presente na carga colhida destinada a indústria depende de fatores como a variedade da cana-de-açúcar que está sendo colhida, das condições do solo no momento da colheita e do tipo de máquina utilizada com suas especificidades nos sistemas de corte de base e limpeza (MAGALHÃES et al., 2008). De acordo com Volpato (2001), a matéria estranha mineral reduz a qualidade tecnológica da matéria-prima, principalmente quando as lâminas do disco de corte trabalham em contato com o solo, transportando-o para o interior da colhedora, além de provocar danos e até arrancar as soqueiras.

As matérias estranhas vegetais são controladas, na maior parte, pela regulação das rotações dos exaustores primário e secundário das colhedoras, resultando em menor peso de carga imprópria e melhor eficiência de extração de caldo por parte da indústria. A matéria estranha mineral é controlada pela regulação da altura do corte de base, sendo que as colhedoras mais modernas contam com um dispositivo que controla automaticamente essa altura, facilitando o serviço e diminuindo a quantidade de terra na carga, apesar de também ser influenciada pelo porte e condições do canavial (BELARDO et al., 2015).

Belardo (2010), analisando a matéria estranha vegetal e mineral de três colhedoras diferentes em duas velocidades de deslocamento, 5,0 e 7,0 km h⁻¹, observou valores entre 5,0 e 7,3% de matéria estranha vegetal e 0,50 a 0,92% para matéria estranha mineral.

Schmidt Junior (2011), ao avaliar uma colhedora de cana-de-açúcar em três velocidades de deslocamento e duas rotações do extrator primário obteve valores do índice de matéria estranha total alto ao aumentar a velocidade, não observando alteração nos valores com a variação da rotação do extrator.

Ao avaliar o desempenho operacional e energético de duas colhedoras de cana-de-açúcar para uma e duas linhas da cultura, em espaçamento convencional, Testa (2014), obteve resultados de matéria estranha vegetal de 8,3% e 8,7%, respectivamente, considerados altos e justificados, pois não foram utilizados os cortadores de pontas em ambas as máquinas estudadas e, para a matéria estranha mineral, os valores foram classificados como baixos, sendo 0,28% e 0,19%, respectivamente.

2.6 Ensaio à campo de colhedoras de cana-de-açúcar

Os ensaios de máquinas agrícolas são de extrema importância para se obter informações que poderão ser utilizadas para a tomada de decisões, em vários segmentos envolvidos na área de mecanização agrícola (MIALHE, 1996).

Além dos tratores, outros grupos de máquinas agrícolas também podem ser ensaiados tais como as máquinas para mobilização periódica do solo, avaliando os seus órgãos ativos de mobilização e quantificando as modificações ocorridas no solo após a passada da máquina na área avaliada (GAMERO e LANÇAS, 1996), máquinas para aplicação de adubos e corretivos, promovendo de forma correta a dosagem e distribuição no solo, desta forma durante o ensaio as avaliações das características ponderais e dimensionais, segurança e desempenho em campo e laboratório são essenciais (MILAN e GARDANHA JUNIOR, 1996). Máquinas para semeadura, responsáveis por dosar a quantidade certa de sementes e lançá-las ao solo também são ensaiadas assim como os equipamentos de irrigação (MIALHE, 1996) e as colhedoras destinadas à fase final da cultura na lavoura.

Em relação aos ensaios de tratores, na maioria dos países a regulamentação é de caráter liberal, deixando à livre iniciativa dos consultores submeterem ou não as suas máquinas a ensaios (FUNENGA, 1987). Alguns países possuem a sua infraestrutura responsável pelos ensaios oficiais, porém, a grande maioria utiliza as normas definidas pela Organização de Cooperação e Desenvolvimento Econômico (Organization for Economic and Cooperative Development - OECD) que assegura a

reprodutibilidade e a comparação dos testes realizados em diversos países. Os códigos da OECD são divididos em ensaios obrigatórios e ensaios facultativos podendo ambos serem realizados em laboratório e em terreno agrícola (DALLEINNE e COCHET, 1973; CEMAGREF, 1074).

Pela Associação Brasileira de Normas Técnicas - ABNT, a norma NBR 10400 de agosto de 1988, apresenta o método para a determinação das características técnicas e desempenho de tratores agrícolas, bem como a forma de apresentação das especificações técnicas e dos resultados obtidos.

De acordo com Coelho (1996), os ensaios de máquinas para semeadura podem ser realizados em pista, em campo e também em laboratório. Existem normas para a realização destes ensaios estabelecendo um padrão de avaliação, permitindo que estas possam ser repetidas em diferentes locais e assim os resultados comparados com demais trabalhos semelhantes.

Na cultura da cana-de-açúcar as máquinas são utilizadas em todas as operações, desde o preparo do solo até a colheita. A operação de colheita mecanizada é essencial para o setor sucroenergético por envolver a qualidade e as perdas durante o processo de produção da cultura da cana-de-açúcar, por isso, a importância de estar sempre avaliando o desempenho operacional e qualidade da matéria-prima colhida bem como pela complexidade e funcionamento das máquinas. Para esse fim, metodologias são utilizadas para uma abordagem técnica e levantamento de dados com qualidade e de forma detalhada dos diversos parâmetros envolvidos entre a cultura e a máquina, gerando, desta forma, um melhor aperfeiçoamento e desenvolvimento das máquinas, visando sempre a diminuição de custos de produção e melhoria da eficiência da operação (BELARDO et al., 2015).

A ABNT possui normas de ensaio para colhedoras de forragem e grãos. A Norma NBR ISO 8909-3:2016 especifica os métodos de avaliação de desempenho operacional e funcionamento de colhedoras de forragem para colhedoras que cortam a cultura na largura total, de fileiras de plantação equidistantes e as que coletam a cultura pré-cortada. A Norma NBR ISO 8210 – 2016 aplica-se a ensaios com todos os tipos de colhedoras (auto-propelidas ou tracionada) de grãos. Esta Norma estabelece a terminologia e os métodos a serem utilizados para medir as características primordiais da colhedora, além dos ensaios funcionais e de capacidade, isto é, os ensaios realizados em um longo período em relação a facilidade de operação, de

ajuste, taxa de trabalho e as características gerais da operação além dos ensaios realizados para determinação das características de capacidade e perda de grãos.

Ripoli (1996), afirmou não existir conteúdos normativos para as colhedoras de cana-de-açúcar, em âmbito da ABNT ou de entidades de normalização de outros países, e até aquele momento, não tinham sido elaboradas nenhuma norma técnica para ensaio dessas máquinas. Desta mesma forma, Molina Junior (2000), relatou que desconhecia metodologia descritiva sobre a colheita mecanizada da cana-de-açúcar, informando apenas que em bibliografia especializada existe a caracterização dos parâmetros para avaliações de desempenhos realizados de forma não padronizada e, em alguns casos, não podendo comparar os resultados com outros trabalhos.

Ramos (2016) elaborou uma metodologia para determinação do índice de colheitabilidade – IC para avaliação das condições agrônômicas de um canavial em pré-colheita. O autor avaliou o desempenho operacional e a qualidade da colheita de colhedoras de cana-de-açúcar, em diferentes canaviais, considerando as condições culturais, de solo, de plantio e da sistematização do terreno visando a adequação da operação de colheita.

Ao avaliar colhedoras multilinhas em áreas de diferentes produtividades agrícola Belardo (2016), comenta a importância da realização de ensaios padronizados de colhedora de cana-de-açúcar em condições adversas de canaviais devido as características das áreas interferirem nos parâmetros avaliados relativos ao desempenho da máquina e qualidade da operação.

3 MATERIAL E MÉTODOS

3.1 Descrição do experimento

Os ensaios à campo de colhedoras de cana-de-açúcar começaram a ser realizados pelos integrantes do grupo Núcleo de Ensaio de Máquinas e Pneus Agroflorestais – Nempa da Faculdade de Ciências Agrônômicas – FCA, Unesp Câmpus de Botucatu-SP, no ano de 2012 e, desde então, veem utilizando, basicamente, a mesma metodologia de avaliação.

Este trabalho constituiu na validação dos parâmetros para a padronização dos ensaios de colhedoras de cana-de-açúcar tanto para colhedoras de uma linha de plantio como para duas linhas. Para isto, foram utilizados relatórios de ensaios aonde foram avaliados o desempenho operacional das colhedoras e a qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar com diferentes configurações na rotação do motor, variações nas velocidades de deslocamento em canaviais sem queima prévia, com diferentes produtividades agrícolas e em diferentes épocas de colheita. Estes ensaios foram realizados em diversas localidades do país e também no exterior.

Todos os ensaios seguiram uma sequência de avaliação, começando pela avaliação de consumo de combustível, durante a colheita efetiva, ou seja, os valores obtidos correspondiam ao momento da colheita desconsiderando os consumos em manobras de cabeceiras, interrupções para manutenção, reabastecimento, desembuchamento, espera de transbordo entre outras situações que faça a colhedora de cana-de-açúcar consumir combustível sem estar colhendo e, posteriormente, as avaliações de qualidade da colheita mecanizada como perdas visíveis, matéria estranha de origem vegetal e mineral, altura de tocos, danos e abalos às soqueiras.

As parcelas experimentais compreendiam a colheita de uma fileira de cana-de-açúcar, para a avaliação de colhedoras de uma linha e a colheita de duas fileiras para colhedoras de duas linhas. Estas parcelas apresentavam comprimento de, no mínimo, 200 metros lineares, mensurados através de um aparelho de GPS modelo MAP 60csx da marca Garmin, com precisão de posição de 4 metros.

Para todos os ensaios uma velocidade de deslocamento da colhedora foi utilizada como base, sendo esta recomendada pela usina onde estavam sendo realizados os ensaios e, além desta, mais duas velocidades, uma com 20% a menos e a outra 20% a mais do que a velocidade recomendada. Em relação a rotação do motor, foram

realizadas avaliações com a rotação nominal do motor (recomendada pelo fabricante) e com a rotação reduzida/automática do motor (software de controle de variação da rotação do motor de acordo com a demanda de carga no motor). As avaliações foram realizadas em, pelo menos, duas áreas de produtividade agrícola diferentes.

3.2 Colhedoras utilizadas

Os ensaios foram realizados utilizando colhedoras de diferentes marcas e modelos e, suas principais características e configurações estão descritas na Tabela 1. Durante as avaliações, cada usina indicou um operador de colhedora para trabalhar ao longo de todo o experimento.

A seleção de diferentes colhedoras de cana-de-açúcar não teve como alvo a avaliação do desempenho comparativo das máquinas, mas o propósito de estudar e validar a metodologia de ensaio permitindo a sua utilização nas mais diversas condições de trabalho.

Tabela 1 – Principais características das colhedoras avaliadas

Características	Colhedoras
Ano de fabricação	2012 a 2016
Potência (kW)	251 – 263
Rodado	Esteira
Número de fileiras colhidas	1 e 2
Controle automático do corte de base	Ligado
Controle de rotação do motor	Ligado e Desligado
Rotação do motor (rpm)	2100 – 2200

3.3 Descrição das áreas avaliadas

Os locais avaliados pertenciam às usinas de cana-de-açúcar no Brasil e também no exterior. Na caracterização das áreas avaliadas foi utilizada a metodologia desenvolvida por Ramos (2016), onde o autor determinou o Índice de Colheabilidade – IC para avaliar a condição prévia da colheita mecanizada de cana-de-açúcar.

3.3.1 Determinação da produtividade agrícola

Para a realização dos ensaios, as áreas colhidas eram classificadas em relação à produtividade agrícola e separadas em pelo menos dois níveis diferentes (estimada e

fornecida pela Usina), havendo variações nas áreas em relação a declividade, porte e idade do canavial, espaçamento de plantio e comprimento do talhão, fatores esses que influenciam na qualidade da colheita.

As notas que Ramos (2016) atribuiu para as faixas de produtividades agrícolas estão na Tabela 2.

Tabela 2 – Notas atribuídas para o fator produtividade do canavial

PRODUTIVIDADE	AVALIAÇÃO	NOTA
Muito Baixa (<50 t ha ⁻¹)	MUITO RUIM	1
Baixa (51 – 70t ha ⁻¹)	RUIM	2
Média (71 – 90 t ha ⁻¹)	REGULAR	3
Alta (91-110 t ha ⁻¹)	BOM	4
Muito Alta (>110 t ha ⁻¹)	ÓTIMO	5

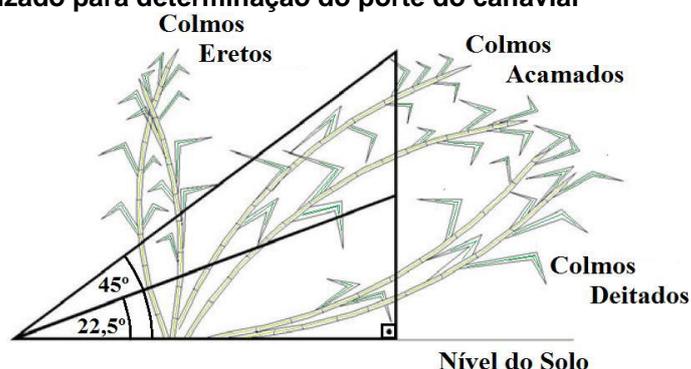
Fonte: Ramos (2016, p. 40).

3.3.2 Determinação do porte do canavial

O porte do canavial refere-se à posição em que os colmos se encontravam em relação ao nível do solo antes da colheita. Para esta determinação foi utilizado o triângulo de Ripoli modificado, descrito por Ripoli et al. (1977), que é uma estrutura triangular com barras inclinadas a 22,5 e 45° do solo, para classificação dos colmos em eretos, acamados e deitados (Figura 3).

Ramos (2016), atribuiu notas para o parâmetro porte do canavial, conforme mostra a Tabela 3.

Figura 3 – Método utilizado para determinação do porte do canavial



Fonte: Ramos (2016, p. 39) – adaptado de RIPOLI et al. (1977).

Tabela 3 – Notas atribuídas para o fator porte do canavial

PORTE	AVALIAÇÃO	NOTA
Plantas predominantemente Deitadas	MUITO RUIM	1
Plantas Acamadas e Deitadas	RUIM	2
Plantas predominantemente Acamadas	REGULAR	3
Plantas Acamadas e Eretas	BOM	4
Plantas predominantemente Eretas	ÓTIMO	5

Fonte: Ramos (2016, p.39).

3.3.3 Determinação da declividade do terreno

Um dos fatores determinantes para o melhor rendimento da colhedora é a declividade média do talhão, pois quanto maior for essa declividade maior será a dificuldade em manter a colhedora na linha de plantio e também a sincronização com o transbordo.

A Tabela 4 apresenta as notas que Ramos (2016), atribuiu para o fator declividade do terreno.

Tabela 4 – Notas atribuídas para o fator declividade do terreno

DECLIVIDADE	AVALIAÇÃO	NOTA
Acima do Limite Máximo Recomendado (12%)	MUITO RUIM	1
Inclinação Alta (9,1 a 12%)	RUIM	2
Inclinação Média (6,1 a 9%)	REGULAR	3
Inclinação Baixa (3,1 a 6%)	BOM	4
Plano (0 a 3%)	ÓTIMO	5

Fonte: Ramos (2016, p.43).

3.4 Espaçamento entre fileiras de plantio

As áreas foram avaliadas com o espaçamento entre fileiras simples (1,5 metro entre linhas) e em espaçamento duplo (1,6 x 0,9 metros entre linhas).

3.5 Números de cortes do canavial

As áreas foram avaliadas em diferentes cortes da cultura. Houve área que estava no primeiro corte (cana-planta), área no quarto corte, área no oitavo corte, área no nono corte e área no décimo segundo corte.

3.6 Comprimento do talhão avaliado

Em relação ao comprimento do talhão foi utilizado um aparelho de GPS modelo MAP 60csx da marca Garmin para a marcação do talhão avaliado. Posteriormente as áreas foram classificadas em talhões curtos, quando apresentavam menos de 500 metros, talhões médios quando estavam entre 500 e 1000 metros e talhões longos quando apresentavam mais que 1000 metros de comprimento.

3.7 Determinação da velocidade de deslocamento da colhedora

A determinação da velocidade de deslocamento é realizada através da obtenção do tempo gasto percorrido na fileira de colheita e do espaço percorrido e, para isso foi utilizado um aparelho GPS modelo MAP 60csx da marca Garmin. A velocidade foi obtida conforme a Equação 1:

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

Onde V é a velocidade de deslocamento da colhedora (km h^{-1}), L é o comprimento da fileira de colheita (m), t é o tempo gasto durante o percurso da fileira de colheita (s) e 3,6 é o fator de conversão.

As velocidades médias de deslocamento da colhedora foram classificadas por faixas e são apresentadas na Tabela 5.

Tabela 5 – Classificação das velocidades médias de deslocamento

Classificação	Velocidade (Km h^{-1})
Baixa	< 3
Média	3 – 5
Alta	> 5

3.8 Capacidade de colheita

3.8.1 Capacidade de colheita efetiva

A capacidade de colheita efetiva (Equação 2) é a relação entre a quantidade de cana-de-açúcar colhida e o tempo efetivo (não contabilizando manobras e paradas de qualquer tipo) durante a operação de colheita.

$$C_e = \frac{A_{tr}}{t} \times 3,6 \quad (2)$$

Onde C_e é a capacidade efetiva de cana-de-açúcar colhida ($t \text{ h}^{-1}$), A_{tr} é a área útil da parcela trabalhada (m^2), t é o tempo gasto para percorrer a parcela experimental (s) e 3,6 é o fator de conversão.

3.9 Consumo de combustível

A avaliação do consumo de combustível das colhedoras de cana-de-açúcar foi realizada para todos os parâmetros e condições de campo definidas previamente.

Nas colhedoras foram utilizados medidores de combustível do tipo fluxômetro modelo LSF45, da marca Oval com capacidade de leitura máxima de 500 L h^{-1} (Figura 4) sendo utilizadas duas unidades nas colhedoras avaliadas, uma instalada no sistema de alimentação de combustível entre o tanque e o motor e a outra unidade no retorno do combustível para o tanque.

Os valores de consumo de combustível foram obtidos por um equipamento de aquisição de dados (Figura 5) que registrava uma unidade de pulso a cada 10 mL de combustível que passava pelo interior dos fluxômetros e, sendo calculado através da diferença de combustível que entrava no motor e o que retornava ao tanque, com base na metodologia de Monteiro (2008) adotada pelo Nempa. Em cada avaliação o sistema de aquisição de dados era acionado no início da colheita e parado ao final, obtendo o resultado da parcela avaliada.

Figura 4 – Fluxômetro instalado na entrada e no retorno do tanque da colhedora de cana-de-açúcar para determinação do consumo de combustível



Figura 5 – Controlador Lógico Programável (CLP) utilizado na coleta de dados de consumo de combustível



3.9.1 Consumo horário efetivo de combustível

Foi obtido por meio da coleta dos dados fornecidos pelo sistema de aquisição de dados pela Equação 3:

$$C_{ch} = \frac{\sum(pe-ps)}{t} \times 3,6 \quad (3)$$

Onde C_{ch} é o consumo horário de combustível ($L h^{-1}$), $\sum(pe-ps)$ é a diferença entre as somatórias de pulsos de entrada e de retorno do motor, t é o tempo gasto (s) e 3,6 é o fator de conversão.

3.9.2 Consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar

O consumo de combustível por tonelada foi calculado por meio da relação entre quantidade de combustível consumido pela colhedora e a quantidade de cana-de-açúcar colhida (Equação 4):

$$C_t = \frac{C_{ch}}{C_e} \quad (4)$$

Onde C_t é o consumo de combustível por tonelada colhida ($L t^{-1}$), C_{ch} é o consumo horário de combustível ($L h^{-1}$) e C_e é a capacidade de colheita efetiva ($t h^{-1}$).

3.10 Perdas visíveis de matéria-prima

A metodologia utilizada para esta avaliação foi proposta pelo Centro de Tecnologia Canaveira – CTC (BENEDINI et al., 2009), no qual as perdas são medidas de forma direta e quantificadas, delimitando-se uma área no solo, logo após a operação de colheita, fazendo-se a catação manual do material industrializável presente na área.

As áreas amostradas possuíam $10 m^2$, aproximadamente, abrangendo duas linhas de cana-de-açúcar, compreendida por 3,0 metros de largura por 3,33 metros de comprimento da fileira (Figura 6). O material encontrado na área foi separado, caracterizado (Tabela 6) e quantificado, utilizando uma balança portátil com capacidade de leitura de 25 kg e precisão de 10 gramas (F).

Figura 6 – Demarcação da área avaliada para separação da matéria-prima deixada no campo e pesagem das perdas visíveis totais



Fonte: Ramos (2016, p. 51).

Tabela 6 – Tipos de perdas de matéria-prima

Tipos de perdas	Características
Rebolo repicado	Fração do colmo com o corte característico do facão picador ou do corte de base, em ambas as extremidades
Cana ponta	Fração de colmo deixada no solo e agregada ao ponteiro
Pedaço fixo	Segmento médio de cana (maior que 0,20 m), necessariamente preso ao solo
Pedaço solto	Segmento médio de cana (maior que 0,20 m), necessariamente solto ao solo
Lasca	Fração segmentada do rebolo
Estilhaço	Fragments de cana dilacerados
Toco	Fração do colmo cortada acima da superfície do solo, presa às raízes, com comprimento menor ou igual a 0,2 m

Fonte: Reis (2009, p. 31).

As perdas foram calculadas de forma absoluta em toneladas por hectare, multiplicando-se o valor final por 100, transformados em porcentagem conforme a Equação 5:

$$P_c = \frac{P_{mp}}{P + P_{mp}} \times 100 \quad (5)$$

Onde P_c é a porcentagem das perdas no campo (%), P_{mp} é a perda de matéria-prima no campo ($t\ ha^{-1}$), P é a produtividade do canavial ($t\ ha^{-1}$) e 100 é o fator de conversão.

Após a obtenção do índice de perdas totais, os valores foram classificadas em níveis de acordo com os valores médios, conforme a Tabela 7.

Tabela 7 – Classificação de perdas visíveis totais

Nível de perdas	Percentual de perdas (%)
Baixo	< 2,5
Alto	2,5 a 4,5
Médio	> 4,5

Fonte: Benedini et al. (2009).

3.11 Qualidade da matéria-prima colhida

Para a avaliação da qualidade do material colhido foram realizadas amostras pelo laboratório de sacarose da própria usina onde estava sendo realizado o ensaio.

Na entrada da moenda os caminhões eram pesados e seguiam para o laboratório onde eram retiradas duas amostras pela sonda oblíqua. O material era separado e classificado em matérias estranha vegetais e minerais.

Para a matéria estranha vegetal o material era separado em rebolos, folhas, palhas e raízes. Já para a matéria estranha mineral utilizava-se o método da incineração em forno mufla, com amostra de 50 gramas de cana desintegrada. Ao retirar do forno esta amostra era novamente pesada e o que estava presente no cadinho era classificado como matéria estranha mineral.

Posteriormente os valores obtidos nesta avaliação foram classificados conforme Tabela 8 (Benedini et al., 2009).

Tabela 8 – Classificação de matérias estranhas vegetais e minerais

Classificação	Matérias estranhas vegetais (%)	Matérias estranhas minerais (%)
Baixo	< 3%	< 0,3%
Médio	4% a 6%	0,4% a 0,6%
Alto	> 7%	> 0,6%

Fonte: BENEDINI et al. (2009) - adaptada.

3.12 Determinação da altura de toco, danos e abalo às soqueiras

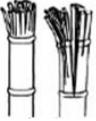
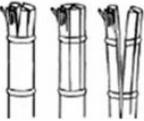
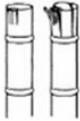
A avaliação de altura de toco e danos às soqueiras foram realizadas para a avaliação da qualidade da colheita em relação ao corte de base. Foram avaliados os tocos remanescentes logo após a passagem das colhedoras. A área amostral era composta por 10 metros lineares, selecionado aleatoriamente.

Para a avaliação da altura do toco foi utilizada uma trena, sendo medida a altura dos tocos presentes no espaço demarcado e, para a avaliação dos danos às soqueiras utilizou-se a metodologia de Kroes (1997), citado no trabalho de Mello e Harris (2003), atribuindo notas para cada situação encontrada nas soqueiras avaliadas (Figura 7).

Já a avaliação de abalo às soqueiras foi feita por meio da aplicação de um esforço manual controlado em cada soqueira, obtendo o nível de fixação ao solo, e classificados conforme a Tabela 9. Ambas as avaliações foram realizadas pelo mesmo

avaliador para não ter diferença durante as análises sendo realizadas 3 repetições para cada parâmetro avaliado.

Figura 7 – Classificação dos danos às soqueiras

Classificação de danos	Fragmentado	Rachaduras	Danos periféricos	Sem danos
Limite inferior				
Nota	1	2	3	4

Fonte: KROES (1997), adaptado por MELLO e HARRIS (2003).

Tabela 9 – Classificação de abalo às soqueiras.

Classificação de abalo	Nota
Arrancada	1
Média	2
Firme	3

4 RESULTADOS E DISCUSSÃO

Os resultados foram divididos em duas partes, a primeira com a apresentação das condições de campo avaliadas durante os ensaios e, na segunda parte os resultados médios obtidos dos relatórios com a discussão relacionando trabalhos de diversos autores.

4.1 Descrição das áreas avaliadas

4.1.1 Locais dos Ensaios

Os trabalhos foram realizados em seis cidades do Estado de São Paulo com uma delas apresentando dois relatórios. No Mato Grosso do Sul foram em quatro cidades, em Minas Gerais e Goiás foi realizado um ensaio em cada do estado e houve um ensaio no Exterior.

4.1.2 Produtividade agrícola estimada das áreas

Das áreas avaliadas, 3 áreas foram classificadas em produtividade muito baixa (< 50 t ha⁻¹) obtendo nota 1, 7 áreas com produtividade baixa (50 a 70 t ha⁻¹) e nota 2, 8 áreas com produtividade média (71 – 90 t ha⁻¹) e nota 3, 6 áreas com produtividade alta (91 – 110 t ha⁻¹) e nota 4 e 5 áreas com produtividade muito alta (>110 t ha⁻¹) e nota 5, totalizando 29 áreas avaliadas.

4.1.3 Porte do canavial

Das áreas avaliadas, 17 áreas apresentavam colmos eretos (nota 4), 3 estavam com colmos acamados (nota 3), em 4 áreas os colmos estavam deitados (nota 2) e não foi informada esta característica para 5 áreas.

4.1.4 Declividade do terreno

Das áreas avaliadas, 10 áreas foram classificadas como declividade baixa (< 3%) com nota 5, 8 com declividade média (3 a 8%) com nota 4, 2 com declividade alta (> 8%) e nota 3 e 9 áreas não apresentaram esta classificação.

4.1.5 Espaçamento entre fileiras de plantio

Das áreas avaliadas 23 estavam plantadas em espaçamento simples (1,5 metros entre linhas), 2 estavam no espaçamento duplo (1,6 x 0,9 metros) e 4 áreas não continham esta informação.

4.1.6 Número de cortes do canavial

Das áreas avaliadas 1 delas estava no primeiro corte (cana-planta), 1 no quarto corte, 1 no oitavo corte, 1 no nono corte e 1 no décimo segundo corte (cana-soca). As demais áreas não apresentaram esta informação.

4.1.7 Comprimento do talhão avaliado

Das áreas avaliadas 2 foram em talhões curtos (<500 metros de comprimento), 8 em talhões médios (500 a 1000 metros de comprimento), 9 áreas em talhões longos (>1000 metros de comprimento) e 10 áreas não apresentavam esta informação.

4.1.8 Velocidade de deslocamento

Para a variável velocidade de deslocamento foram realizadas 15 avaliações com velocidades baixas (<3 Km h⁻¹), 60 avaliações com velocidades médias (3 a 5 Km h⁻¹) e 38 avaliações com velocidades altas (>5 km h⁻¹).

4.1.9 Rotação do motor

Nas áreas avaliadas, foram realizadas 68 avaliações com a rotação do motor automática ou reduzida e 45 avaliações na rotação nominal do motor.

4.2 Dados obtidos durante as avaliações em campo

Para todos os ensaios realizados foram obtidos dados de campo que possibilitaram avaliar o desempenho das colhedoras e a qualidade do seu trabalho. Os valores para os parâmetros avaliados foram obtidos durante a colheita efetiva, ou seja, enquanto

as colhedoras encontravam-se na linha de cana-de-açúcar, colhendo continuamente sem interrupções.

4.2.1 Capacidade de colheita efetiva

As médias de capacidade de colheita efetiva (CE) dos relatórios avaliados estão apresentados na Figura 8 para colhedoras de uma linha e na Figura 9 para colhedoras de duas linhas. Os resultados das colhedoras de uma linha ficaram entre 0,6 e 1,1 ha h⁻¹.

Já os maiores resultados (1,1 ha h⁻¹) para a capacidade de colheita efetiva foram obtidos quando as colhedoras trabalharam em velocidade alta em áreas de baixa e média produtividade, indicando que nestas condições houve maior quantidade de cana-de-açúcar colhida por hora. Os menores valores ocorreram nas avaliações de velocidade média em área com produtividade agrícola alta e na velocidade alta em área de produtividade muito alta, isto pode ter ocorrido devido ao canavial apresentar o porte acamado interferindo no desempenho da colhedora.

Para as colhedoras de duas linhas, os valores estiveram entre 0,6 e 1,1 ha h⁻¹, valores parecidos com os obtidos quando as colhedoras colheram apenas uma linha de cana-de-açúcar. A maior capacidade efetiva de colheita foi quando as colhedoras trabalharam na velocidade de deslocamento média, demonstrando que o aumento da velocidade apresentou os maiores resultados para a capacidade efetiva.

Os resultados deste trabalho foram inferiores aos dados de Martins (2016), que avaliou uma colhedora de cana-de-açúcar na velocidade de 7 km h⁻¹ em área com 90 t ha⁻¹ e Testa (2014), estudando colhedora de cana-de-açúcar multilinhas em canavial de 83,5 t ha⁻¹ com velocidade de 3,5 km h⁻¹. Ambos autores obtiveram a capacidade de colheita efetiva de 1,06 ha h⁻¹, sendo inferiores aos de Belardo (2010), que avaliou a colhedora de cana-de-açúcar para uma linha na velocidade de 5 km h⁻¹ obtendo valores médios entre 1,07 ha h⁻¹ a 1,30 ha h⁻¹.

Figura 8 – Média dos valores de capacidade efetiva de colheita para colhedoras de cana-de-açúcar de 1 linha

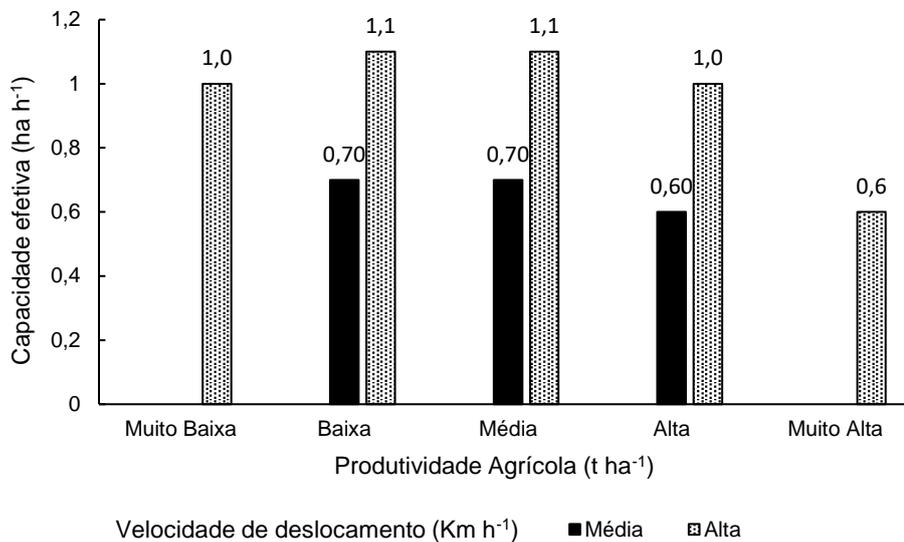
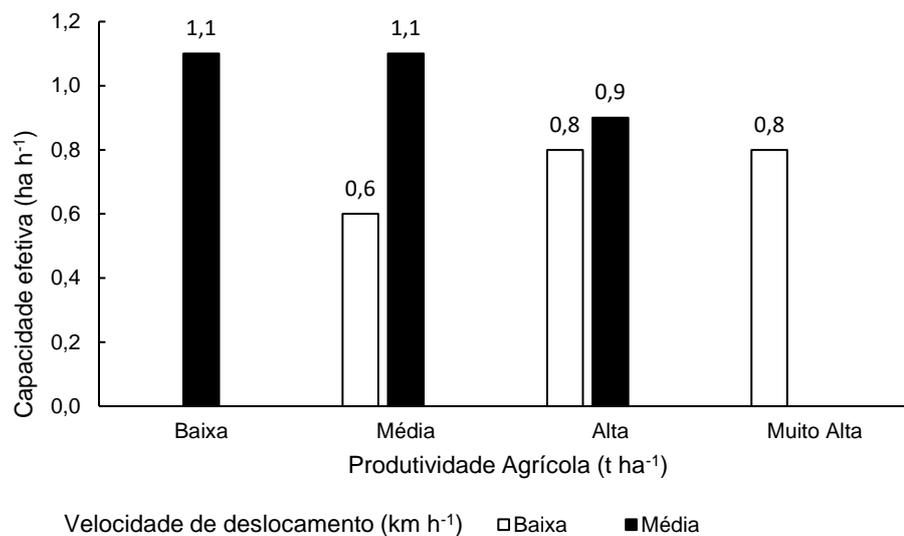


Figura 9 – Média dos valores de capacidade efetiva de colheita para colhedoras de cana-de-açúcar de 2 linhas



4.2.2 Consumo horário efetivo de combustível

A média dos resultados de consumo horário de combustível estão apresentadas nas Figura 10 e Figura 11, que correspondem aos valores para colhedoras de 1 e 2 linhas, respectivamente. Os dados nas figuras são valores referentes a rotação do motor reduzida, dispositivo que controla a rotação do motor em relação a produtividade do canavial, e na rotação nominal. Os valores para consumo horário de combustível corresponde as médias das 5 faixas de produtividade agrícola (muito

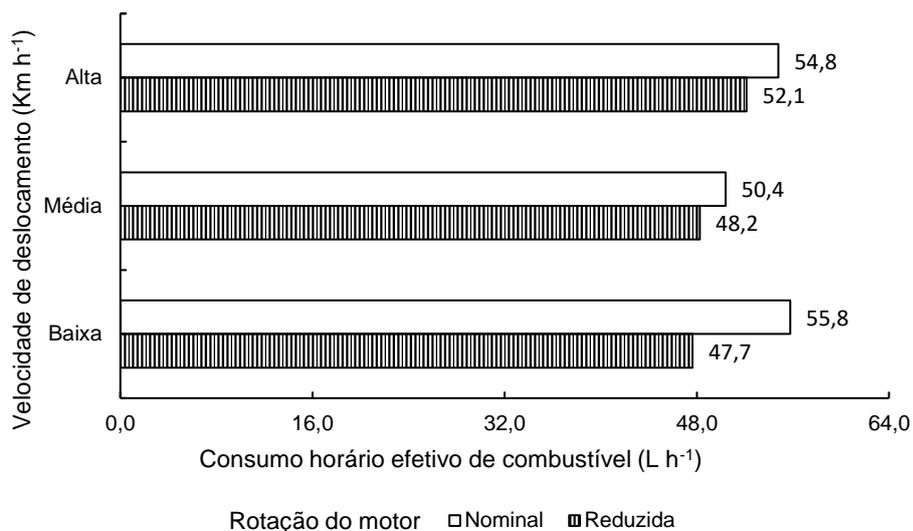
baixa, baixa, média, alta e muito alta) nas faixas de velocidade de deslocamento avaliado (baixa, média e alta) para ambos os modelos de colhedora.

Para as colhedoras de uma linha, os valores variaram entre 47,7 e 52,8 L h⁻¹ na rotação reduzida do motor e de 50,4 a 55,8 L h⁻¹ para a rotação nominal do motor, ambos nas três faixas de velocidade. Quando se faz a comparação entre os dois sistemas de rotação do motor, nota-se que a rotação nominal do motor consumiu mais combustível do que a rotação reduzida, acontecendo isto devido a necessidade de mais potência para o motor durante a operação de colheita em áreas onde a colheitabilidade não estava favorável para a operação.

Voltarelli (2015) comenta que, quando o motor da colhedora trabalha na faixa de rotação que concede maior potência e menor consumo horário de combustível, a operação está bem dimensionada e com pouca interferência externa que possa causar variações elevadas e afetar o desempenho da colhedora.

O consumo horário de combustível aumentou conforme o acréscimo de velocidade de deslocamento para ambas as rotações do motor, concordando com Martins (2016), quando o autor observou o aumento do consumo horário de combustível em relação as três velocidades avaliadas (3,0; 5,0 e 7,0 km h⁻¹) e do mesmo modo quando aumentou a rotação do extrator primário de 700 para 1000 rotações por minutos.

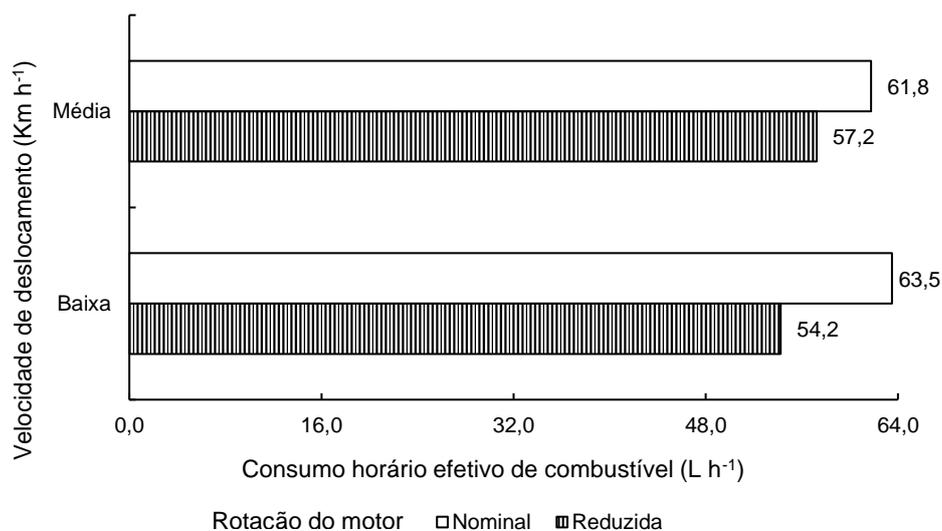
Figura 10 – Média dos valores de consumo horário efetivo de combustível para colhedoras de cana-de-açúcar de 1 linha



Ao avaliar as colhedoras de cana-de-açúcar para duas linhas, na velocidade de deslocamento baixa, os valores foram de 54,2 L h⁻¹ para a rotação reduzida do motor e de 63,5 L h⁻¹ para a rotação nominal do motor. Para as colhedoras de duas linhas o

maior consumo foi na velocidade baixa em rotação nominal do motor. A média de produtividade agrícola na velocidade média (de 3 a 5 km h⁻¹) foi a que apresentou uma diferença menor de consumo horário de combustível quando comparado as rotações do motor.

Figura 11 – Média dos valores de consumo horário efetivo de combustível para colhedoras de cana-de-açúcar de 2 linhas



4.2.3 Consumo de combustível por tonelada de cana-de-açúcar colhida

A avaliação de consumo de combustível por tonelada segue a mesma referência do consumo horário de combustível, correspondendo a média dos valores das cinco faixas de produtividade agrícola dos canaviais avaliados nas três faixas utilizadas para velocidade de deslocamento.

Na Figura 12 estão apresentados os consumos de combustível por tonelada colhida para as colhedoras de uma linha. O consumo de combustível considerado baixo foi observado na faixa de velocidade alta com 0,88 L t⁻¹ na rotação nominal do motor e com 0,77 L t⁻¹ na rotação reduzida.

Os resultados para o consumo de combustível por tonelada para as colhedoras de duas linhas (Figura 13) foram semelhantes aos obtidos para as colhedoras de uma linha. Os valores médios resultantes da variável velocidade baixa quando comparados com a velocidade média, foram superiores em, aproximadamente, 30% para os dois tipos de rotações do motor avaliados na colhedora de cana-de-açúcar.

Observando estes resultados, notou-se comportamento contrário em relação ao consumo horário de combustível, isto é, à medida que se aumentou a velocidade de deslocamento das colhedoras houve uma redução do consumo por tonelada colhida em ambas rotações do motor, concordando com os trabalhos dos autores Schmidt Junior (2011), Lyra (2012), Ramos (2013), Martins (2016), e Testa et al. (2016).

Figura 12 – Média dos valores de consumo de combustível por tonelada colhida para colhedoras de cana-de-açúcar de 1 linha

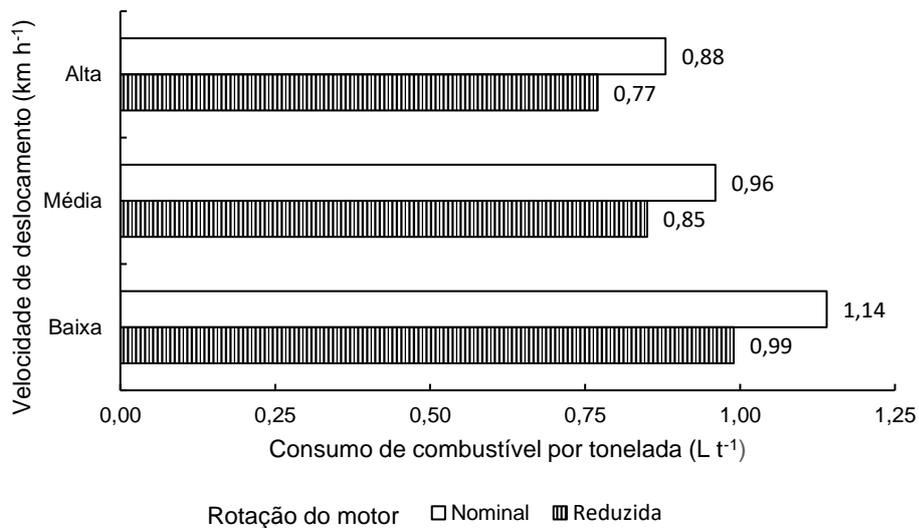
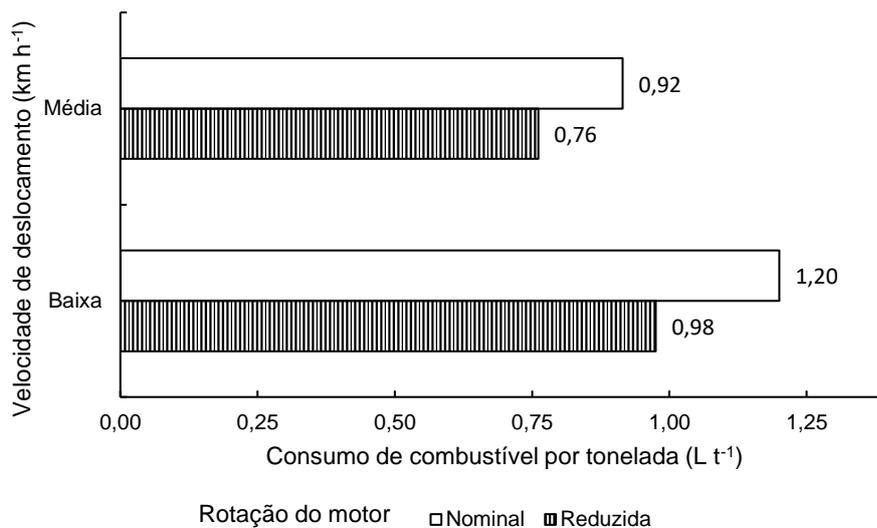


Figura 13 – Média dos valores de consumo de combustível por tonelada colhida para colhedoras de cana-de-açúcar de 2 linhas



Os valores obtidos por Lyra (2012), para o consumo de combustível por tonelada colhida estiveram entre 0,44 e 0,56 L t⁻¹; Rosa (2013) avaliando o desempenho

operacional de uma colhedora de cana-de-açúcar na velocidade de 5 e 7 km h⁻¹ resultou em consumo de 0,45 e 0,36 L t⁻¹, respectivamente e, Giachini et al. (2016), quando estudaram a colhedora de cana-de-açúcar em dois turnos de trabalho diferentes obtiveram dados de consumo de 0,54 L t⁻¹ no turno A (8h01 as 16h00) e 0,52 L t⁻¹ no turno C (00h01 a 8h00) que foram inferiores aos dados deste trabalho para colhedoras de uma linha.

Testa et al. (2016), avaliando colhedora de duas linhas em duas velocidades de trabalho (3,5 e 5 km h⁻¹) obteve valores inferiores ao deste trabalho, com 0,65 e 0,52 L t⁻¹, respectivamente e Belardo (2016) alcançou valor superior, de 1,07 L t⁻¹, ao estudar uma colhedora multilinha em velocidade de 3,0 km h⁻¹.

4.2.4 Perdas visíveis totais de matéria-prima

Nas Figura 14 e Figura 15 são apresentados os resultados de perdas visíveis totais para as colhedoras de uma e duas linhas, respectivamente.

Os valores para as colhedoras de uma linha estiveram entre 2 e 6% de perdas totais. A área de produtividade agrícola baixa apresentou valores iguais quando as colhedoras se deslocaram em velocidades médias e altas. Baixos níveis de perdas totais foram encontrados nas condições de velocidade média em canaviais com produtividade média e muito alta e com velocidade alta em área de alta produtividade.

No Brasil, de acordo com a COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO (2016), a produtividade média dos canaviais chegou a 76 toneladas por hectare e as colhedoras de cana-de-açúcar veem trabalhando, comumente, com velocidade de deslocamento entre 3,5 e 5 km h⁻¹. Com base nestas características, o resultado para perdas visíveis totais, neste trabalho, foi de 2% sendo classificado como nível baixo, de acordo com Benedini et al. (2009).

Em todas as situações de campo avaliadas, os valores de perdas totais foram de 3 a 10% para as colhedoras de cana-de-açúcar de duas linhas, com o maior valor, acima do aceitável pelas usinas, na área de produtividade agrícola baixa com a colhedora em velocidade média. Nas áreas de produtividade agrícola média, alta e muita alta, com velocidade baixa, o resultado foi igual, apresentando 4% de perdas.

Os trabalhos de Furlani Neto (1995), com perdas totais em 4,53%, De Léon (2000), 3,93% e Carvalho (2009), entre 4,28 e 5,33% são semelhantes aos resultados encontrados neste trabalho, porém, em alguns trabalhos, quando os autores

avaliaram colhedora de uma linha, mostraram resultados menores, como o de Ramos (2013), de 1,57% e valores acima como o de Ripoli et al. (1999), com perdas totais de 6,91 a 9,89% e Noronha et al. (2011), ao avaliar a colheita mecanizada em dois turnos diferentes obtendo 11,2% na colheita noturna e 9,3% na colheita diurna.

Figura 14 – Média dos valores de perdas visíveis totais para colhedoras de cana-de-açúcar de 1 linha

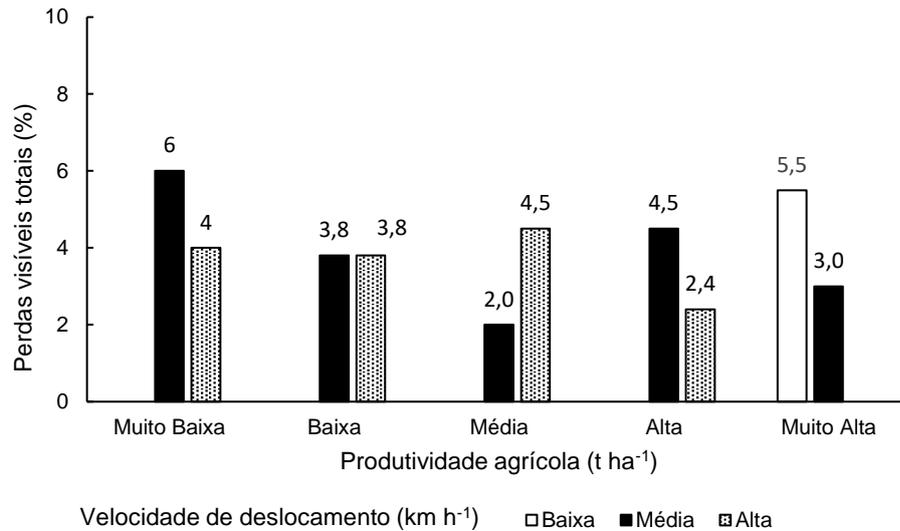
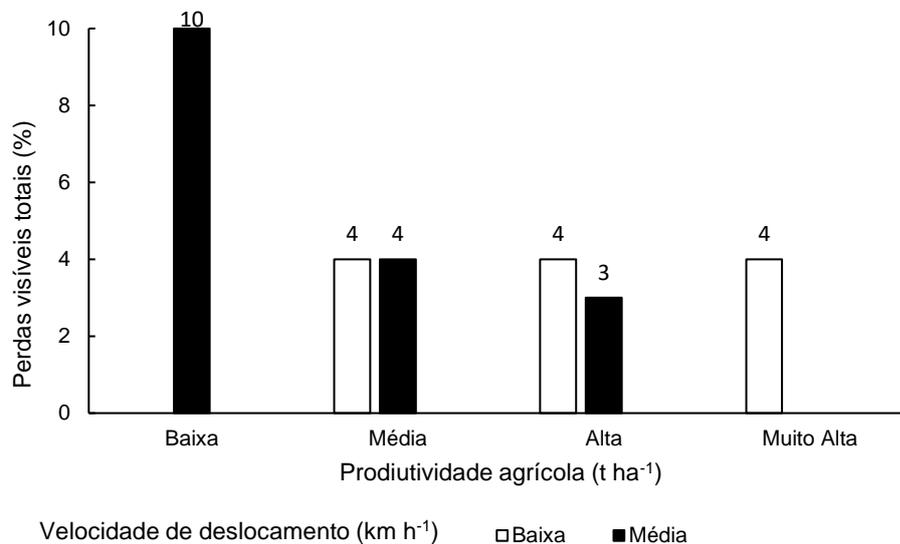


Figura 15 – Média dos valores de perdas visíveis totais para colhedoras de cana-de-açúcar de 2 linhas



Comparando os resultados com ensaios que utilizaram a mesma metodologia nota-se que os resultados para as colhedoras de uma linha estiveram acima dos resultados obtidos por Martins (2016), com perdas totais na ordem de 1,2 a 2,1%

quando o autor avaliou três velocidades de deslocamento e duas rotações do extrator primário e semelhante ao encontrado por Testa (2014), que avaliou uma colhedora de cana-de-açúcar multilinha em produtividade agrícola de 83 t ha⁻¹ obtendo valor de 3,84%.

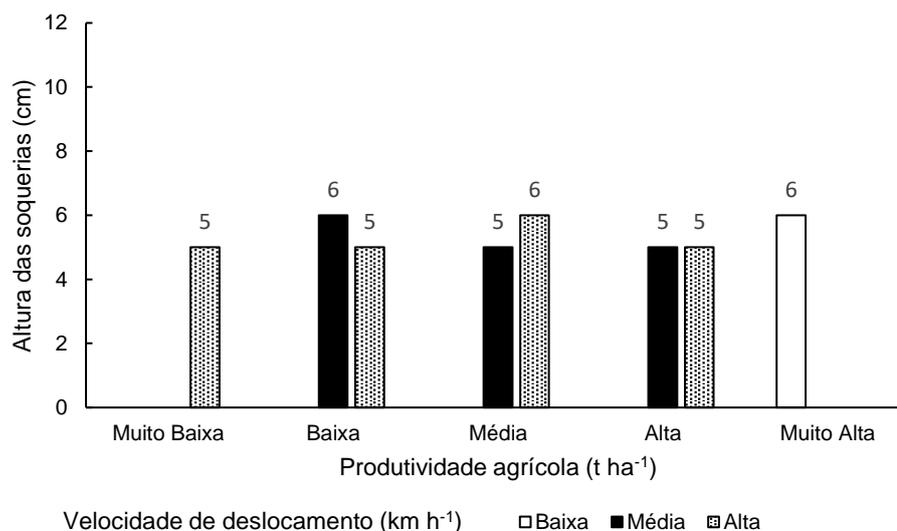
4.2.5 Altura das soqueiras

Na Figura 16 são apresentadas as médias de altura das soqueiras para as colhedoras de cana-de-açúcar de uma linha e na Figura 17 para as colhedoras de duas linhas.

Os dados deste trabalho apresentaram alturas das soqueiras entre 5 e 6 cm, para as colhedoras de cana-de-açúcar de uma linha, ficando perto do ideal admitido pelas usinas.

A altura do corte está relacionada com a quantidade de matéria estranha de origem mineral presente na carga entregue a indústria. Quando não se faz o uso do dispositivo automático de controle da altura do corte de base, esse mecanismo não acompanha o perfil do terreno causando um corte acima da altura ideal ou o enterramento deste dispositivo durante a operação de colheita.

Figura 16 – Média dos valores de altura das soqueiras para colhedoras de cana-de-açúcar de 1 linha

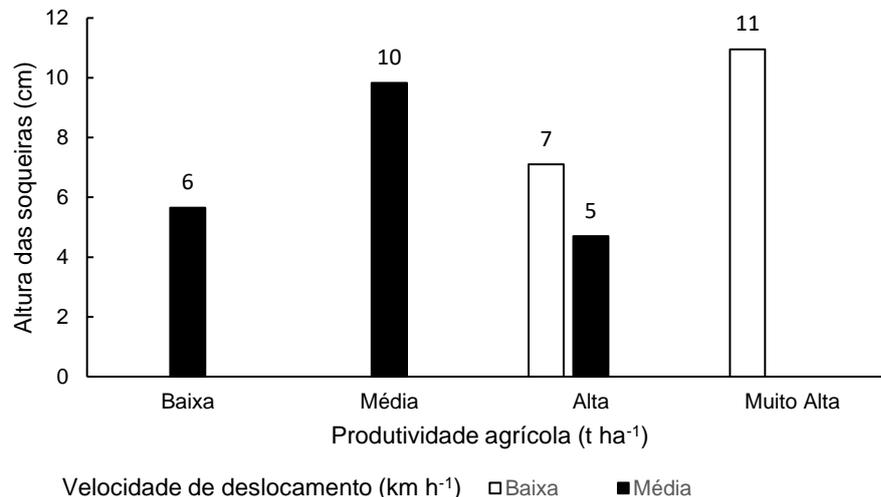


Martins (2016), avaliando o desempenho efetivo da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em três velocidade de deslocamento da colhedora observou na velocidade alta (7 km h^{-1}) as alturas de corte mais alta nas soqueiras com 23% acima de 7 cm.

Para as colhedoras de cana-de-açúcar de duas linhas, os dados estiveram entre 5 e 11 cm de altura das soqueiras. As colhedoras quando trabalharam em velocidade baixa, em canaviais de produtividade muito alta, foram as que obtiveram as maiores alturas estando acima do aceitável.

Belardo (2016), ao avaliar três colhedoras multilinhas, uma delas sem os rolos verticais e com velocidade de deslocamento de 3 km h^{-1} em canavial com 100 t ha^{-1} , obteve 70% das soqueiras avaliadas na altura ideal de até 5 cm.

Figura 17 – Média dos valores de altura das soqueiras para colhedoras de cana-de-açúcar de 2 linhas



4.2.6 Abalo às soqueiras

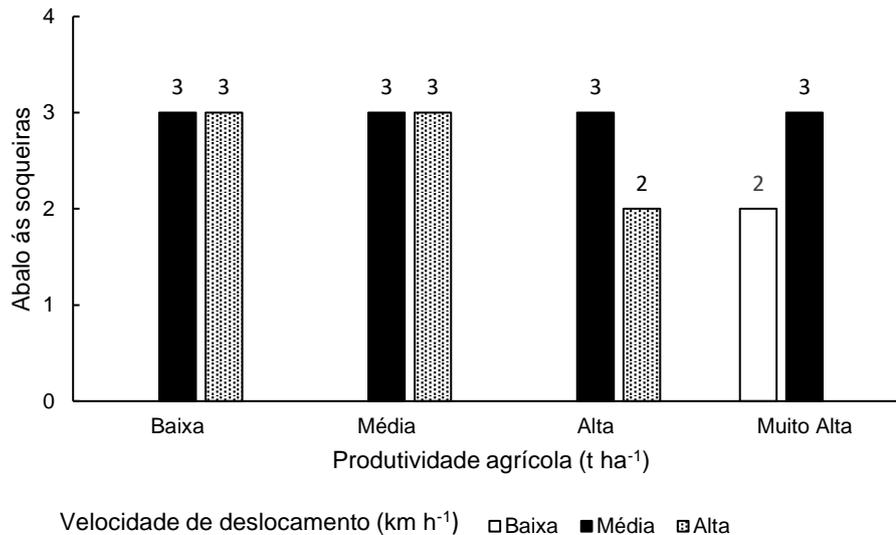
A avaliação de abalo às soqueiras está diretamente ligada à longevidade do canavial devido a brotação das soqueiras, afetando a produtividade nas próximas safras. Esta avaliação é extremamente importante nos canaviais, porém ainda é pouco avaliada e utilizada no dia-a-dia das usinas.

Martins (2016), comenta que alguns fatores como velocidade de deslocamento da colhedora, o desgaste das lâminas do corte de base, época de colheita, turnos de colheita (diurno ou noturno) como também o porte do canavial pode interferir no aumento do abalo às soqueiras e na sua altura.

A Figura 18 mostra as médias, para o indicador de qualidade abalo às soqueiras, obtidas para as colhedoras de cana-de-açúcar de uma linha e na Figura 19 para as colhedoras de duas linhas.

As notas obtidas nos relatórios avaliados foram 2 e 3 para colhedoras de uma linha, sendo considerados bons valores para a colheita mecanizada.

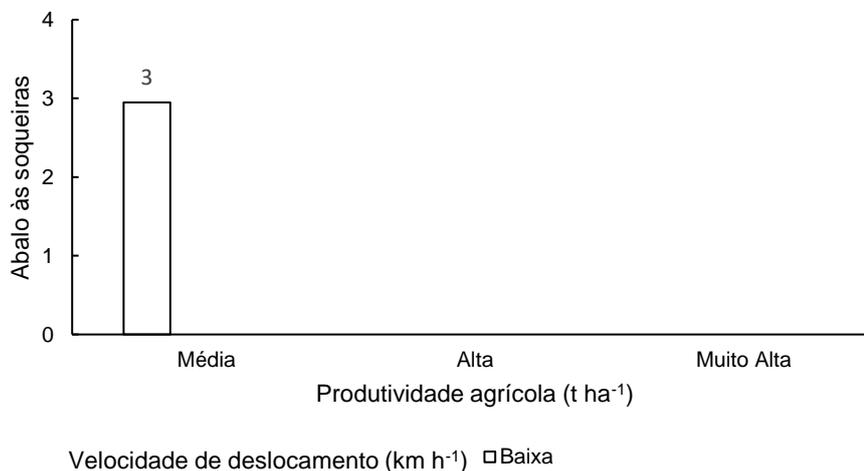
Figura 18 – Média de notas de abalo às soqueiras para colhedoras de cana-de-açúcar de 1 linha



As avaliações utilizando as colhedoras de duas linhas aconteceram apenas em canaviais com produtividade muito baixa e velocidade de deslocamento baixa, resultando em soqueiras firmes com nota 3.

Os resultados de Belardo (2016), para o indicador abalo de soqueira foram de 7% de abalo médio para a média das três colhedoras de cana-de-açúcar que o autor avaliou em seu trabalho, o que resultaria em nota 2.

Figura 19 – Média de notas de abalo às soqueiras para colhedoras de cana-de-açúcar de 2 linhas



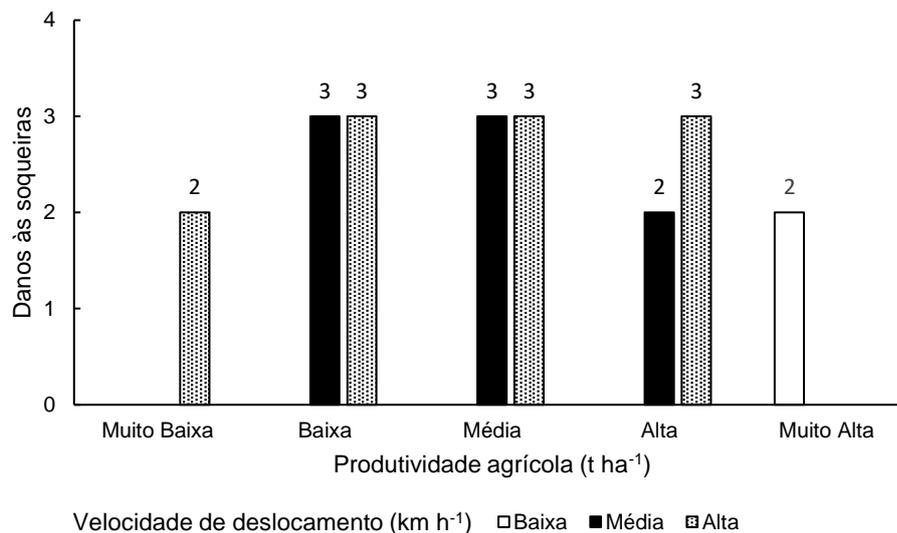
4.2.7 Danos às soqueiras

Esta avaliação é realizada por estar associada à brotação das soqueiras e a produtividade do canavial. As médias obtidas para as avaliações feitas em relação a danos às soqueiras são mostradas nas Figura 20 e Figura 21, para as colhedoras de cana-de-açúcar de uma e duas linhas, respectivamente.

Os índices obtidos para as colhedoras de uma linha estiveram entre 2 e 3 e, com base na classificação de Mello e Harris (2003), pois as soqueiras apresentaram rachaduras e danos periféricos. A medida que se aumentou a produtividade agrícola, mantendo a velocidade alta, houve maior incidência de soqueiras com danos periféricos.

Reis et al. (2014), avaliando a qualidade do corte basal na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em dois tipos de manejo do solo observaram que no manejo do solo com arado de aiveca, mais grade média, o índice de danos às soqueiras foi maior no período de avaliação das facas do corte basal de 0-2h e 2-4h. Os autores explicam este fato em virtude da maior mobilização do solo e a maior profundidade dos sulcos neste tratamento.

Figura 20 – Média de notas de danos às soqueiras para colhedoras de cana-de-açúcar de 1 linha

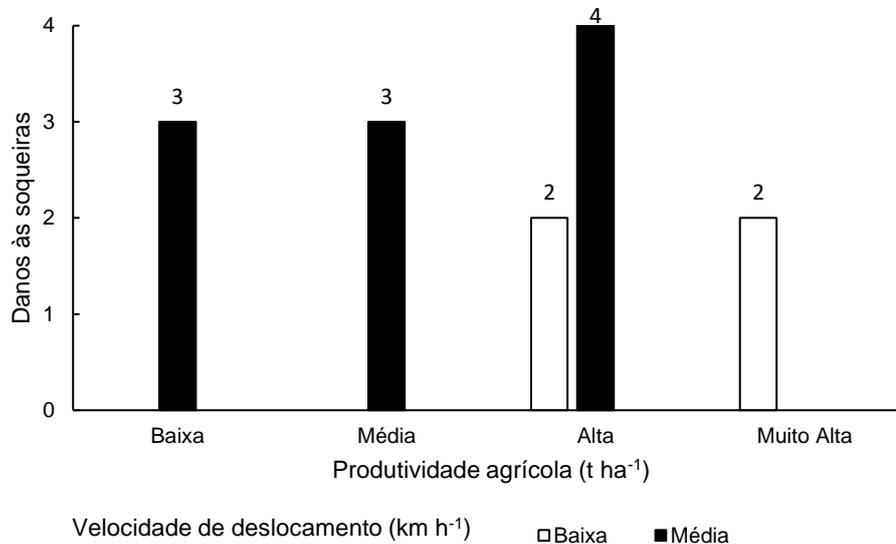


Comparando a avaliação de altura de corte com danos às soqueiras pode-se observar que nas mesmas condições de avaliação (velocidade de deslocamento média e produtividade agrícola do canavial alta), na altura ideal de 5 cm, as soqueiras não apresentaram danos. Mello e Harris (2003), comentam que em alturas mais

elevadas há um aumento em relação aos danos às soqueiras devido ao efeito alavanca.

Quando a avaliação foi feita com as colhedoras de cana-de-açúcar de duas linhas, obteve-se notas de 2 a 4 (soqueiras sem danos, com danos periféricos e com rachaduras). Os resultados mostraram que ao trabalhar com velocidade média em áreas de alta produtividade não houve danos às soqueiras, apresentando a melhor nota da classificação.

Figura 21 – Média de notas de danos às soqueiras para colhedoras de cana-de-açúcar de 2 linhas



4.2.8 Matéria estranha vegetal

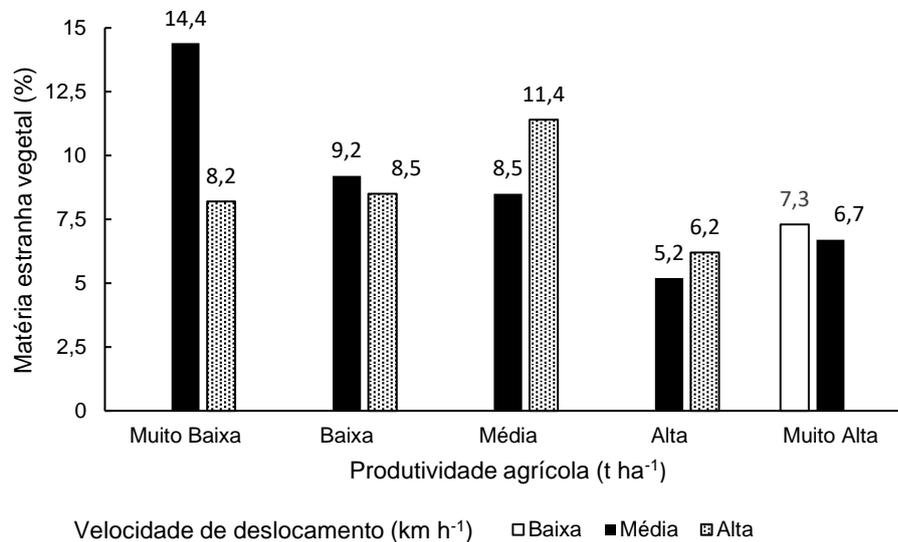
As médias, em porcentagem, para a variável matéria estranha vegetal presente na carga colhida são apresentadas nas Figuras 22 e Figura 23 para as colhedoras de uma e duas linhas.

Para as colhedoras de uma linha observa-se que os valores de matéria estranha vegetal variaram entre 5,2 e 14,4%. Nas avaliações de velocidade de deslocamento média e alta associada com a produtividade alta do canavial os valores foram classificados como níveis médios, de acordo com Benedini et al. (2009), e as demais associações de velocidade com produtividade agrícola ficaram em níveis altos de matéria estranha vegetal. O valor máximo de matéria estranha vegetal foi verificado em área de muito baixa produtividade com velocidade média de deslocamento.

Os altos valores de matéria estranha vegetal podem ser justificados, em algumas áreas, por não terem utilizado o cortador de pontas quando o canavial apresentava

porte deitado e o extrator primário não estar regulado de forma condizente com a produtividade.

Figura 22 – Média dos valores de matérias estranhas vegetais para colhedoras de cana-de-açúcar de 1 linha



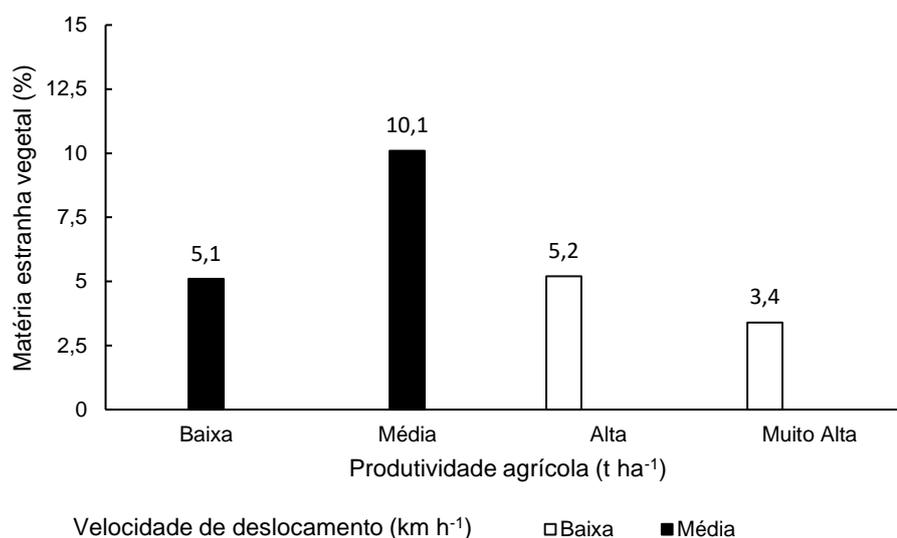
As colhedoras de duas linhas tiveram valores de 3,4 a 10,1% de matéria estranha vegetal, e apresentando, na maior parte, valores em níveis médios, obtidos em canaviais com produtividade baixa e na velocidade média, produtividade alta e velocidades baixas, e produtividade muito alta com velocidades baixas.

Segundo Ripoli e Ripoli (2009), e Belardo et al. (2015), os índices aceitáveis devem ser menores que 5% de matéria estranha vegetal presente na carga colhida, ficando dentro dos limites aceitáveis da maioria das usinas brasileiras. Assim, apenas as colhedoras de duas linhas com velocidade de deslocamento baixa em canaviais de produtividade muito alta que ficaram na faixa de valores aceitáveis.

Os dados de Cenicña (1997), de 8,3%, De León (2000), entre 5,16 e 7,84% e Martins (2016), de 5,5 a 7,6% foram semelhantes aos deste trabalho quando os autores utilizaram as velocidades de deslocamento e as áreas com produtividades agrícolas parecidas com as avaliadas para colhedoras de uma linha. Schmidt Junior (2011), avaliou uma colhedora na velocidade de deslocamento de 8,5 km h⁻¹ em um canal de produtividade de 85 t ha⁻¹ e obteve valor de 15,2% de matéria estranha vegetal, concluindo que a velocidade de deslocamento na colhedora está relacionada com os níveis de matéria estranha e apresentando valores superiores.

Já para as colhedoras de duas linhas quando comparado com os valores encontrados por Testa (2014) e Belardo (2016), foram inferiores ao deste estudo com 8,72% e 7,63 a 9,23%, respectivamente, nas mesmas condições de avaliação.

Figura 23 – Média dos valores de matérias estranhas vegetais para colhedoras de cana-de-açúcar de 2 linhas



Os valores apresentados neste trabalho concordam com Ramos (2016), que observou a redução de matéria estranha vegetal presente na carga destinada a indústria quando a colhedora operava em velocidades altas com produtividade agrícola também alta.

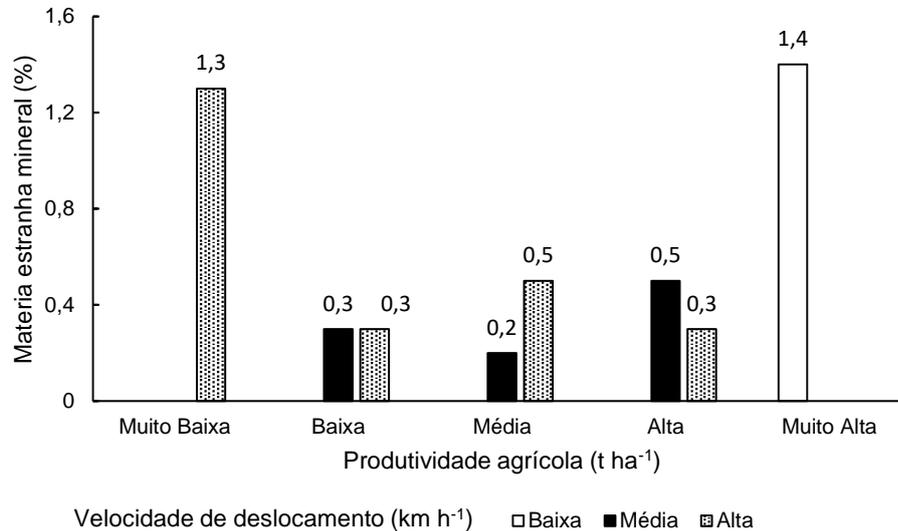
4.2.9 Matéria estranha mineral

Com relação a avaliação de matéria estranha mineral (Figura 24 e Figura 25), os dados obtidos para as colhedoras de uma linha estiveram entre 0,2 e 1,4% dentro da faixa tolerável de até 1,5%, de acordo com Ripoli e Ripoli (2009); porém, para Benedini et al. (2009), os valores encontrados acima de 0,6%, na situação de produtividade muito baixa com velocidade alta e produtividade muito alta com velocidade baixa, estão em níveis altos para a matéria estranha mineral.

A quantidade de matéria estranha mineral está relacionada com a altura do corte de base. Quando o sistema de controle automático da altura do corte de base não é regulado de para o tamanho aceitável pelas usinas, ocorre em alguns casos o enterramento deste dispositivo fazendo com que, durante a colheita, uma quantidade

elevada de solo chega ao interior da colhedora e fique em contato com a carga destinada a indústria.

Figura 24 – Média dos valores de matérias estranhas minerais para colhedoras de cana-de-açúcar de 1 linha



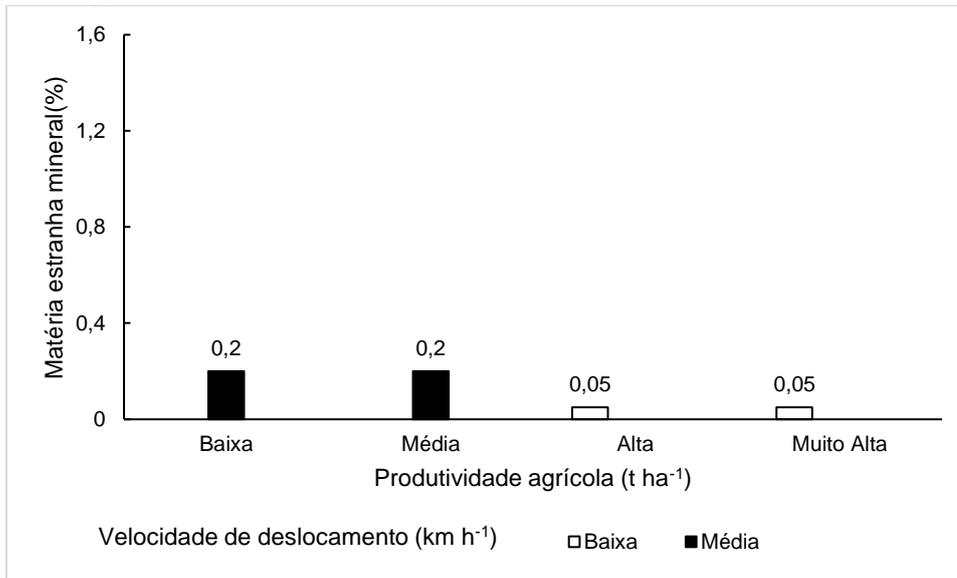
Nos ensaios com as colhedoras de cana-de-açúcar de duas linhas, os valores de matéria estranha mineral foram de 0,05 a 0,2%. Esses valores estão dentro do nível baixo de acordo com Benedini et al. (2009).

O maior valor foi obtido quando as colhedoras trabalharam em velocidade média em canaviais com produtividade baixa e média, já a menor velocidade proporcionou baixo índice de índice de matéria estranha mineral em áreas com produtividade alta e muito alta.

Os valores médios aceitáveis encontrados neste trabalho podem estar relacionados com o uso adequado do sistema automático de regulagem de altura do corte de base.

Ao comparar os resultados com os de Ripoli (2004), que foram de 1,5 a 2,5%, De Léon (2000), de 3% e Giachini (2012), quando avaliou o desempenho da colhedora de cana-de-açúcar nos três turnos de trabalho, obteve resultados de 1,84% (turno das 16h01 às 00h00) e 2,02% (turno das 00h01 às 08h00), os valores deste trabalho foram menores. Os resultados de Rosa (2013), de 0,34 e 0,43% estiveram acima e os de Testa (2014), foram semelhantes quando o autor avaliou uma colhedora de duas linhas nas mesmas condições deste trabalho.

Figura 25 – Média dos valores de matérias estranhas minerais para colhedoras de cana-de-açúcar de 2 linhas



5 CONCLUSÕES

A metodologia utilizada no ensaio à campo de colhedoras de cana-de-açúcar, através dos dados obtidos pelo Nempa em 29 diferentes áreas, apresentou resultados compatíveis entre si e com a bibliografia consultada, mostrando ser confiável em relação aos parâmetros de desempenho operacional da colhedora e a qualidade da colheita, tanto para colhedoras de uma linha como para de duas linhas.

A produtividade agrícola da cultura de cana-de-açúcar e a velocidade de deslocamento da colhedora foram os parâmetros que mais influíram no desempenho operacional e qualidade da colheita.

REFERÊNCIAS

AMERICAN SOCIETY OF AGRICULTURAL ENGINEERS. **Yearbook of standards**. St. Joseph, 1983. 835 p. (ASAE-EP, 391).

ANDREOLI, C.; SOUZA, S. P. de. Cana-de-açúcar: a melhor alternativa para conversão da energia solar e fóssil em etanol: texto para discussão. **Economia & Energia**, ano X, n. 59, p. 27-33, 2006.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR 10400**: Tratores agrícolas – Determinação das características técnicas e desempenho. Rio de Janeiro, 1988. 33 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISSO 8210**: Equipamentos para colheita – Colhedoras de grãos – Procedimento de ensaio. Rio de Janeiro, 2016. 13 p.

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS – ABNT. **NBR ISSO 8909-3**: Colhedoras de Forragem parte 3: Métodos de ensaio. Rio de Janeiro, 2016. 18 p.

BELARDO, G. C. **Avaliação de desempenho efetivo de três colhedoras em cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) sem queima**. 2010. 136 f. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2010.

BELARDO, G. C. **Avaliação do desempenho de colhedoras multilinhas de cana-de-açúcar em três espaçamentos**. 2016. 198 f. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2016.

BELARDO G. C.; RIPOLI T. C. C. Avaliação da colheita mecanizada – Desempenho de colhedoras de cana. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.

BELARDO G. C.; ROSA J. H. M. MAGALHÃES P. S. G. Evolução da colheita mecanizada na cana-de-açúcar. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola., 2015. cap. 15, p. 335-356.

BENEDINI, M. S.; DONZELLI, J. L.; Desmistificando a colheita mecanizada da cana crua. **Coplana**, Guariba, SP, n. 42, p. 26-28, nov. 2007.

BENEDINI, N. M. S.; BROD, F. P. R.; PERTICARRARI, J. G. Perdas de cana e impurezas vegetais e minerais na colheita mecanizada. **Centro de Tecnologia Canavieira**. Boletim. 2009. 7p Disponível em: <http://www.coplana.com/gxpsites/..%5Cgxpfiles%5Cws001%5Cdesign%5CDownloa d%5CCirculares%5CPerdas_na_colheita_mecanizada.pdf. Acesso em: 10 fev. 2017.

BRASIL. **Lei n. 11.241**, de 19 de setembro de 2002. Dispõe sobre a eliminação gradativa da queima da palha da cana-de-açúcar e dá providências correlatas. Disponível em: < <https://governo-sp.jusbrasil.com.br/legislacao/94008/lei-11241-02>>. Acesso em: 20 set. 2016.

BRAUNBECK, O. A. Proposta brasileira de colheita mecanizada. In: SEMINÁRIO SOLUÇÕES E NOVIDADES NA MECANIZAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR, 1,1999, Ribeirão Preto. **Anais...**1999 Ribeirão Preto: IDEA, 1999.p.56-60.

BRAUNBECK, O.A.; MAGALHÃES, P.S.G.; GARCIA, M.O. Colheita e recuperação da Biomassa. In: CORTEZ, L.A.B.; LORA, E.S.; GOMEZ, E.O. (Eds.). **Biomassa para energia**. Campinas: Editora da UNICAMP, 2008. p. 63-90.

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, L. S. **Desempenho operacional de uma colhedora em cana crua na região de grande Dourados - MS**. 2009. 36 p. Dissertação (Mestrado em Produção Vegetal) – Universidade Federal da Grande Dourados, Dourados, 2009.

CASSIA, M. T.; SILVA, R. P. Avaliação da colheita mecanizada: Desempenho de colhedoras de cana-de-açúcar. In: BELARDO, G. C.; CASSIA, M; T.; SILVA, R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA, 2015. Cap. 16.1, p. 357-362.

CENICAÑA. **Centro de Investigación de la Caña de Azúcar de Colômbia**, Cali, v. 19, n. 1, p. 7-10. jan./abr. 1997.

CENTRE NATIONAL DU MACHINISME AGRICOLE, DU GENIE RURAL, DES EAUX ET DES FORETS. Livre du Maitre. Autres materiels et problemes economiques. Tome 3. Antony. CEMAGREF. 1974.

COELHO, J. L. D. Ensaio & Certificação das máquinas para semeadura. In: MIALHE, L.G. Máquinas agrícolas: ensaios & certificação. Piracicaba, 1996. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

COELHO, M. F. **Planejamento da qualidade no processo de colheita mecanizada da cana-de-açúcar**. 2009. 75 p. Dissertação (Mestrado em Ciências) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2009.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Cana-de-açúcar**, v.2 – Safra 2015/16, n.4 – Quarto Levantamento, Brasília, p. 1-76, abr. 2016. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_04_14_09_06_31_boletim_cana_portugues_-_4o_lev_-_15-16.pdf. Acesso em: 02 dez. 2016.

COMPANHIA NACIONAL DE ABASTECIMENTO. **Acompanhamento da Safra Brasileira: Grãos**, v.3 – Safra 2015/16, n.11 – Décimo primeiro levantamento, Brasília, p. 1-176, agosto. 2016. Disponível em: http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_08_16_09_06_31_boletim_graos_portugues_-_10o_lev_-_15-16.pdf.

http://www.conab.gov.br/OlalaCMS/uploads/arquivos/16_08_09_12_08_19_boletim_graos_agosto_2016.pdf. Acesso em: 02 dez. 2016b.

COSTA NETO, J. D. A cana em tempo bom. **Revista CREA-PR**, Curitiba, n.41, p.16-19, out. 2006.

DALLEINNE, E.; COCHET, J. Les essais officiels de tracteurs agricoles. Fermes modernes et équipement à la campagne. **Numero hors-série**: 125-129, 1973.

DE LÉON, M. J. **Avaliação de desempenho operacional de duas colhedoras de cana (*Saccharum spp.*) crua**. 2000. 111 p. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2000.

ELIAS, A. I.; PINTO, R. S. de A. Potencial e desafios para a colheita mecanizada de cana no Brasil. In: SEMINÁRIO DE MECANIZAÇÃO E PRODUÇÃO DE CANA-DE-AÇÚCAR, 10. 2008, Ribeirão Preto. **Anais...** Ribeirão Preto, 2008.

FUNENGA, M. A importância de um laboratório oficial de ensaios. *Vida Rural* **22**: 54-56, 1987.

FURLANI NETO, V. L.; FERNANDES, J. E.; MIALHE, L. G. Ensaio preliminar com colhedora Massey fergusson 201 – cane commander. **Brasil Açucareiro**, Rio de Janeiro, v. 90, p. 11-15, 1977.

FURLANI NETO, V. L.; **Colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) avaliação em canaviais com e sem queima prévia**. 1995. 110p. Tese (Doutorado em Máquinas Agrícolas) – Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 1995.

FURTADO, F. **Mecanização da colheita da cana traz benefício ambiental**. 2002. Disponível em: <<http://www.cienciahoje.uol.com.br/controlPanel/materia/view/1382>>. Acesso em: 10 jan. 2017.

GAMERO, C. A.; LANÇAS, K. P. Ensaio & Certificação das máquinas de mobilização periódica do solo. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba, 1996. cap. 9, p. 463-514. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

GARCIA, J. R.; LIMA, D. A. L. L.; VIEIRA, A. C. P. A nova configuração da estrutura produtiva do setor sucroenergético brasileiro: panorama e perspectivas. **Revista de Economia Contemporânea**, Rio de Janeiro, RJ, v. 19, n. 1, p. 162-184, jan./abr. 2015.

GIACHINI, C. F. **Desempenho operacional de uma colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em função dos turnos de trabalho**. 2012. 57 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

GIACHINI, C. F. et al. Consumo de combustível e perdas de cana-de-açúcar durante a colheita diurna e noturna. **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 31, n. 1, p. 10-16, jan./mar., 2016.

GOES, T; MARRA, R.; SOUZA E SILVA, G. Setor sucroalcooleiro no Brasil Situação atual e perspectivas. **Revista de Política Agrícola**. Brasília, Ano XVII, n. 02, p. 39-51, abr./jun., 2008

INSTITUTO DE ECONOMIA AGRÍCOLA. Índice de mecanização na colheita da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo e nas regiões produtoras paulistas, Junho de 2007. Análises e Indicadores do Agronegócio v.3, n.3, março 2008.

KROES, S. **The cutting of sugarcane**. Toowoomba: University of Southern Queensland, 1997. 356p Ph.D. Thesis.

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

MAEDA, F. **Influências do Protocolo Agroambiental do setor sucroalcooleiro na produção de açúcar, álcool e energia: estudo de caso em uma usina do interior do estado de São Paulo**. 2012. 85 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2012.

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, 2008.

MANHÃES, C. M. C. et al. Perdas quantitativas e danos às soqueiras na colheita de cana-de-açúcar no Norte Fluminense. **Revista Vértices**, Campos dos Goytacazes, RJ, v. 15, n. 3, p. 63-74, set./dez. 2013.

MARTINS, M. B. **Desempenho efetivo e influência no sistema de limpeza da colheita mecanizada de cana-de-açúcar utilizando diferentes velocidades de deslocamento e rotações do extrator primário**. 2016. 42 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2016.

MELLO, R.C.; HARRIS, H. Desempenho de cortadores de base para colhedoras de cana-de-açúcar com lâminas serrilhadas e inclinadas. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v. 7, n. 2, p. 355-358, 2003.

MELLO, R. C. **Utilização de lâminas serrilhadas no corte basal da Cana-de-açúcar**. 2011. 117 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2011.

MIALHE, L. G.; RIPOLI, T. C. C. Evaluación de cosechadoras automotrices de caña de azúcar. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE MECANIZACIÓN DE LA COSECHA DE CAÑA DE AZÚCAR, 1976. Caracas. **Anais...** Caracas: Dist. Venezolana de Azucares, SLR, 1976. p. 189-204.

MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação**. Piracicaba, 1996. cap.1, p. 1-36. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MILAN, M.; GARDANHA JUNIOR, C. D. Máquinas agrícolas: Ensaio & Certificação das máquinas para aplicação de adubo e corretivos. In: MIALHE, L. G. **Máquinas agrícolas: Ensaios & Certificação**. Piracicaba, 1996. Cap 10, p. 515 – 550. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

MOLINA JUNIOR, W. F. **Proposta de metodologia descritiva para ensaio padronizado de colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*)**. 2000. 140 p. Tese (Doutorado em Engenharia Mecânica) – Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo. São Carlos, 2000.

MONTEIRO, L. A. **Desempenho operacional e energético de um trator agrícola em função do tipo de pneu, velocidade de deslocamento, lastragem líquida e condição superficial do solo**. 2008. 69 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia/Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista, Botucatu, 2008.

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

NEVES, J.L.M.; MAGALHÃES, P.S.G.; OTA, W.M. Sistema de monitoramento de perdas visíveis de cana-de-açúcar em colhedora de cana picada. **Engenharia Agrícola**, v.24, p.764-770, 2004.

NEVES J. L. M. Avaliação da colheita mecanizada – Avaliação de perdas quantitativas na colheita de cana-de-açúcar. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015, cap. 16.2, p. 367-374.

NEVES M. F.; KALAKI R. B. A dimensão do setor sucroenergético – Mapeamento e quantificação na safra 2013/2014. In: BELARDO G. de C; CASSIA M. T.; SILVA R. P. **Processos Agrícolas e Mecanização da cana-de-açúcar**. Jaboticabal: SBEA Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 2015. 608 p.

NORONHA, R. H. F.; SILVA, R. P.; CHIORDEROLI, C. A.; SANTOS, E. P.; CASSIA, M. T. Controle estatístico aplicado ao processo de colheita mecanizada diurna e noturna de cana-de-açúcar. **Bragantia**, Campinas, v. 70, n. 4, p. 931-938, 2011.

OLIVEIRA, C. A. A.; BRAUNBECK, O. A.; VOLPATO, C. E. S. Análise do Movimento e desenvolvimento de um protótipo de cortador basal com discos bi-articulados. **Revista Bras. Eng. Agric. Ambiental**, v.11, n.2, p.230-234, 2007.

RAMOS, C. R. G. **Desempenho operacional da colheita mecanizada de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). Em função da velocidade de deslocamento e rotação do motor da colhedora.** 2013. 75 p. Dissertação (Mestrado em Agronomia / Energia na Agricultura) - Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita”, Botucatu, 2013.

RAMOS, C. R. G.; LANÇAS, K. P.; LYRA, G. A.; MILLANI, T. M. Qualidade da colheita mecanizada de cana-de-açúcar em função da velocidade de deslocamento e rotação do motor da colhedora. **Revista Energia na Agricultura**, Botucatu, v.29, n.2, p.87-94, 2014.

RAMOS, C. R. G.; LANÇAS, K. P.; LYRA, G. A.; SANDI, J. Fuel consumption of a sugarcane harvester in different operational settings. **Revista Brasileira de Engenharia Agrícola e Ambiental**, Campina Grande, v.20, n.6, p.588-592, 2016.

RAMOS, C. R. G. **Metodologia para determinação do índice de colheitabilidade para avaliar a colheita mecanizada de cana-de-açúcar.** 2016. 119 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrônômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2016.

REIS, G. N. dos. **Perdas na colheita mecanizada da cana-de-açúcar crua em função do desgaste das facas do corte de base.** 2009. 73 p. Tese (Doutorado em Agronomia / Ciência do solo) - Faculdade de Ciências Agrárias e veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita”, Jaboticabal, 2009.

REIS, G. N.; VOLTARELLI, M. A.; SILVA, R. P.; TOLEDO, A.; LOPES, A. Qualidade do corte basal na colheita mecanizada de cana-de-açúcar em dois tipos de manejo do solo. **Comunicata Scientiae**, n. 6, v. 2, p. 143 – 153, 2014.

RIDGE, D. R.; DICK, R. G. Soil intake with cane during chopper harvesting: minimizing the problem. In: AUSTRALIAN SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, v.14, Mackay, **Proceedings...** p.25-30, 1992.

RIPOLI, T. C. C.; MIALHE, L. G.; NOVAES, H. P. Um critério para avaliação de canais visando à colheita. In: Congresso Brasileiro de Engenharia Agrícola, 4., 1977, Pelotas. **Anais...** Pelotas: Sociedade Brasileira de Engenharia Agrícola, 1977. 10 p.

RIPOLI, T. C. C. Ensaio & Certificação das máquinas para colhedora de cana-de-açúcar. In: MIALHE, L.G. **Máquinas agrícolas: ensaios & certificação.** Piracicaba, 1996. cap. 13, p. 635-674. Escola Superior de Agricultura “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo.

RIPOLI, T. C. C. et al. Desempenho operacional de uma colhedora em cana crua em função da velocidade de avanço. **Engenharia agrícola**, Jaboticabal, v. 19, n. 2, p. 199-207, dez. 1999.

RIPOLI, M.L.C. **Ensaio de dois sistemas de obtenção de biomassa de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para fins energéticos.** 2004. 213 p. Tese (Doutorado em

Agronomia. Área de concentração: Energia na Agricultura) – Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Botucatu, 2004.

RIPOLI, T. C. C.; RIPOLI, M. L. C. **Biomassa de cana-de-açúcar: colheita, energia e ambiente**. 2. ed. Piracicaba: Edição dos autores, 2009. 333p.

ROSA, J. H. M. **Avaliação do desempenho efetivo e econômico de uma colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) em espaçamento duplo alternado**. 2013. 153 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Sistemas Agrícolas) – Escola Superior de Agronomia “Luiz de Queiroz”, Universidade de São Paulo, Piracicaba, 2013.

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

SEABRA, J. E. A. **Avaliação técnico-econômica de opções para o aproveitamento integral da biomassa de cana no Brasil**. 2008. 274f. Tese (Doutorado) – Universidade Estadual de Campinas, Faculdade de Engenharia Mecânica, Campinas, 2008.

SHIKIDA, P. F. A. Evolução e fases da agroindústria canavieira no Brasil. **Revista de Política Agrícola**, v. 23, n. 4, p. 43-57, out./dez. 2014.

SILVA, R. A. **Aprimoramento de um despalhador de colmos inteiros de cana-de-açúcar por rolos oscilantes com diferencial de velocidades**. 2003. Dissertação (Mestrado em Máquinas Agrícolas) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2003.

SILVA, W. F.; AGUIAR, D. A.; RUDORFF, B. F. T.; SUGAWARA, L. M.; AULICINO, T. L. I. N. Análise da expansão da área cultivada com cana-de-açúcar na região Centro-Sul do Brasil: safra 2005/2006 a 2008/2009. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 14, 2009, São José dos Campos. **Anais...** São José dos Campos: INPE, 2009. p. 464-474.

TESTA, L. V. P. **Desempenho Operacional e energético de colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*) para uma e duas linhas da cultura**. 2014. 43 p. Dissertação (Mestrado em Energia na Agricultura) – Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Faculdade de Ciências Agronômicas, Botucatu.

TESTA, J. V. P. et al. Desempenho operacional e energético de colhedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp.*). **Energia na Agricultura**, Botucatu, v. 31, n. 3, p. 253-258, jul./set. 2016.

TONETTE, R. L.; BELARDO, G. C.; MILAN, M. Dimensionamento da demanda de colhedoras de cana-de-açúcar para o Brasil. In: **XVII Simpósio Internacional de Iniciação Científica da USP - SIICUSP**, 2009, Pirassununga. XVII Simpósio

Internacional de Iniciação Científica da USP -SIICUSP. Pirassununga: Faculdade de Medicina Veterinária e Zootecnia - FMVZ- USP, 2009

UNIÃO DA INDÚSTRIA DE CANA-DE-AÇÚCAR. **Raio X do setor sucroenergético.** Disponível em: < <http://www.unica.com.br/faq>>. Acesso em: 10 mar. 2017.

VOLPATO, J. L. M. **Otimização de um cortador de base flutuante para seguimento do perfil de solo em colhedoras de cana-de-açúcar.** 2001. 204 p. Tese (Doutorado em Máquinas Agrícolas) - Faculdade de Engenharia Agrícola, Universidade Estadual de Campinas, Campinas, 2001.

VOLTARELLI, M. A. et al. Agronomic capability of mechanized sugarcane planting. **Australian Journal of Crop Science**, v.8, n.10, p. 1448 – 1460, 2014.

VOLTARELLI, M. A. **Ferramentas da qualidade na colheita mecanizada de cana-de-açúcar.** 2015. 151 p. Tese (Doutorado em Agronomia) – Faculdade de Ciências Agrárias e Veterinárias, Universidade Estadual Paulista “Júlio de Mesquita Filho”, Jaboticabal, 2015.