## COLHEITA INTEGRAL DE CANA (Saccharum spp) CRUA, ANÁLISE DE DESEMPENHO OPERACIONAL

#### **ALEXANDRE WITIER MAZZONETTO**

Engenheiro Agrícola

Orientador: Prof. Dr. TOMAZ CAETANO CANNAVAM RIPOLI

Dissertação apresentada à Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo, para obtenção do título de Mestre em Agronomia, Área de Concentração: Máquinas Agrícolas.

PIRACICABA Estado de São Paulo - Brasil Outubro - 2004

### Dados Internacionais de Catalogação na Publicação (CIP) DIVISÃO DE BIBLIOTECA E DOCUMENTAÇÃO - ESALQ/USP

Mazzonetto, Alexandre Witier

Colheita integral de cana (*Saccharum spp*) crua, análise de desempenho operacional / Alexandre Witier Mazzonetto. - - Piracicaba, 2004.

88 p. : il.

Dissertação (Mestrado) - - Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz, 2004. Bibliografia.

1. Biomassa 2. Cana-de-açúcar 3. Colhedoras 4. Colheita 5. Palhada I. Título

CDD 633.61

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

"Conheço as tuas obras - eis que tenho posto diante de ti uma porta aberta, a qual ninguém pode fechar – que tens pouca força, entretanto guardaste a minha palavra, e não negaste meu nome". Capítulo 3, verso 8 do livro das Revelações.

Ofereço esta obra Aquele que tem aberto as portas e me dado força. Jesus

## **DEDICATÓRIA**

À minha amada esposa Erika pelo apoio, carinho, compreensão, amor e orações sempre presentes nos momentos importantes e à minhas queridas filhas Anna Cláudia e Esther Belém que nasceram e cresceram junto com esse projeto.

#### **AGRADECIMENTOS**

Ao professor titular Tomaz Caetano Cannavam Ripoli pela orientação, apoio, sugestões desde o início e por abrir "as portas" para esse projeto.

À Usina Costa Pinto e pelo grupo COSAN, que através do seu gerente de projetos especiais, Engenheiro Dumas viabilizaram esse trabalho.

À Escola Superior de Agricultura Luiz de Queiroz pela oportunidade e condições oferecidas para minha formação acadêmica.

Aos professores, funcionários e amigos do Departamento de Engenharia Rural que contribuíram para esta dissertação. Em especial ao Áureo, Fernanda, professor Balastreire e Marco Lorenzo Cannavam Ripoli.

Aos professores Eduardo Franco de Camargo e Gisele Cabral, pelas correções do inglês e do português.

Aos amigos, Engenheiro Dr. Luiz Felipe Toro Alonso e Engenheira Mônica Pavanelli Cooke, pelo incentivo para esta obra.

Aos colegas do programa de mestrado em Máquinas Agrícolas que apoiaram e colaboram com o projeto.

Aos meus pais que sempre estiveram ao meu lado.

Aos Pastores Luiz Carlos e Ivonne Muniz, pelo fortalecimento constante.

A todos aqueles que direta ou indiretamente, contribuíram para este trabalho.

A Deus que faz novas todas as coisas através do Seu amor e bondade.

## SUMÁRIO

LISTA	DE FIGURAS	Página . vii
	DE TABELAS	
	DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS	
RESUN	MO	. xiv
SUMM	ARY	xvi
1	INTRODUÇÃO	1
2	REVISÃO DE LITERATURA	
2.1	Importância da cultura canavieira	. 2
2.2	Implicações legais, ambientais e operacionais da queima pré	· <b>-</b>
	colheita da cana-de-açúcar	2
2.3	Aspectos energéticos	3
2.4	A colheita da cana-de-açúcar	11
2.5	Qualidade da matéria-prima	. 14
2.6	Desempenho operacional e econômico das colhedoras de cana	-
	de-açúcar	17
3	MATERIAL E MÉTODOS	. 26
3.1	Material	26
3.1.1	Local do ensaio	26
3.1.2	Máquinas utilizadas no sistema de colheita	. 26
3.1.3	Instrumentos de mensuração	28
3.2	Métodos	30
3.2.1	Caracterização das condições do canavial	31

3.2.2	Procedimento experimental	32
3.2.3	Consumo de combustível	40
3.2.4	Umidade do solo e granulometria	41
3.2.5	Avaliação do desempenho operacional da colhedora	41
3.2.6	Qualidade tecnológica da matéria-prima	42
3.2.7	Análise estatística	44
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	45
4.1	Condições do canavial, teor de água no solo e granulometria	45
4.2	Desempenho operacional	46
4.2.1	Capacidades efetivas bruta e líquida	46
4.2.2	Consumo de combustível	50
4.2.3	Eficiência de Manipulação	52
4.2.4	Freqüência de comprimento de rebolos	53
4.2.5	Perdas de matéria-prima	55
4.2.6	Índice de cisalhamento de rebolos	57
4.2.7	Índices de palha, folhas, raízes e matéria estranha vegetal	58
4.2.8	Qualidade tecnológica da matéria-prima	61
5	CONCLUSÕES	63
REFER	ÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS	64
	ICES.	79

## LISTA DE FIGURAS

	Pa	ágina
1	Colhedora CAMECO CH2500 com rodado de esteira	27
2	Modelo Cameco similar ao do ensaiado, identificando os sistemas	
	que compõem a colhedora	27
3	Conjunto de transbordo Santal tracionado por trator Valmet	
	1580	28
4	Balança analítica	29
5	Estufa com amostras de palhiço coletados no ensaio	29
6	Instrumentos de mensuração de massa	30
7	Triângulo padrão para avaliação quanti-qualitativa do porte do	
	canavial	31
8	Reservatório conectado ao tanque da colhedora com bureta	33
9	Colhedora posicionada no inicio da parcela	34
10	Vista do ensaio durante a execução do tratamento T1	35
11	Tambor sendo retirado do transbordo pelo guincho	36
12	Separação da matéria prima colhida	36
13	Determinação da fração de massa de colmos inteiros	37
14	Ensaio em andamento no tratamento T1	38
15	Área de amostragem de uma repetição do Tratamento T1	39
16	Recolhimento do material eliminado pela máquina durante o	
	Tratamento T1	39
17	Posicionamento do medidor de consumo de combustível na	

	colhedora	40
18	Rebolos esmagados durante a operação de colheita	42
19	Amostra sendo retirada do transbordo do ensaio	43
20	Amostra retirada do caminhão de transporte	43
21	Porte do canavial ensaiado	45
22	Caracterização da produtividade agrícola da biomassa aérea do	
	canavial onde ocorreu o ensaio	46
23	Capacidade efetiva bruta de T1 e T2 (t.ha <sup>-1</sup> )	48
24	Variação da Capacidade efetiva bruta nas 8 repetições de cada	
	tratamento estudado (t.h <sup>-1</sup> )frações, líquida de matéria-prima e líquida	
	de rebolos e/ou suas frações	48
25	Comparação das capacidades efetivas bruta e líquida (t.ha <sup>-1</sup> ) obtidas	
	no ensaio com outros autores	49
26	Velocidades desenvolvidas em cada tratamento, considerando o	
	tempo de descarga e o tempo do percurso	50
27	Consumo de combustível por tonelada colhida de cana	51
28	Combustível consumido por hora trabalhada (L.h <sup>-1</sup> )	52
29	Eficiência de manipulação em cada tratamento e na escala da direita	
	apresenta-se quantidade de matéria estranha por tonelada colhida	
	para T1 e T2	53
30	Freqüência do comprimento de rebolos no tratamento T1	54
31	Freqüência do comprimento de rebolos no tratamento T2	54
32	Perdas no tratamento T1	55
33	Perdas no tratamento T2	56
34	Comparação dos resultados obtidos com outros autores	56
35	Apresenta rebolos cisalhados no tratamento T2	57
36	Apresenta rebolos cisalhados no tratamento T1	58
38	O total de matéria estranha vegetal e total de cana, em cada	
	tratamento	59
39	O material recolhido no tratamento T2, juntamente com os rebolos	60

40	Material recolhido no tratamento T1, juntamente com os rebolos	60
41	Matéria mineral nos dois tratamentos, a escala do eixo vertical da	
	esquerda é em percentagem e a da direita é dada em kg de matéria	
	mineral por tonelada de matéria-prima	62
42	Qualidade tecnológica da matéria-prima no tratamento T1	62
43	Dimensões determinadas da carreta que transportou a cana colhida	
	para a Usina. A carreta ficou 0,30m sem preenchimento	80

## LISTA DE TABELAS

	Pag	ına
1	Matéria seca produzida por três das principais culturas brasileiras	4
2	Valores médios de umidade, massa e Poder Calorífico Útil (PCU) para	
	diversas frações constituintes de palhiço	7
3	Poder calorífico superior (PCS)	8
4	Poderes caloríficos superiores (PCS) de pinus e eucaliptos	8
5	Valores de massa específica e poderes calorífico inferiores de alguns	
	combustíveis	9
6	Poderes calorífico superiores (PCS), de alguns materiais biológicos	9
7	Balanço energético em Mcal.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup> das culturas de cana-de-	
	açúcar, mandioca e sorgo	10
8	Potencial energético correspondente no resíduo da colheita	
	mecanizada de cana crua	11
9	Composição do bagaço de cana-de-açúcar	15
10	Colheita mecanizada com matéria estranha e sem matéria	
	estranha	16
11	Perdas de cana (matéria prima) e matéria estranha	17
12	Desempenho operacional da colhedora Austoft 7700	19
13	Desempenho operacional das colhedoras Class Cladiator e Class	
	2000	20
14	Desempenho operacional em ensaio realizado com a colhedora Class	
	CC 2000, em canaviais de cana crua	21
15	Resultados obtidos na avaliação realizada na Colômbia	21

16	Parâmetros de desempenho para colhedoras de cana crua	22
17	Colheita de cana crua em quatro velocidades diferentes	23
18	Ensaio comparativo entre o protótipo Massey Fergunson 405 e a	
	Colhedora Austoft 7000	24
19	Médias das capacidades efetivas obtidas nas diferentes velocidades	
	de trabalho das três colhedoras	24
20	Eficiência de manipulação e Capacidade Efetiva Líquida em quatro	
	diferentes velocidades de colheita	25
21	Resultados da análise de variância e teste "F"	47
22	Determinação da tara do transbordo e transferência de massa (kg)	80
23	Constituintes da parte aérea do canavial, em kilogramas, sem	
	descontar tara do saco	81
24	Constituintes da parte aérea do canavial (kg), descontando a tara do	
	saco	82
25	Umidade (%) do solo	83
26	Tamanho de cisalhamento de rebolos	83
27	Matéria estranha vegetal colhida	84
28	Capacidades efetivas líquidas	85
29	Massa Bruta Colhida(t), Tempo de colheita e de descarga(s) e	
	consumo de combustível(ml)	86
30	Consumo de combustível no T2	87
31	Resultados de consumo de combustível no T2	87
32	Biometria, resultados por metro linear de plantio	88

## LISTA DE ABREVIATURAS E SÍMBOLOS

a.a. = Ao ano

An. = análise

ABNT = Associação Brasileira de Normas e técnicas

°C = Graus centígrados

c/ = com

Cap. = capacidade

CH₄ = gás metano

CO = monóxido de carbono

CO<sub>2</sub> = dióxido de carbono

c.v. = cavalo vapor

CC = custo de combustível

CENEA = Centro Nacional de Engenharia Agrícola

CV = coeficiente de variação

d = distância percorrida em metros

Dif. = diferença

DP = desvio padrão

E % = Grau de umidade da madeira com base em peso úmido

Efic. = eficácia

ESALQ = Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz"

EUA = Estados Unidos da América

FAO = Food Agriculture Organization

FNP = Consultoria & Comércio

G.L. = grau de liberdade

h = hora

H = hidrogênio

ha = hectare

Ind. = Índice

Imperf. = Imperfeito kg = kilogramo

km = kilómetro (1000 metros)

L = Litro

Liq. = líquido

m. = metro

m.s-1 = velocidade (em metros por segundo)

Mcal = Mega calorias (10<sup>9</sup> calorias)

Mat. = matéria

Méd. = média

Miner. = mineral

mL = milímetro

 $N_2O$  = óxido nitroso

PC = poder calorífico

PCI = poder calorífico inferior

PCS = poder calorífico superior

PCU = poder calorífico útil (com base em peso úmido)

Q. M. = Quadrados médios

Rend. = rendimento

Rpm = rotações por minuto

Tecn. = técnico

U (%) = umidade do material

Var. = variedade

S = segundos

V = velocidade

% = porcentagem

COLHEITA MECANIZADA INTEGRAL DE CANA (Saccharum spp) CRUA, ANÁLISE DE DESEMPENHO OPERACIONAL

Autor: ALEXANDRE WITIER MAZZONETTO

Orientador: Prof. Dr. TOMAZ CAETANO CANNAVAM RIPOLI

## **RESUMO**

Tanto a crise no abastecimento de energia que tem gerado uma busca por novas fontes e a necessidade de se reduzir às queimadas de cana-de-açúcar, tanto por cobranças da sociedade como pelas leis ambientais, estimularam o presente estudo. Diversos autores demonstraram o potencial energético existente no palhiço da cana. Este trabalho comparou a colheita convencional de cana crua e picada com a colheita integral da cana crua picada, ou seja, a máquina operando com seus mecanismos de limpeza, com exceção do despontador. A hipótese deste trabalho é a de que as colhedoras de cana picada operando em colheita integral são viáveis operacionalmente. Os ensaios foram realizados na Usina Costa Pinto - Cosan, localizada em Piracicaba. Numa área de, aproximadamente, 6,06ha, com a variedade SP 801816, em terceiro corte, plantada com espaçamento de 1,40m entre fileiras, com produtividade agrícola de colmos de 94,7t.ha<sup>-1</sup>. A colhedora foi submetida a dois tipos de colheita (convencional e integral) em cana crua picada. Utilizando-se da metodologia proposta por Ripoli (1996) e Molina Jr. (2000) para

XV

caracterizar as condições de campo e desempenho operacional foram determinados os seguintes parâmetros: Capacidade Efetiva Bruta, Capacidade Operacional, Eficácia de manipulação, Consumo de combustível, Perdas de matéria-prima, Freqüência de comprimento de rebolos, Qualidade tecnológica e Índice de cisalhamento. Foram realizadas oito repetições para cada um dos tratamentos. O índice de matéria estranha levada para Usina não apresentou diferença entre os métodos pela análise de variância e teste "F". Apesar da Capacidade Efetiva bruta ser maior no convencional, a economia de combustível e a menor perda de matéria-prima do sistema integral apresentaram diferenças significativas pela análise estatística.

PALAVRAS-CHAVE: cana-de-açúcar, biomassa, colheita, palhiço.

# TOTAL GREEN CANE HARVEST (Saccharum spp), OPERATIONAL PERFORMANCE ANALYSIS

Author: ALEXANDRE WITIER MAZZONETO
Adviser: Prof. Dr. TOMAZ CAETANO CANNAVAM RIPOLI

#### SUMMARY

The current crises of power supply has motivated the search for new sources and the need to reduce pre-harvest burned, both due to environmental legislation and society's pressure. These two factors contributed to the production of this study. Several authors demonstrate the energetic potential contained in the trash of cane. This study compared traditional green cane chopped harvest with total green cane chopped harvest, which collects the green cane chopped together with trash of cane that would be thrown way. The hypothesis of this study is that the harvester of chopped cane can collect the trash during the harvest operation. The tests were conducted at Costa Pinto Sugar Mill - Cosan, located in the city of Piracicaba. The area is approximately 6,06 ha, with a variety SP 801816, in a field of third cut, in the spacing of 1,40m between rows. The harvester was submitted to two different harvest systems (traditional and total) for cane green chopped. It has been used Ripoli's proposed methodology to characterize the field conditions and operational performance. The following parameters have been considered: Gross Effective Capacity, Operational Capacity, Manipulation Effectiveness, Fuel Consumption,

χvii

Total Cane Prime Matter Loss, Length Frequency, Harvest Material

Technological Quality, Total Loss, Quality Index of Stalks Fractions. The

extraneous mineral matters taken to the Mill were not significant, according to

"F" test. Although the Gross Effective Capacity being higher on the traditional

system, less fuel consumption and lesser total cane prime matter loss on the

total green cane chopped harvest system have contributed to positively evaluate

the proposed collection of trash of cane together with the harvest. Through the

obtained results of these tests and statistical analysis the conclusion is the

viability of this proposal both on the operational perspective.

Key words: Sugar Cane, Biomass, Harvest, Trash of Cane

## 1 INTRODUÇÃO

Devido à carência energética que o Brasil já passou, anos atrás, a cultura da cana-de-açúcar adquiriu grande importância como fonte de energia de biomassa além do álcool. Além do álcool já produzido nas destilarias, o palhiço remanescente da colheita mecânica, vem se mostrando mais uma opção para, conjuntamente com o bagaço, a produção de energia por cogeração.

Em média 30% da massa vegetal aérea de um canavial é constituída de palhiço e este vem sendo deixado no campo ou queimado antes ou depois da colheita, apesar de ter potencial calorífico próximo da madeira seca.

A hipótese deste trabalho é a de que as colhedoras de cana picada operando com seus mecanismos de limpeza desligados, com exceção do despontador, podem recolher toda matéria vegetal área produzida no canavial.

Diante da necessidade de um melhor aproveitamento do palhiço, o presente trabalhado visou a analise da viabilidade operacional da colheita mecanizada integral de cana-de-açúcar e da composição da matéria-prima colhida, assim como na determinação de perdas do processo de colheita.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

#### 2.1 Importância da cultura da cana-de-açúcar na economia brasileira

Leão (2002), descreve a importância da cultura canavieira no final dos anos de 1800 para produção de álcool e açúcar, quando já se cogitava a possibilidade de usar álcool como combustível automotivo.

Várias pesquisas indicam que nos resíduos oriundos da colheita de canaviais sem queima prévia encontra-se mais energia fixada do que aquela existente no álcool produzido pela fermentação do açúcar retirado da mesma área Molina Jr. (2000).

Hoje, o Brasil é um país com abundantes recursos em biomassa além de ser o maior produtor mundial de cana-de-açúcar, açúcar e álcool. Possui uma área plantada próxima a cinco milhões de hectares, com uma produção em torno de 320 milhões de toneladas de matéria-prima, FNP(2002).

## 2.2 Implicações legais, ambientais e operacionais da queima pré-colheita da cana-de-açúcar

A diminuição da matéria-estranha vegetal no canavial e maior facilidade da colheita (seja corte manual ou mecânico) são as principais razões da queima de pré-colheita, segundo Ripoli & Paranhos (1987).

Magalhães & Braunbeck (1999) apresentam algumas das vantagens na colheita de cana crua como sendo a redução da emissão de CO<sub>2</sub> para a atmosfera, eliminação de fumaça e fuligem, que prejudicam a saúde do homem e a não interrupção de energia elétrica ocasionada pelas queimadas próximas às linhas de transmissão de energia.

As queimadas que acontecem nos cerrados, nas vegetações à beira das estradas e na palha da cana-de-açúcar anteriores à sua colheita, contribuem indiretamente para o aumento do efeito estufa no planeta, através da emissão de óxido nitroso (N<sub>2</sub>O), metano (CH<sub>4</sub>) e liberação de monóxido de carbono (CO), coopera para a destruição da camada de ozônio na atmosfera, (Kirchhoff, 1992).

O corte de cana crua tem como conseqüência vários fatores, tais como diminuição das emissões de dióxido de carbono e ozônio na baixa atmosfera, minimização da erosão, aumento da infiltração de água no solo, melhoria da qualidade tecnológica (diminuição de impurezas minerais) e maior quantidade de matéria estranha vegetal, (Sparovek, 1997).

No Estado de São Paulo a Lei número 10.547, de maio de 2000, regulamenta e restringe o emprego do fogo como queimada controlada. Essa lei institui a Autorização de Queimada Controlada, documento pelo qual o Poder Público autoriza a realização da queimada da palha. (AMBIENTE, 2003).

O Projeto de Lei 380/01, do Executivo, prevê a eliminação gradual da queimada controlada da palha de cana-de-açúcar. Os plantadores de cana devem agora seguir uma tabela gradual de eliminação de queimada da palha. A cada cinco anos, os percentuais de eliminação serão revisados. No caso das áreas mecanizáveis, que representam 60% no estado, a proposta é a eliminação total da queimada em vinte anos – até 2021. O Projeto de Lei 380/01 considera área mecanizável aquela em que as plantações estão em terrenos acima de 150 hectares, com declividade igual ou inferior a 12%, conforme relata Gonçalves (2002).

#### 2.3 Aspectos energéticos

De acordo com Perrone (1977), a humanidade procura limitar ou suprimir a dependência em relação às matérias-primas fósseis na produção de energia e produtos químicos, pois as reservas são finitas e não renováveis. Portanto, há necessidade de buscar fontes renováveis de matéria-prima. O autor ainda

declara que das principais culturas brasileiras (cana-de-açúcar, mandioca, milho e arroz), 50% da matéria verde formada (hastes, folhas, cascas, raízes etc) é deixada no campo durante a colheita, ou quando muito, aproveitada ineficientemente.

O mesmo autor, citando inúmeros autores, mostra a quantidade de celulose contida em resíduos agrícolas em 1975, na Tabela 1.

Tabela 1. Matéria seca produzida por três das principais culturas brasileiras

Material		matéria seca de resíduos (t.ano <sup>-1</sup> )	
Cana-de-açúcar:- bagaço (13% da cana, base matéria seca)		11.959.210	
	<ul> <li>folhas e ponteiros (40 % da parte aérea, base mat. seca)</li> </ul>	18.398.784	
Mandioca		7.958.491	
Arroz:	Palha	2.681.297	

Fonte: PERRONE (1977), baseado em inúmeros autores.

Concluiu Ripoli (1991), que o desperdício energético do não aproveitamento do material remanescente da colheita, representado pelos ponteiros, folhas verdes e palhas, é 34,9% da energia produzida em um hectare de cana. Determinou que o material remanescente queimado na operação de pré-colheita representa, em termos de equivalente energético, cerca de 30,9 barris.ha<sup>-1</sup> de petróleo no campo e que uma tonelada de material remanescente, em termos de poder calorífico, substituem, em média, 1,08 toneladas de bagaço.

A cultura canavieira pode gerar biomassa indesejável à indústria da ordem de 15 a 30% em peso da parte aérea das plantas, dependendo das condições de campo (variedade, idade, número de corte e condições edafoclimáticas), cujo poder calorífico é equivalente ao da madeira e superior ao do próprio bagaço da cana, o que a torna não mais um material desprezível, mas

uma importante fonte para agregação de valor no setor sucroalcooleiro (Ripoli, 2002).

Payne (1989) relata que no cálculo do valor combustível do bagaço de cana-de-açúcar é hábito incluir o valor energético do açúcar junto ao valor da fibra. Considera válido somente quando o bagaço for diretamente da moenda para a caldeira. Encontrou poder calorífico médio do bagaço como sendo da ordem de 1853,7kcal.kg<sup>-1</sup>, a 50% de umidade.

DOAT (1977) apresenta a equação (1) que fornece o valor do poder calorífico útil (PC de madeiras), onde se encontra o poder calorífico inferior (PCI) com base em peso úmido:

$$PCU = PCI [(100 - E)/100] - 6 H$$
 (1)

onde:

PCU (kcal.kg<sup>-1</sup>) = poder calorífico útil à umidade E.

E (%)= teor de umidade da madeira com base em peso úmido.

6 = fator de conversão referente a energia para evaporação da água de formação.

PCI (kcal.kg<sup>-1</sup>) = poder calorífico Inferior (com base em peso úmido).

H (%) = teor de hidrogênio no material.

Com base no trabalho de Doat (1977), Brito & Barrichello (1982) afirmam que o poder calorífico de massas vegetais pode apresentar poder calorífico superior – PCS, e poder calorífico inferior – PCI, dependendo se o calor liberado pela condensação da água de constituição do combustível é ou não considerado. Na prática, o PCI deve ser preferido, porém geralmente utiliza-se a bomba calorimétrica que fornece o PCS. A fim de resolver essa situação adota-se PCS em função de PCI e da quantidade de hidrogênio contida no combustível. Desta forma, desconta-se o calor de vaporização da água formado no processo, conforme a Equação 2 apresentada por Doat (1977).

$$PCI = PCS - 600 . 9 . H / 100$$
 (2)

Onde:

600 = valor médio (kcal) de energia absorvida por um quilograma de água, para se atingir a temperatura de evaporação.

PCS (kcal.kg<sup>-1</sup>) = poder calorífico superior (com base em peso seco).

9 = múltiplo do peso de hidrogênio contido no combustível, que fornece o peso da água formada durante a combustão.

Segundo Oliveira (1982), para evaporar 1kg de água são necessárias 600kcal e a massa dessa água formada durante a combustão é igual a nove vezes a massa do hidrogênio contido no combustível.

Carvalho Filho (2000) afirma que é necessária uma metodologia padronizada de ensaio, não sendo possível comparar dados entre empresas com parâmetros distintos, devido à grande variação de resultados apresentados.

De acordo com os estudos de Carvalho (1974), um hectare de eucalipto produz 200 toneladas de madeira seca ao tempo, a qual, na forma de lenha, produz energia equivalente a 55.000 litros de óleo diesel. O autor considera ser importante o uso mais intenso da lenha e do carvão vegetal.

Torrezan (2003) concluiu ser viável a retirada do palhiço sob o ponto de vista operacional e energético, quando estudou enleiramento e enfardamento desse material.

A energia contida em resíduos de colheita de cana crua nas variedades SP701284; SP701143; SP706163; SP711406; NA5679, são apresentadas por RIPOLI et al.(1991) na Tabela 2.

Tabela 2. Valores médios de umidade, massa e poder calorífico útil (PCU) para diversas frações constituintes de palhiço

Variáveis	Médias	CV	DP
Ponteiros			
Umidade (%)	76,79	3,33	1,82
Massa (t.ha⁻¹)	6,00	30,00	1,80
PCU (Mcal.ha <sup>-1</sup> )	888,0	13,34	118,50
Folhas verdes			
Umidade (%)	66,21	5,90	3,88
Massa (t.ha <sup>-1</sup> )	6,87	29,80	2,05
PCU (Mcal.ha <sup>-1</sup> )	1344,48	12,41	166,95
Palhas			
Umidade (%)	8,81	27,47	2,42
Massa (t.ha <sup>-1</sup> )	8,74	32,84	2,83
PCU (Mcal.ha <sup>-1</sup> )	3609,0	0,67	24,25
Palhiço Ponderal			
Umidade (%)	46,11	11,23	8,15
Massa (t.ha <sup>-1</sup> )	21,61	23,80	5,14
PCU (Mcal.ha <sup>-1</sup> )	45783,4	24,40	11152,1

Fonte: Ripoli et al. (1991). CV = coeficiente de variação; DP = desvio padrão.

Estudando diversos materiais biológicos Summer et al. (1983), determinaram os PCS por meio de bomba calorimétrica. Os resultados encontrados de poder caloríficos superior (PCS) para cada material são apresentados na Tabela 3.

Tabela 3. Poder calorífico superior (PCS)

Materiais	PCS (kcal.Kg <sup>-1</sup> )	Materiais	PCS (kcal.Kg <sup>-1</sup> )
Painço var. Pearl	4178	Casca de Pecan	4345
Painço var. Texas	4178	Laranja	4464
Colmos de sorgo	4273	Pecan	4536
Folhas de sorgo	4631	grape fruit	4464
Capim Napier	4369	Cone de pinus spp	4870
Grama Bermuda	4584	Palha de <i>pinus spp</i>	5348
pinus spp	4249	Pêssego	4608

Fonte: Summer et al. (1983); Var. = variedade

Estudando a madeira seca proveniente de pinus e eucalipto, Andrade (1961) e Arola (1976) obtiveram o poder calorífico superior (PCS) para duas espécies de pinus e eucaliptos, cujos resultados são apresentados na Tabela 4.

Tabela 4. Poderes caloríficos superiores (PCS) de pinus e eucaliptos

Espécies	PCS (kcal.kg <sup>-1</sup> )
pinus strobus	5285
pinus ponderosa	5000
eucalyptus saligna	4670
eucalyptus robusta	4774

Fonte: Andrade (1961) e Arola (1976).

Em 1979, a biomassa representava 27% das fontes energéticas do Brasil distribuídas em: lenha (20%), carvão vegetal (2,4%) e bagaço (4,6%) Goldenberg (1979). A Tabela 5 apresenta os valores de massa específica e de poderes calorífico inferiores (PCI) de alguns combustíveis de origem vegetal e de gasolina.

Tabela 5. Valores de massa específica e poderes caloríficos inferiores de alguns combustíveis

Produtos	Massa Espec. (kg.L-1)	PCI (kcal.kg <sup>-1</sup> )	PCI (kcal.L <sup>-1</sup> )
Gasolina	0,734	11100	8150
Etanol	0,789	6400	5040
Metanol	0,796	4700	3740
Madeira	0,400	2524	1010
Carvão Vegetal	0,200 a 0,440	6798	1980 a 3000

Fonte: Goldenberg (1979); Massa Espec. = massa específica

Outro autor que comparou o poder calorífico (PCS) de alguns materiais biológicos, incluindo bagaço de cana-de-açúcar, foi Atchison (1977). Seus resultados são apresentados na Tabela 6.

Tabela 6. Poderes caloríficos superiores (PCS) de alguns materiais biológicos

Materiais	PCS (kcal.kg <sup>-1</sup> )	
Palha de cereal	4445	
Madeira mole	4665 – 5500	
Madeira dura	4555 – 4946	
Bagaço de cana	4445 – 4665	

Fonte: Atchison (1977).

Zulauf et al. (1985) avaliaram a energia contida na palha de canaviais das principais regiões produtoras de cana-de-açúcar do Estado de São Paulo, determinando o poder calorífico superior e inferior para as variedades SP 701143, NA 5679 e CP 5122.

Gomes et al. (1976) comparam o balanço energético das culturas de cana-de-açúcar, mandioca e sorgo, transformando em álcool toda energia produzida e consumida na produção agrícola e industrial. Os resultados são expostos na Tabela 7.

Tabela 7. Balanço energético em Mcal.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup> das culturas de cana-deaçúcar, mandioca e sorgo

	Produzida Mcal.há <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>		Consumida Mcal.ha <sup>-1</sup> .ano <sup>-1</sup>		-1	
Cultura	álcool	residual	total	agrícola	industrial	total
Cana	18.747	17.550	36.297	4.226	10.814	15.040
Mandioca	13.271	100 App 607	13271	2.753	8.883	11.636
Sorgo	19.856	11.830	31.686	4.667	11.883	16.550

Fonte: Gomes et al (1976)

Com esse trabalho os autores concluíram saldos positivos de balanço energético para as condições propostas:

Cana-de-açúcar: + 21.257Mcal.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>;

Mandioca: + 1.635 Mcal.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>;

Sorgo: + 15.136 Mcal.ha<sup>-1</sup>.ano<sup>-1</sup>.

Ripoli & Ripoli (2001) avaliando os efeitos da queima prévia na colheita de cana-de-açúcar, baseados no valor de venda de álcool praticado pelas destilarias (considerando preços de janeiro de 2001) de US\$ 0,355L<sup>-1</sup> e o valor médio de perdas absolutas de álcool de US\$ 44,91L.ha<sup>-1</sup>, por exsudação causada pela queima prévia, estimaram uma perda de US\$ 4.860.000 por ano, somente no Estado de São Paulo.

Segundo Bini & Souza (1995), que desenvolveram um trabalho visando a estabelecer o nível de economia em termos monetários (US\$) e energéticos (kWh), decorrentes da queima do bagaço da cana-de-açúcar moída por uma agroindústria sucro-alcooleira, concluíram que a geração de energia elétrica contribuiu para minimizar os custos energéticos em 58,75%, o que, em média, corresponde a uma geração de 12,5KWh.t<sup>-1</sup>.

Avaliando o potencial energético de resíduos da colheita mecanizada de cana crua, nas variedades SP701284, SP701143, SP706163, SP711406 e

NA5679, Ripoli et al (1991), obtiveram valores médios correspondentes a energia contida no palhiço, em Mcal.ha<sup>-1</sup>, que são apresentados na tabela 8.

Tabela 8. Potencial energético no resíduo da colheita mecanizada de cana crua, segundo Ripoli et al. (1991)

Variedades	Mcal.ha <sup>-1</sup>
SP 701284 SP 706163	29.245 45.721
SP 701143	42.615
SP 711406	58.711
<b>N</b> A 5679	52.623

## 2.4 A colheita da cana-de-acúcar

O primeiro ensaio com uma máquina importada para corte de cana no Brasil, ocorreu em Piracicaba, em 1956, seguido de outro em 1962. Porém, a história da mecanização, em escala comercial, do corte de cana-de-açúcar, no Brasil, começou em 1973 com a empresa Santal Equipamentos S/A<sup>1</sup>, fabricação brasileira com tecnologia importada, segundo Ripoli & Villanova (1992).

Para Câmara & Oliveira (1993) a colheita de cana-de-açúcar é um trabalho dinâmico, que fornece matéria-prima e envolve desde o planejamento de queima e corte até a deposição da cana na esteira de moagem da usina ou destilaria.

A colheita de cana-de-açúcar é uma atividade complexa, custosa e que para seu planejamento devem ser considerados fatores edafoclimáticos, vegetativos e de disponibilidade de recursos, segundo Lopes (1995).

\_

<sup>&</sup>lt;sup>1</sup> As citações de modelos de equipamentos e marcas comerciais neste trabalho não significam preferência do autor.

Estudando os resíduos pós-colheita mecanizada de cana crua, variedade SP 716163, Abramo Filho et al. (1993) determinaram que foi deixado no solo 15 t.ha<sup>-1</sup> de resíduo (ponteiros e palhas). Determinaram, também, os efeitos do resíduo sobre o talhão: menor temperatura sob a palha em comparação ao solo desnudo; maior manutenção da umidade do solo; retardamento da brotação da soqueira; controle de uma grande parte de plantas invasoras e maior teor de matéria orgânica.

Na colheita mecanizada abandona-se no campo o palhiço (ponteiros, folhas verdes, palha e pedaços de cana seca), que poderia ser recolhido e utilizado para co-geração de energia elétrica nas próprias usinas e destilarias, conforme Ripoli & Ripoli (1996).

A prática da queima prévia de canaviais antes da colheita, apesar de consagrada pelos reflexos econômicos de curto prazo, apresenta vários pontos negativos como: poluição ambiental; riscos de incêndio (por descontrole); danos às linhas de transmissão elétrica; dificulta a implantação de sistemas de controle biológico de pragas; eleva os teores de matéria estranha mineral no carregamento e desperdício de cerca de 10t.ha<sup>-1</sup> de massa vegetal, a qual, caso não fosse queimada, poderia ser aproveitada como fonte energética ou incorporada ao solo, para melhorar suas propriedades físico-químicas (Ripoli, 1988).

Delgado (1985) levanta diversas questões sobre a queima prévia de canaviais, as quais classifica sob aspectos agronômicos, industriais, econômicos, operacionais e energéticos.

De cunho agronômico:

- leva à destruição dos inimigos naturais da broca da cana;
- a palha pode ser incorporada ao solo aumentando o seu teor de matéria orgânica;
- cria facilidade nas operações de preparo de solo e de cultivo;
- colabora com eliminação das pragas da cultura;

 oferece facilidades nas operações de corte, tanto manual como mecanizado.

## De cunho econômico e operacional:

- torna a colheita mais fácil e barata;
- causa maiores prejuízos no caso de atraso no corte;
- provoca complicações para tratamento de água de lavagem, pelo aumento de volume necessário e pela demanda biológica de oxigênio devido ao exsudado e pela solubilização de ceras.

#### De cunho industrial:

- causa dificuldades na conservação e purificação dos caldos;
- provoca o aumento de brix e fibra % cana devido ao ressecamento dos colmos;
- concorre para o aumento da infestação de microorganismos nos colmos, devido à exsudação, predispondo-os à deterioração.

## De cunho energético:

 a queima tem causado perdas da ordem de 30% da matéria bruta, tornando-se claro que, caso fossem aproveitadas para a produção de biogás ou queimadas em caldeiras, poderiam ser geradoras de energia de biomassa.

Com o aumento da produção da cana-de-açúcar, a queima prévia como prática de colheita tem sido muita contestada, uma vez que gera problemas ambientais, produzindo poluição atmosférica, destruindo a flora e fauna; afirmou Molina Jr. et al. (1995).

Abandonando-se a queima prévia do canavial, o palhiço (ponteiros, folhas verdes e palhas) remanescente sobre o terreno e decorrente da colheita mecanizada poderia ser recolhido e utilizado para cogeração de energia elétrica nas próprias usinas e destilarias, conforme Ripoli & Ripoli (1995). O palhiço não recolhido, considerado material vegetal remanescente, poderia tornar-se, então, mais uma fonte de energia renovável.

Noa (1992) declara a importância da biomassa obtida por meio da colheita mecanizada de cana sem queima prévia em Cuba. A colheita de cana crua representa 90% das áreas cultivadas. Uma quantidade do palhiço é mantida no campo para conservar a umidade do solo e controlar ervas invasoras. Outra parte é recolhida do campo empregada como combustível nas caldeiras, na produção de bio-fertilizantes ou ainda como alimento para o gado.

A cultura canavieira pode gerar biomassa indesejável à indústria da ordem de 15 a 30% em peso da parte aérea das plantas, dependendo das condições de campo (variedade, idade, número de corte e condições edafoclimáticas), cujo poder calorífico é equivalente ao da madeira e superior ao próprio bagaço da cana, o que o torna não mais um material descartável, mas um importante produto para agregação de valor no setor sucroalcooleiro, conforme Ripoli (2002).

Furlani Neto (1995) afirma que, para otimizar os custos do corte mecânico, trazendo uma resposta positiva em custo-benefício no sistema mecanizado de colheita da cana torna-se obrigatória a perfeita sistematização prévia do terreno.

Furlani Neto (1994) e Soares et al. (1994) recomendam a redução da altura e do número de terraços, quando possível à eliminação dos mesmos em áreas de colheita mecanizada.

Para Veiga Filho (1999) a colheita mecanizada passou por uma fase de introdução, ajustes e desenvolvimento, onde o importante foi viabilizar a nova tecnologia em termos operacionais e econômicos. Na atual fase a tendência das pesquisas está em determinar diferenças de ganho na qualidade de matéria-prima e na qualidade de extração.

#### 2.5 Qualidade da matéria-prima

Para Stupiello et al. (1971), a qualidade tecnológica da matéria prima caracteriza os padrões do produto colhido. Nas canas colhidas por colhedoras, deve ser avaliada a porcentagem de Brix, com um valor mínimo de 18%, a

porcentagem de Pol, que deve estar entre 14,4 e 15,3% e a porcentagem da pureza, que deve estar entre 80 e 85%, os valores destes dois últimos parâmetros são mínimos para o início e o final da safra.

Aranha & Yahn (1987) definiram palha da cana-de-açúcar como "folhas inferiores que secam e podem cair, ficarem frouxas ou persistirem no colmo".

A produtividade agrícola média da cultura da cana-de-açúcar no Estado de São Paulo é de 80t.ha<sup>-1</sup> e a massa de ponteiros existentes na cultura varia de 20 a 30%, em massa, da massa de ponteiros, afirmam Boin et al. (1987).

No Hawaii, avaliou-se em 10% a perda de sacarose contida na cana, devido à moagem de matéria estranha contida na matéria-prima enviada à usina, conforme Humbert (1974).

Por sua vez, Maranhão (1983), em Alagoas, obteve a composição do bagaço de cana-de-açúcar apresentada pela Tabela 9.

Tabela 9. Composição do bagaço de cana-de-açúcar

Componentes	Bagaço úmido	Bagaço seco
Umidade (%)	50	35
Açúcar (%)	2	2,6
Impurezas (%)	2	2,6
Fibra (%)	46	59,8
PCI (kcal.kg <sup>-1</sup> )	1800	2525

Fonte: MARANHÃO (1983).

Os colmos de cana-de-açúcar apresentam de 10 a 16% de fibra, de 6 a 12% da massa da biomassa produzida pela cultura é descartada na forma de palhiço e que, em média, uma tonelada de cana processada fornece 280kg de bagaço com 50% de umidade, de acordo com Stupiello (1987).

De acordo com Dudley et al. (1970), em Porto Rico, ponteiros levados para usina junto com a matéria-prima geram, no processo, açúcar não

cristalizável. Esses açúcares redutores ocasionam um aumento nas perdas de sacarose e diminuem a pureza do caldo.

Morim (1976) encontrou os valores apresentados na Tabela 10 para a qualidade do caldo da cana-de-açúcar na Argentina.

Tabela 10. Colheita mecanizada com matéria estranha e sem matéria estranha

	Pureza %	Pol % cana	Rend. (%) Fabricação	Açúcares Redutores
sem matéria estranha	86,54	13,09	11,16	0,41
com matéria estranha	82,86	10,39	9,73	0,67

Fonte: Morim (1976).

Os valores da tabela 10 foram próximos dos definidos por Valsechi & Oliveira (1964), para cana-de-açúcar madura Pol 15,3% do caldo, 85% de pureza e 1% de açúcares redutores.

Fernandes & Oliveira (1977), avaliando a colheita de cana-de-açúcar realizada por dois sistemas – semimecanizado e mecanizado – quantificaram para o primeiro caso valores de matéria estranha total de 5,1 a 8,1%; da matéria estranha vegetal de 2,9 a 5,3% e da matéria estranha mineral de 1,6 a 2,8%.

Furlani Neto (1995) comparando sistemas de colheita mecanizada de cana crua e queimada, concluiu que o sistema de cana crua diminuía as impurezas minerais carregadas na colheita.

Tenório et al. (1983) encontraram valores que variam de 4,4 % a 12,4% de matéria estranha total durante uma safra na Usina Triunfo, em Alagoas, mostrando que existe uma tendência no aumento dos teores de matéria estranha com a precipitação pluviométrica. O valor médio encontrado para matéria estranha vegetal foi de 6,5% e para matéria estranha mineral 1,3%.

Os efeitos da queima prévia da cana-de-açúcar, considerando-se perdas de energia e açúcares, podem implicar em redução de até 50% da biomassa da planta bem como reduções não desprezíveis no teor de sacarose, Payne (1986).

## 2.6 Desempenho operacional e econômico das colhedoras de cana-deaçúcar

Analisando a colhedora Santal 115 na Usina Santa Cruz, no Estado do Rio de Janeiro, em canaviais de terceiro corte sem queima prévia, Ripoli & Alves Berto (1981) determinaram perdas 6,5% de matéria-prima na colheita.

Avaliando perdas visíveis com colhedoras Santal Amazón na região de Ribeirão Preto, Furlani Neto et al. (1996) encontraram valores variando entre 2,13% e 3,56% para cana crua e de 1,08 a 1,98% para cana com queima prévia.

Para Magalhães & Braunbeck (1999) há quatro pontos onde ocorrem perdas nas atuais colhedoras de cana picada, a saber: cortador de base, rolos alimentadores, picador e extratores.

Conduzindo estudos na Austrália com colhedoras em canaviais com e sem queima prévia, Ridge (1994) avaliou o efeito do extrator primário nos níveis de matéria estranha e nas perdas de cana quando as colhedoras cortavam cana verde sem desponte. Os resultados alcançados em três diferentes rotações analisadas são apresentados na Tabela 11.

Tabela 11. Perdas de cana (matéria prima) e matéria estranha

Velocidade do extrator (rpm)	Perdas de cana (t.h <sup>-1</sup> )	Matéria Estranha (%)
1000	1,2	10,6
1250	3,7	8,5
1450	9,7	7,4

Fonte: RIDGE (1994).

Na Austrália, Smith et al. (1985) determinaram índices de matéria estranha variando de 7,41 a 8,24%, para colheita de cana crua.

Comparando as variedades de cana-de-açúcar NA 5679 e SP 711406, colhidas mecanicamente em canaviais com queima prévia e cana crua, Furlani Neto et al. (1989) verificaram que não ocorre diferenças significativas em termos de perdas de colheita para quantidade de colmos, pureza (%) e pol (%). Para as perdas deixadas no campo, após a colheita da cana crua (palhas, folhas verdes e ponteiros), encontraram uma variação de 7,5 a 11,88t.ha<sup>-1</sup>.

Analisando as colhedoras Engeagro E-6000 e Engeagro E-8000, Lima (1994) determinou valores médios de perdas totais entre a cana crua e com queima prévia de 3,86 e 3,54t.ha<sup>-1</sup>, respectivamente. Com a colhedora Engeagro E-6000, o autor obteve percentuais de rebolos inteiros de 14,12; rebolos e suas frações de 53,59; rebolos na soqueira de 21,98 e, com a Engeagro-8000, percentuais de 31,6; 45,85 e 17,35; respectivamente.

Para verificar os efeitos da velocidade de operação de colheita sobre o desempenho da colhedora, Rozeff (1989) realizou ensaios em cana queimada e crua no Estado do Texas (EUA). Utilizou-se a colhedora Class 1400 para os ensaios. Os resultados para cana crua foram obtidos nas velocidades médias (Km.h<sup>-1</sup>) de: 1,42; 2,46; 4,18 e 5,63; e nas capacidades efetivas brutas (t.h<sup>-1</sup>): 17,4; 29,5; 54,2 e 91,6 obtendo-se os seguintes valores: índices de matéria estranha de 5%, 6,8%, 13,7% e 21,6%, freqüência de comprimento de rebolos na faixa de 0,15 aos 0,38m, com uma porcentagem superior a 50 % na quantidade de colmos sem danos (perfeitos) para as quatro velocidades analisadas.

A colhedora Austoft 7700 teve seu desempenho operacional avaliado na Colômbia em canaviais sem queima prévia. A colhedora trabalhou 1263 horas com eficiência de campo de 59% em canaviais cuja produtividade média foi de 104t.ha<sup>-1</sup>, CENICAÑA (1995). Os resultados de desempenho são apresentados na Tabela 12.

Tabela 12. Desempenho operacional da colhedora Austoft 7700

Parâmetros	Valores da Avaliação
Capacidade Efetiva de Campo (t.h <sup>-1</sup> )	26,74
Capacidade Teórica de Campo (t.h <sup>-1</sup> )	45,21
Velocidade de Trabalho (km.h <sup>-1</sup> )	2,82
Matéria Estranha Total (%)	9,82

Fonte: CENICAÑA (1995).

Segundo Ripoli (1996), na análise do desempenho operacional de cortadoras e colhedoras de cana-de-açúcar deve-se considerar a qualidade de matéria-prima, suas perdas, capacidade operacional e não se restringir, apenas, à capacidade efetiva em termos de kg.h<sup>-1</sup> ou t.dia<sup>-1</sup>. Para o mesmo autor, desempenho operacional é o conjunto de atributos que caracterizam o grau de habilitação da colhedora de cana-de-açúcar para execução da operação de colheita, sob determinadas condições operacionais.

De acordo com Romero et al. (1993), o sucesso da colheita começa com o treinamento dos operadores das colhedoras. O operador deve ter condições de identificar e evitar problemas com a colhedora, além de auxiliar os mecânicos no decorrer de reparos no campo. Determinaram o desempenho operacional das colhedoras Class Gladiator e Class 2000 em canaviais com cana crua, na Argentina. Os resultados obtidos em canaviais com produção variando de 60 a 140t.ha<sup>-1</sup> são apresentados na Tabela 13.

Tabela 13. Desempenho operacional das colhedoras Class Cladiator e Class 2000

Modelos Varieda de cana Colhedora		Vel. de (km.h <sup>-1</sup> )	Cap. Efetivas (t.h <sup>-1</sup> )	Perdas matérias prima (%)	Matérias Estranhas (%)	Eficiências limpeza (%)
	CP65577	4,9	40	4,7	10,0	64
Class	TUC6727	3,6	40	2,8	13,0	62
Gladiat	or NA5679	5,7	51	7,0	10,7	65,5
	CP 65357	5,6	56	5,7	12,0	60
Class	CP 65357	5,8	58	6,6	7,8	56
2000	TU7742	3,5	31	7,2	5,3	71

Fonte: Romero et al. (1993), adaptada

O desempenho operacional da colhedora Santal Amazón foi avaliado por Furlani Neto et al. (1996) no Estado de São Paulo, onde encontraram capacidade efetiva de 57,78t.h<sup>-1</sup> para canavial de cana crua e a colhedora operando na velocidade de deslocamento de 4,65km.h<sup>-1</sup> e capacidade efetiva de 66,79t.h<sup>-1</sup> para canaviais com queima prévia com velocidade de deslocamento de 5,50km.h<sup>-1</sup>.

Ensaiando colhedora Class CC-2000, colhendo cana crua, Mialhe & Carraro Neto (1993) obtiveram os valores de capacidade efetiva bruta e líquida apresentados na Tabela 14.

Tabela 14. Desempenho operacional em ensaio realizado com a colhedora Class CC 2000, em canaviais de cana crua

	Velocidade do ensaio (km.h <sup>-1</sup> )			
Parâmetros	3,67	4,04		
Capacidade efetiva bruta (t.h <sup>-1</sup> )	83,83	75,64		
Capacidade efetiva líquida (t.h <sup>-1</sup> )	73,47	Não determinado		
Eficácia de manipulação (%)	96,78	96,86		
Perda total no campo bruta (%)	3,22	4,14		

Fonte: Mialhe & Carraro Neto (1993), adaptado.

Os mesmos autores observam que, um projeto orçamentário pode permitir uma modelagem do cenário de custos, possibilitando o conhecimento antecipado dos limites da máquina.

Avaliando o desempenho operacional de duas colhedoras, o CENICAÑA (1997), na Colômbia, conduziu o ensaio em canaviais sem queima prévia. As colhedoras ensaiadas foram Austoft 7700 e Cameco CHT 2500. A matéria estranha colhida foi de 8,3% e a Eficácia de Manipulação foi de 96,35%. Os demais resultados obtidos no ensaio são apresentados na Tabela 15.

Tabela 15. Resultados obtidos na avaliação realizada na Colômbia

Parâmetros	Austoft 7700	Cameco CHT 2500
Eficiência de Campo (%)	43,0	46,0
Velocidade (km.h <sup>-1</sup> )	2,0	1,0
Capacidade Efetiva de campo (t. h <sup>-1</sup> )	70,6	29,4
Capacidade Teóricas de campo (t. h <sup>-1</sup> )	47,6	13,4
Capacidade Efetivas líquida (t. h <sup>-1</sup> )	68,0	28,3

Fonte: CENICAÑA (1997).

Lima (1998), por meio de levantamento com vários produtores de canade-açúcar, avaliou os desempenhos de várias colhedoras de cana crua, os quais são apresentados na Tabela 16.

Tabela 16. Parâmetros de desempenho para colhedoras de cana crua

Parâmetros	Amazón	Brastoft	Cameco	Class
t.safra <sup>-1</sup>	38 a 81	49 a 121	91 a 121	82 a 96
t.dia <sup>-1</sup>	205 a 441	242 a 645	414 a 583	388 a 457
L.ť <sup>1</sup>	0,71 a 1,54	0,81 a 1,56	0,81 a 1,08	0,70 a 1,04
US\$.t <sup>-1</sup>	0,94 a 2,02	0,90 a 1,69	0,97 a 1,23	1,13 a 1,36

Fonte: Lima (1998), adaptada.

Analisando desempenho econômico e operacional de duas colhedoras Brastoft utilizadas na usina Sta. Helena, Estado de São Paulo, em cana crua, Cury (1999) obteve Eficiência de campo de 64,45% e Capacidade operacional de 45,8t.h<sup>-1</sup>.

De Léon (2000) estudou a interferência da velocidade nas capacidades efetiva bruta, líquida e operacional para colheita de cana crua, concluindo que o aumento da velocidade aumenta a capacidade operacional, com velocidade variando de 1,68 a 8,01km.h<sup>-1</sup>.

Estudando colheita mecanizada no Estado de São Paulo, com rodado de esteira em cana crua, Nery (2000) obteve, com quatro diferentes velocidades de deslocamento, os valores apresentados na Tabela 17.

Tabela 17. Resultados de colheita de cana crua em quatro velocidades de deslocamento

Parâmetros	V1	V2	V3	V4
Velocidade de deslocamento (km.h	<sup>-1</sup> ) 1,34	2,66	5,27	7,68
Capacidade efetiva Bruta (t. h <sup>-1</sup> )	16,29	36,29	87,67	110,18
Eficácia de manipulação (%)	93	92	89	91
Capac. Efetivas Líquidas(t. h <sup>-1</sup> )	15,18	33,61	79,01	100,34
Perdas de colmos e frações (%)	2,11	2,59	0,62	2,64
Perdas de rebolos (%)	0,0	0,0	1,18	0,0
Perdas de frações de rebolos (%)	3,14	3,96	4,16	4,07
Perda de colmo na soqueira (%)	0,85	0,36	3,93	2,10
Perdas de raízes (t. h <sup>-1</sup> )	0,0	0,58	0,08	0,9
Índ. de mat. Estranha vegetal (%)	8,42	10,88	7,19	8,40
Índ. de mat. Estranha mineral (%)	0,07	0,45	0,08	0,66
Índ. de mat. Estranha total (%)	8,49	11,33	7,27	9,06
Brix (%) do caldo	18,37	17,95	17,8	17,60
Pol (%) do caldo	12,52	12,22	11,92	12,21
Rebolos perfeitos (%)	80,0	70,9	65,8	35,0
Rebolos macerados 1 lado (%)	20,0	21,5	27,8	40,0

Fonte: Nery (2000), adaptado. Capac. = Capacidade

Para avaliar o desempenho operacional e econômico da colhedora Brastoft 7700, em canaviais de cana crua, Kronka & Monteiro (1999) realizaram ensaios no Estado de São Paulo, obtendo eficiência de 64,64% e capacidade operacional de 37,67 (t. h<sup>-1</sup>).

Norris et al. (1998) avaliaram o protótipo Massey Ferguson 405 e a colhedora Austoft 7000, a fim de encontrarem alternativas adequadas para as condições de colheita na Austrália. Os resultados obtidos no ensaio são apresentados na Tabela 18.

Tabela 18. Ensaio comparativo entre o protótipo Massey Ferguson 405 e a colhedora Austoft 7000

	Velocidades	Matéria	Rebolos	Rebolos	Rebolos
Colhedoras	(km.h <sup>-1</sup> )	Estranhas	Perfeitos	danificados	danificados
		Totais (%)	(%)	1 lado(%)	2 lados(%)
Austoft	3	6,4	41,8	32,5	25,7
	5	7,1	36,1	39,0	24,9
	7	7,1	32,4	44,1	23,5
MF 405	3	2,6	51,2	31,8	17,0
	5	4,6	45,8	36,1	18,1
	6,5	5,1	42,5	36,8	20,7
MF 405	5	4,6	45,8	36,1	18,1

Fonte: Norris et al. (1998), adaptado.

Molina Jr. et al. (2001) estudaram comparativamente o desempenho operacional de três colhedoras de cana crua. A análise estatística não indicou diferença quando as Capacidades Efetivas são consideradas cada uma das velocidades do ensaio. Concluíram que as máquinas T2 e T3 possuem desempenho equivalente, mas a máquina T3 teve desempenho inferior a demais máquinas. Os resultados do estudo comparativo, com quatro diferentes velocidades, são apresentados na Tabela 19.

Tabela 19. Médias das capacidades efetivas obtidas nas diferentes velocidades de trabalho das três colhedoras

Colhedora		Ca	Capacidades Efetivas (t.h <sup>-1</sup> )			
	V1	V2	V3	V4	Média	
T1	26,44	58,75	93,11	141,26	79,89	
T2	30,64	54,31	102,08	131,26	79,74	
Т3	16,30	36,29	87,67	110,19	62,61	

Fonte: Adaptada de Molina Jr et al. (2001).

Ripoli et al. (2001) estudaram o desempenho operacional e econômico de colhedoras Brastoft de cana crua. Os resultados de Eficácia de manipulação não apresentaram diferenças significativas, o que vale dizer que a variação de velocidade de colheita não influenciou esta variável. Maiores velocidades implicaram em maiores Capacidades Efetivas Líquidas. Os resultados obtidos por Ripoli et al. (2001) são apresentados na Tabela 20.

Tabela 20. Eficiência de Manipulação e Capacidade Efetiva Líquida em quatro diferentes velocidades de colheita (V1 a V4)

Parâmetros	V1	V2	V3	V4
Eficiência de Manipulação (%)	93	92	89	91
Capacidade Efetiva Líquida <u>(t.h<sup>-1</sup>)</u>	15,8	33,6	79	100

Fonte: adaptação de Ripoli et al. (2001).

Concluíram, ainda, que o consumo de combustível por tonelada de cana colhida reduz com o aumento da velocidade de deslocamento da colhedora e que as perdas não aumentaram e o custo da tonelada de cana colhida foi reduzido com o aumento da velocidade de deslocamento.

# **3 MATERIAL E MÉTODOS**

### 3.1 Material

### 3.1.1 Local do ensaio

As determinações de campo foram realizadas no município de Piracicaba, SP, na Usina Costa Pinto – Cosan. A área foi sistematizada para colheita mecanizada e continha uma área aproximada de 6,06 ha. A variedade cultivada era SP 801816, em terceiro corte, plantada com espaçamento entre fileiras de 1,40 m.

# 3.1.2 Máquinas utilizadas no sistema de colheita

Foram utilizados, na realização do ensaio, um conjunto trator Valmet 1580 tracionando transbordo Santal e cavalo mecânico Scania 112 tracionando duas carretas apropriadas para o transporte de cana picada.

A Usina forneceu também veículos de apoio para acompanharem o ensaio um caminhão tanque (com água e um canhão hidráulico), um guincho montado num Trator Massey Ferguson 285, um comboio que abastecia os veículos antes do início diário do trabalho de campo, um caminhão com oficina e outro com borracharia.

A colhedora realiza, em seqüência, o corte dos ponteiros e o corte basal, fraciona os colmos em rebolos, realiza uma limpeza parcial de matéria estranha (terra, ponteiros, folhas, palhas, etc.) por gravidade e por fluxo de ar e descarrega o material diretamente na carreta de transbordo (RIPOLI, 1996).

Utilizou-se uma colhedora CAMECO (fabricada em 1999) com motor CAT 3306 de 325 hp, de rodado de esteira, conforme mostrado na Figura 1.



Figura 1 - Colhedora CAMECO CH2500 com rodado de esteira

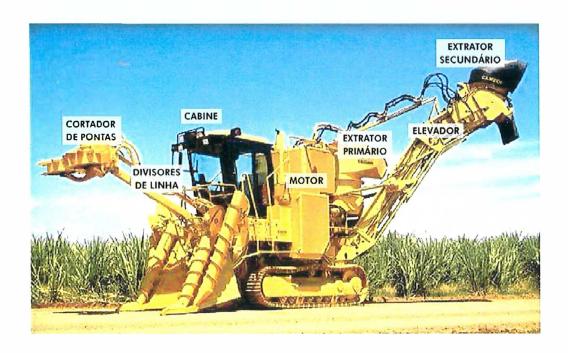


Figura 2 - Modelo Cameco similar ao do ensaiado, identificando os sistemas que compõem a colhedora. Fonte: <a href="www.cameco.com.br">www.cameco.com.br</a>



Figura 3 - Conjunto de transbordo Santal tracionado por trator Valmet 1580.

# 3.1.3 Instrumentos de mensuração

Para medição de distâncias, comprimentos, demarcação de áreas, determinação de massas e tempos, utilizaram-se os seguintes equipamentos:

- trena de fibra, marca Eslon, com capacidade de 20m e leitura de 5x10<sup>-2</sup> m;
- Cronômetros eletrônicos de acionamento manual, fabricação Casio,
   com capacidade de leitura de 10<sup>-2</sup>s;
- Célula de carga marca alfa, com capacidade de carga de 500kg e de leitura de 10<sup>-3</sup>kg (Figura 13);
- Balança móvel VESTA modelo 3402A, cada uma com capacidade de 4000kg, leitura digital com precisão de 2kg. Foram utilizadas quatro (Figura 6);
- Transformador de voltagem de 110V para 12V;
- Trena Stanley de 3m/10 polegadas, menor leitura de 5x10<sup>-4</sup>m.

Para determinação das umidades do solo e do palhiço foram utilizadas uma balança analítica e uma estufa, que são apresentadas pelas Figuras 4 e 5 respectivamente.





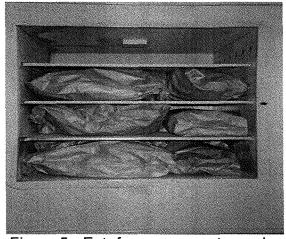


Figura 5 - Estufa com amostras de palhiço coletados no ensaio

Para determinação da massa colhida em cada repetição utilizaram-se balanças móveis (4 peças com capacidade de 4 toneladas, cada), posicionada sob os pneus do transbordo, com leitura de 2kg, conforme pode ser vista na Figura 6. Para se determinar a transferência de peso da carga do transbordo para o trator pesou-se a última repetição do tratamento T1 com o transbordo desengatado. Dessa forma foi possível determinar a transferência de peso (APÊNDICE) que ocorria em todas as pesagens e corrigi-las.



Figura 6 – Balanças sob os rodados e "display" de leitura no mesmo plano

## 3.2 Métodos

De acordo com Ripoli (1996), o ensaio de máquinas agrícolas visa à obtenção de informações que possibilitem aos envolvidos com a mecanização agrícola adotar critérios racionais para tomada de decisões.

As variáveis analisadas são listadas a seguir:

- Capacidade Efetiva Bruta de matéria-prima (t.ha<sup>-1</sup> e t.h<sup>-1</sup>);
- Índice de terra na matéria-prima It (%);
- Índice de ponteiros na matéria-prima IP (%);
- Índice de folhas e palhas na matéria-prima IF (%);
- Índice de perdas na soqueira (%);
- Índice de matéria estranha mineral IM (%);
- Índice de matéria estranha total IT (%);

- índice de perdas de colmos e frações (%);
- Frequência de comprimento dos rebolos;
- Índices de perdas de rebolos (%);
- Índice de cisalhamento dos rebolos lz (%);
- Qualidade tecnológica da matéria-prima;
- Eficácia de manipulação.

# 3.2.1 Caracterização das condições do canavial

A caracterização do estado de acamamento do canavial foi efetuada segundo Ripoli et. al. (1978).

Foram tomadas doze áreas, ao acaso, no talhão em estudo, posicionando-se o gabarito com formato de triângulo retângulo (Figura 7) sobre o solo ao longo da fileira de cana, procedendo a contagem e as anotações do número de colmos eretos, acamados e deitados.

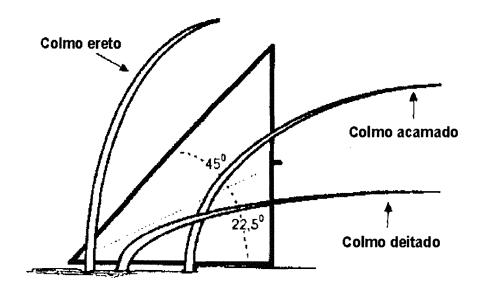


Figura 7 - Triângulo padrão para avaliação quanti-qualitativa do porte do canavial. De RIPOLI et al (1977)

Sendo considerados colmos eretos aqueles com ângulo superior ou igual a 45°, colmos acamados entre os ângulos de 45° e 22,5°, e colmos deitados com ângulos inferiores a 22,5°, em relação ao plano do terreno.

# 3.2.2 Procedimento experimental

O ensaio foi realizado com 8 repetições para cada tratamento. Sendo o tratamento T1, com todos os mecanismos da parte industrial da colhedora em funcionamento e o tratamento T2, operando com o despontador ligado e todos os mecanismos de limpeza da colhedora desligados.

O despontador foi mantido em funcionamento uma vez que as pontas da cana-de-açúcar (ponteiros), por ter em, aproximadamente, 34,34% de água (Molina Jr, 1991), e não são do interesse para Usina, tanto no tocante à sacarose como na questão energética.

O tratamento T1 percorreu distâncias de 200 m por repetição e o tratamento T2, 160 m. Uma vez que o tratamento T2 recolhia um volume maior, pois era colheita integral, adotou-se uma distância menor para facilitar a tomada de amostras dentro do transbordo.

Assim que era encerrada a descarga nivelava-se a colhedora desligavase o motor e após estabilização do medidor de combustível era feita à leitura do volume consumido pela operação, como pode ser visto na Figura 8.

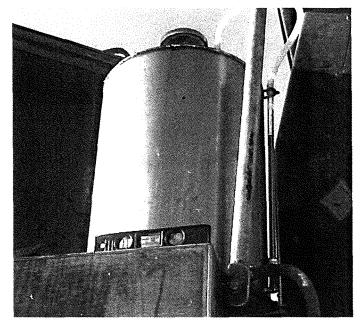


Figura 8 – Dispositivo medidor de consumo de combustível, com bureta graduada

A Figura 8 mostra ainda um nível de bolha utilizado para aferir a condição ideal de nivelamento para leitura do consumo de combustível, em cada repetição.

A velocidade de deslocamento da colhedora, em operação, foi determinada pela medição do tempo decorrido dentro de cada parcela (200 m para o tratamento T1 e 160 m para o tratamento T2). A máquina iniciava seu deslocamento aproximadamente 2 m antes do ponto de início de leitura, a fim de estabilizar sua velocidade (a 2100 rpm, em primeira marcha média) e o acionamento de seu sistema de manipulação de matéria-prima. Ao passar pela marca de início, o cronômetro era acionado até a marca do final da medição, onde parava o cronômetro do percurso e acionava-se o cronômetro de descarga da colhedora.

Uma pessoa posicionada no local de início sinalizava o começo da operação na parcela e outra pessoa de posse do cronômetro, posicionada no

final da parcela começava a contar o tempo, o qual se encerrava quando a máquina passava pelo ponto final da medição.

Ao iniciar a colheita na parcela, a colhedora era acompanhada por um veículo de transbordo, que recebia a matéria-prima, possuindo em seu interior dois recipientes de metal (tambores, de tara conhecida) que serviram de amostradores para determinação da qualidade da matéria-prima colhida, (Figura 11).

O ensaio foi conduzido de acordo com a metodologia proposta por Molina Jr. (2000).



Figura 9 - Colhedora posicionada no inicio da parcela



Figura 10 - Vista do ensaio durante a execução de uma repetição do tratamento T1

O veículo de transbordo aguardava parado, no final da parcela, ao lado da máquina enquanto todo o material colhido, ainda no interior da colhedora, fosse descarregado. Ao final do processo, o veículo de transbordo dirigia-se ao posto de trabalho, sendo pesado, como mostra a Figura 6 e dele retirados os tambores amostradores de matéria-prima. O conteúdo de cada tambor foi separado nas seguintes frações: rebolos perfeitos, rebolos mal cisalhados, palhas verdes, ponteiros e terra.



Figura 11 - Tambor sendo retirado do transbordo por um guincho hidráulico



Figura 12 - Separação da matéria prima colhida, em um das amostragens

Cada uma destas frações, ao final das separações, tinha sua massa determinada a qual foi, posteriormente, transformada em percentagem parcial em relação ao total de matéria estranha. As frações de rebolos contribuem para identificar a qualidade da colheita.

Após a separação de cada fração da matéria prima contida no tambor efetuou-se a determinação da massa utilizando-se uma célula de carga suspensa em um suporte (Figura 14) mostra.

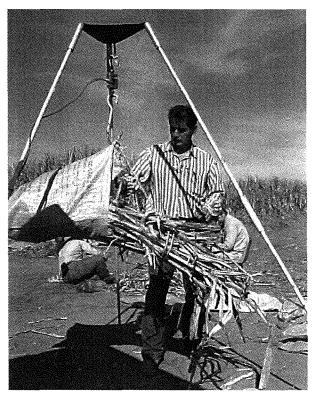


Figura 13 - Determinação da fração de massa de colmos inteiros não colhidos pela máquina, ou seja, perdas de matéria-prima

A figura 13 mostra a determinação da fração da massa de colmos inteiros, deixados pela colhedora no campo em uma dada repetição do tratamento T 1.

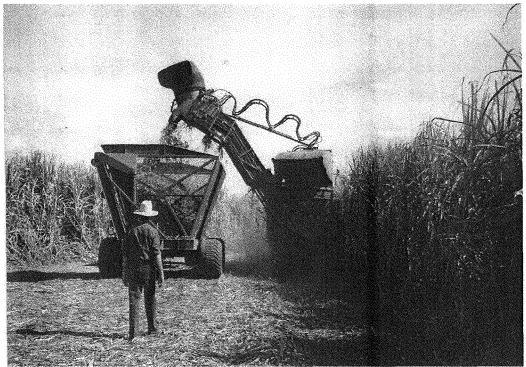


Figura 14 - Ensaio em andamento no tratamento T1

Após a colheita de cada fileira, em cada repetição, foram demarcadas seis áreas de amostragem de perdas de colheita, ao acaso, nos 200m de comprimento do Tratamento 1 e nos 160m do Tratamento 2. As áreas tinham dimensão de 3 metros de extensão na fileira de plantio e 3,5 metros das linhas de plantio adjacentes (ou seja, 7 metros de largura), portanto com área de 21 m². A amostragem de tal área, nas linhas adjacentes àquela colhida, teve o intuito de apurar perdas de frações de colmos lançadas à distância pelos órgãos de limpeza (principalmente ventiladores-exaustores), como também eventuais perdas provocadas por desajuste operacional entre os operadores da colhedora e do comboio do transbordo. Todo o material existente dentro das áreas de amostragem foi retirado, acondicionado em sacos e levados para área de separação de pesagem a fim de apurar-se as perdas na colheita. A Figura 15 apresenta uma das áreas de amostragem durante uma repetição e Figura 16 mostra o recolhimento após a passagem da colhedora.



Figura 15 - Área de amostragem de uma repetição do Tratamento T1, antes da passagem de máquinas na fileira de plantio



Figura 16 - Recolhimento do material eliminado pela máquina durante uma dada repetição do Tratamento T1

### 3.2.3 Consumo de combustível

Usando-se um tanque extra (um tanque com bureta do lado de fora – com vasos comunicantes – da cabine e acima do tanque da colhedora) fez-se a leitura da bureta, consumo por repetição, com precisão 100mL e leitura até 50 mL, segundo recomendação de Ripoli (1996).

A calibração da bureta determinou que o espaço entre cada intervalo de leitura era equivalente a 113,6mL. A calibração foi feita no laboratório de Máquinas Agrícolas da Esalq, colocando-se um volume de água conhecida na bureta e fazendo-se a leitura, repetindo-se o processo e utilizando a equação apresenta abaixo:

$$V_{corrigido} = (113,6 . V_{lido}) / 100$$

Onde:

V<sub>corrigido</sub> = valor real de combustível consumido;

V<sub>lido</sub> = valor lido na bureta durante o ensaio;

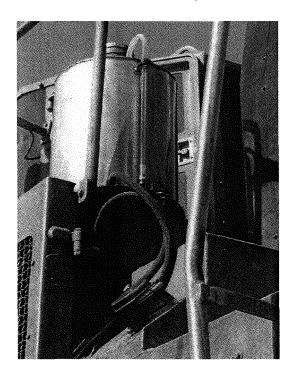


Figura 17 – Posicionamento do medidor de consumo de combustível na colhedora

Para evitar erros na leitura, tomou-se o cuidado de nivelar a plataforma da máquina através da utilização um nível, desligar o motor, esperar estabilizar o volume apresentado na bureta e então ser efetuada a leitura do consumo por repetição. A Figura 17 apresenta o detalhe da conexão vedada, feita entre o reservatório e o tanque da colhedora.

Durante todas as repetições, o tanque da colhedora permaneceu cheio, sendo consumido apenas o combustível do reservatório.

## 3.2.4 Umidade do solo e granulometria

A umidade do solo afeta diretamente, a quantidade de terra arrastada com o material colhido.

Para esta determinação, foram coletadas dez amostras, ao acaso, à profundidade de 0 a 10cm próximas das fileiras de plantio.

As amostras coletadas foram armazenadas em latas de alumínio e seladas com fita adesiva, a fim de evitar-se perda de umidade.

Usou-se o método gravimétrico padrão, com base em massa da amostra seca em estufa à temperatura de 105 a 110 graus centígrados, por 24 horas, conforme Kiehl (1979).

A partir das mesmas amostras citadas, misturou-se e homogeneizou-se as amostras originais e através do método de Steel & Bradield (1934) determinou-se a classe textural do solo.

## 3.2.5 Avaliação do desempenho operacional da colhedora

Ripoli (1996), citando vários autores, define as variáveis avaliadas em um ensaio de colhedora de cana-de-açúcar.

A qualidade tecnológica da matéria prima caracteriza o padrão de qualidade do produto colhido. Nas canas coletadas por máquinas, devem ser avaliadas a porcentagem de Brix, que deve ter um valor mínimo de 18%, a porcentagem de Pol, que deve estar entre 14,4 e 15,3% e a porcentagem da pureza, que deve estar entre 80 e 85%, os valores destes dois últimos

parâmetros são mínimos para o início e o fim da safra, de acordo com Stupiello et al (1971).

A Figura 18 mostra frações de rebolos esmagados de uma das repetições do tratamento T1, separada antes da pesagem.



Figura 18 - Rebolos esmagados durante a operação de colheita

# 3.2.6 Qualidade tecnológica da matéria prima

Para a análise tecnológica de matéria-prima colhida, foram retiradas amostras pela sonda do laboratório de pagamento de cana pelo teor de sacarose da usina (Figura 19).



Figura 19 - Amostra sendo retirada pela sonda, do material colhido de um dado tratamento



Figura 20 – Amostra obtida pela sonda sendo colocada em sacaria plástica para posterior separação

# 3.2.7 Análise estatística

O delineamento experimental foi realizado com oito repetições e dois tratamentos, sendo os dados obtidos em campo submetidos à Análise de Variância e ao Teste "F" a 5% de significância, de acordo com Duarte & Aquino (1986).

# **4 RESULTADOS E DISCUSSÃO**

# 4.1 Condições do canavial, teor de água no solo e granulometria

A Figura 21 apresenta os dados determinados e que caracterizam o porte do canavial. Conforme Ripoli (1996) a condição que apresentar maior percentagem definirá o porte do canavial, o canavial estudado apresentou 47,08% na posição ereta. Portanto, caracterizou-se o canavial como ereto.

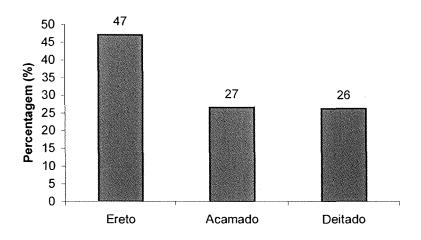


Figura 21 – Porte do canavial ensaiado

A umidade do solo da área onde ocorreu o ensaio, variou de 4,5 a 6,8%, com média de 5,3% para o tratamento T1 e de 3,9 a 5,8% para o tratamento T2, com média de 4,8% .

A análise granulométrica do solo apresentou, para a área ensaiada, 20% de argila; 23% de silte e 57% areia.

A produtividade total do canavial ensaiado foi de 94,7t.ha<sup>-1</sup>, para colmos industrializáveis, o que, segundo Ripoli (1996), está dentro das condições ideais para realização do ensaio.

Esta condição de campo foi inferior as encontradas por Nery (2000), Molina Jr. (2000), Carvalho Filho (2000) e De León (2000), os quais trabalharam com produtividade de colmos industrializáveis de 145,4 t.ha<sup>-1</sup> e produtividade total de 176,3 t.ha<sup>-1</sup>. Estes valores alcançam diferenças de 34,65% e 30,93% para as produtividades de colmos industrializáveis e total.

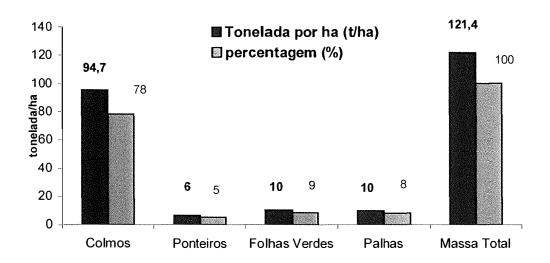


Figura 22 – Caracterização da produtividade agrícola da biomassa aérea do canavial onde ocorreu o ensaio

# 4.2 Desempenho operacional

# 4.2.1 Capacidades efetivas bruta e líquida

Conforme apresentado na Tabela 21, são apresentados os resultados da Anava (análise de variância) e Teste "F".

As capacidades efetivas bruta e líquida apresentaram diferença significativa pela análise estatística, bem como a velocidade desenvolvida em cada um dos tratamentos apresentou diferenças significativa.

Um dos interesses da colheita integral é saber a quantidade de matériaestranha carregada para a usina. Esta variável não apresentou diferença significativa entre os dois tratamentos, mesmo com todo sistema de limpeza da colhedora estando desligado no tratamento T2.

Tabela 21 – Resultados da análise de variância e teste "F"

	Q. M.	1		Valor de "	F"
Causas	T1	T2	Delta	Dif. Mé	Significativo
Cap. Efet Bruta (t.ha <sup>-1</sup> )	3579	1987	7,91	14,87	Sim
Cap. Efet. Líquida(t.ha <sup>-1</sup> )	3220	1945	7,9	12,2	Sim
Consumo (L.h <sup>-1</sup> )	7155	2665	14,5	31,3	Sim
Consumo (L.h <sup>-1</sup> )	2,3	1,4	0,41	0,28	Não
Velocidade (m.s <sup>-1</sup> )	30	13	028	1,86	Sim
An. Tecn. Miner. (kg.t <sup>-1</sup> )	83	1389	12,3	-26	Não
Efic. de Manipulação (%)	8695	9782	1,1	-4,2	Não
Total de rebolos (t)	8,0	0,0	0,2	0,7	Sim
Perdas totais (t)	14	00	1,1	3,0	Sim

Cap. Efet.= Capacidade Efetiva; Líq. = líquida; An. Tecn. Miner.= Análise Tecnológica Mineral; Efic. = eficiência

Em relação às perdas da colheita, ocorreram diferenças significativas entre os tratamentos, isto pode indicar que os mecanismos de limpeza, principalmente o exaustor, devem ser uma das maiores fontes de perdas na colheita mecanizada.

O consumo de combustível houve uma avaliação distinta, pois para colher uma tonelada de cana não houve diferença significativa, porém a quantidade de combustível gasto por hora apresenta diferença significativa, entre tratamentos.

A Figura 23 apresenta os valores da capacidade efetiva bruta (t.ha<sup>-1</sup>) nos tratamentos T1 e T2.

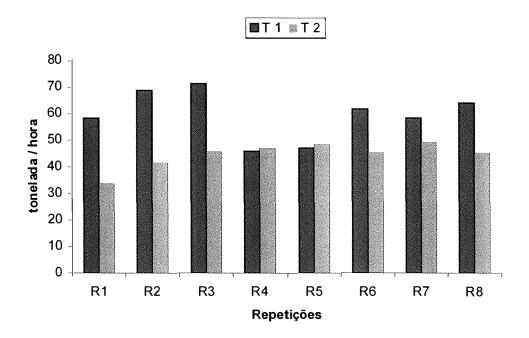


Figura 23 – Variação da Capacidade efetiva bruta nas 8 repetições de cada tratamento estudado (t.h<sup>-1</sup>)

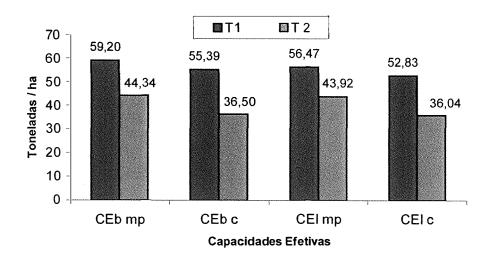


Figura 24 – Resultados médios obtidos de: Ceb mp= capacidade efetiva bruta;

Ceb c= capacidade efetiva bruta de rebolos e/ou suas frações; CEI

mp= capacidade efetiva líquida; CEI c= capacidade efetiva líquida de

rebolos e/ou suas frações

A Figura 24 mostra as capacidades efetivas bruta de matéria-prima, bruta de rebolos e/ou suas frações, líquida de matéria-prima e líquida de rebolos e/ou suas frações para ambos tratamentos.

A média da capacidade efetiva bruta foi para T1, de 59,20t.h<sup>-1</sup> e para T2 44,34t.h<sup>-1</sup>, isto representa uma diferença de 33,5% para capacidade efetiva bruta e 28,6% para líquida.

Os resultados aqui obtidos foram distintos dos encontrados na bibliografia (Figura 25). Cabe recordar que as velocidades utilizadas por outros autores foram diferentes dos aqui adotados e que as condições de campo também foram bastante diferente.

■ Capacidade Efetiva Bruta Capacidade Efetiva Líquida

#### 90 <sup>79,82</sup> 74,69 79,74 73,74 74.08 80 70 59,256,47 58,54 57,04 Tonelada / h 60 44,3443,49 50 40 30 20 10 0 T2 Molina Jr De León T1 Nery Carvalho 2000 2000 2000 Fo. 2000

Figura 25 – Comparação das capacidades efetivas bruta e líquida (t.h<sup>-1</sup>) obtidas no ensaio com outros autores

Comparando-se com o trabalho de Nery (2000), o presente trabalho apresentou-se satisfatório, uma vez que os tratamentos T1 e T2 foram realizados em uma área com uma produtividade total de aproximadamente 31% menor, considerando-se o método de Ripoli (1996).



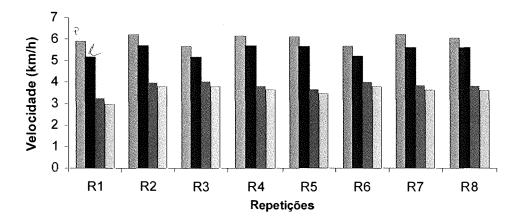


Figura 26 – Velocidades desenvolvidas em cada tratamento, considerando o tempo de descarga e o tempo do percurso

Uma vez que a capacidade efetiva bruta é função da velocidade, conforme Rozeff (1989), pela Figura 26 observa-se as diferenças entre as velocidades dos dois tratamentos, consequentemente explica-se a diferença apresentada no ensaio nos parâmetros de capacidades efetivas.

Como descrito na Metodologia, foram cronometrados os tempos do percurso e o tempo de descarga do material colhido ao longo do percurso. Essa diferença de tempo é demonstrada na Figura 26.

#### 4.2.2 Consumo de combustível

A Figura 27 mostra o consumo de combustível por tonelada colhida (L.t<sup>-1</sup>), comparando – se ao resultado obtido por Nery (2000).

Os resultados obtidos no tratamento T2 foram muito próximos aos conseguidos por Carvalho Filho (2000) e Nery (2000), mesmo com velocidade e capacidade efetiva bruta inferiores, com um consumo de combustível por tonelada inferior a T1 e aos autores comparados.

Analisando-se os dois tratamentos, era esperado que T1 consumisse mais que T2, pois trabalhou com toda parte industrial da colhedora funcionando. Ripoli et al (2001), Molina Jr. (2000), Carvalho Filho (2000), De Leon (2000), Furlani Neto trabalharam com colhedoras de menor potência e com sistema de rodado de pneus, em condições de campo diferentes.

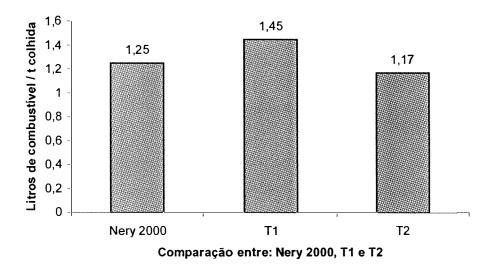


Figura 27 – Comparação entre valores obtidos por Nery 2000 e os encontrados neste estudo: consumo de combustível por tonelada colhida de cana

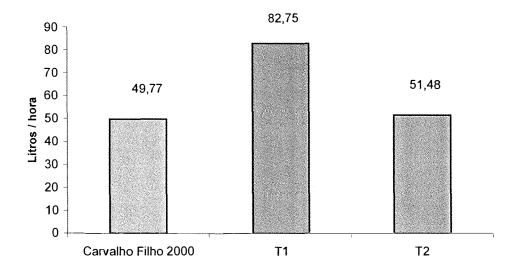


Figura 28 – Comparação do Combustível consumido por hora trabalhada (L.h<sup>-1</sup>) entre Carvalho Filho 2000 e os obtidos no presente trabalho

A análise estatística mostrou que houve diferença significativa entre os dois tratamentos na variável consumo combustível por hora, mostrando que o tratamento T2 consome menos combustível por hora. Porém, to consumo de combustível por tonelada de cana colhida não tem diferença estatística.

# 4.2.3 Eficácia de Manipulação

Os valores obtidos no ensaio confirmaram as expectativas iniciais, pois houve diferença significativa entre os resultados de matéria estranha, confirmou o de eficácia de manipulação.

a eficácia de manipulação apresentou diferença significativa pelo teste "F".

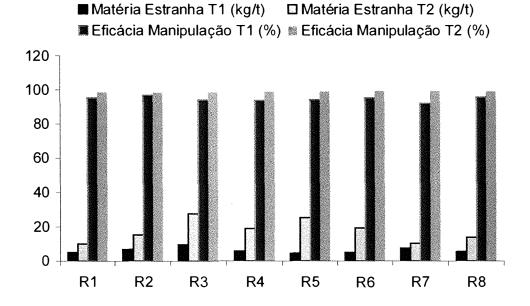


Figura 29 – Eficácia de manipulação em cada tratamento (barras maiores) e quantidade de matéria estranha por tonelada colhida para T1 e T2 (barras menores)

A Figura 29 apresenta os valores elevados de matéria estranha no tratamento T2 e sua eficácia de manipulação, também, maior do no tratamento T1, conforme verificada na análise estatística.

## 4.2.4 Frequência de comprimento de rebolos

De acordo com Fuelling (1982), o tamanho ideal para o comprimento de rebolos deve estar entre 0,20 e 0,25m, já que comprimentos fora dessa faixa aumentam a perda por deterioração e a quantidade de matéria estranha na matéria-prima.

Os histogramas das freqüências de comprimento de rebolos são apresentadas nas Figuras 30 e 31, onde se nota que ocorreu diferença entre os tratamentos. O comprimento em ambos os tratamentos apresentam-se fora da orientação de Fuelling (1982).

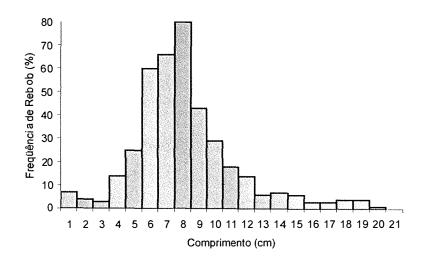


Figura 30 – Freqüência do comprimento de rebolos no tratamento T1

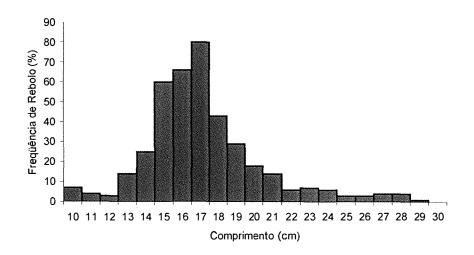


Figura 31 - Freqüência do comprimento de rebolos no tratamento T2

A frequência de comprimento de rebolo é importante para acomodação da carga a ser transporta para usina.

# 4.2.5 Perdas de matéria-prima

A análise estatística mostrou, tanto pela analise de variância como pelo teste "F", que há diferença significativa entre os dois tratamentos para a variável perdas de colmos inteiros.

No trabalho de Carvalho Filho (2000) a colhedora teve perda de colmos e frações de colmos de 2% a 4%, Irvine (1986) obteve uma perda maior de 2,0 a 10,0%.

As Figuras 32 e 33 apresentam as perdas de matéria-prima na colheita para os tratamentos T1 e T2, respectivamente.

A Figura 36 compara os resultados obtidos nos dois tratamentos junto com os resultados de outros autores da Revisão Bibliográfica.

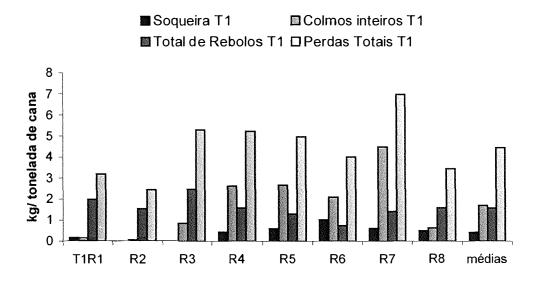


Figura 32 - Perdas no tratamento T1

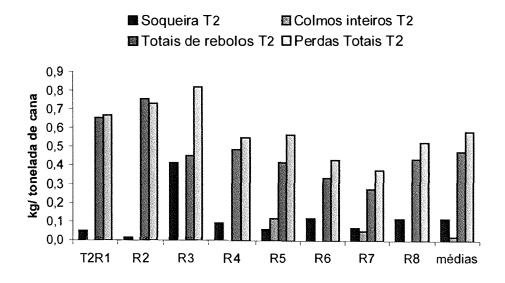


Figura 33 – Perdas no tratamento T2

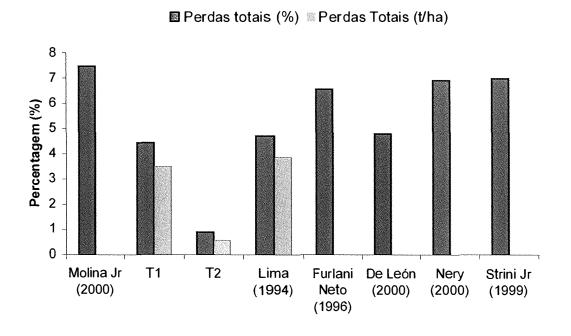


Figura 34 – Comparação dos resultados obtidos com outros autores

A Figura 34 mostra que as perdas tratamento T2 foram mínimas, 0,58 t.ha<sup>-1</sup> e 0,90%, e os valores obtidos pelo tratamento T1 foram inferiores a todos os trabalhos comparados. Uma vez que o sistema de limpeza estava desligado

o exaustor não lançou para o campo matéria prima junto com a palha no tratamento T2, desta forma eliminou-se a fonte de perda.

### 4.2.6 Índice de cisalhamento de rebolos

Os rebolos macerados em ambos os lados podem acelerar o processo de deterioração da matéria-prima, Fuelling (1982) a figura 31 apresenta o cisalhamento feito nos rebolos, na colheita no tratamento T2.

De León (2000) obteve resultados melhores no seu trabalho. Uma vez que houve uma admissão de material muito maior do que o normal, o próprio material com um volume de matéria estranha vegetal elevado, possivelmente, ocasiona uma injuria maior na matéria-prima

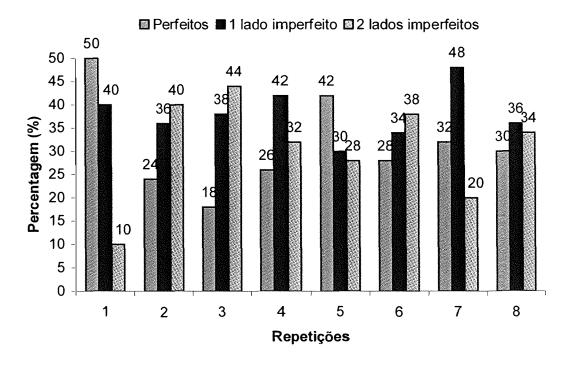


Figura 35 – Distribuição dos rebolos no tratamento T2, quanto ao tipo de cisalhamento ocorrido

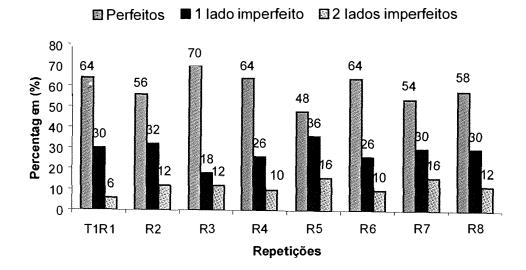


Figura 36 – Distribuição dos rebolos no tratamento T1, quanto ao tipo de cisalhamento ocorrido

As Figuras 35 e 36 apresentam resultados que se encontram ao recomendado por Ripoli (1996), o que caracteriza falta de sincronismo entre a velocidade com que os colmos atravessam a lâmina de corte e a velocidade angular desse órgão.

#### 4.2.7 Índices de palha, folhas, raízes e matéria estranha vegetal

A Figura 37 mostra que o tratamento T2 apresentou mais matéria estranha vegetal para a Usina, como se propôs a fazer.

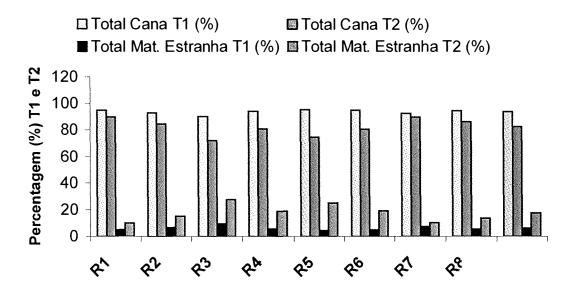


Figura 37 – O total de matéria estranha vegetal e total de cana, em cada tratamento

O tratamento T1 recolheu pouca palha e folhas verdes, por isso se fez necessário somar, ao contrário do Tratamento T2, como se apresentam as Figuras 36 e 37.

O tratamento T1 obteve um índice médio de 6,3%, de matéria estranha o que se comparando com Furlani Neto (1995) 5,59% de matéria estranha vegetal, Lima (1994) 5,5%, Nery (2000) 7,19%, Carvalho Filho (2000) 6,80%, não sendo muito diferentes dos índices encontrados em outros trabalhos.

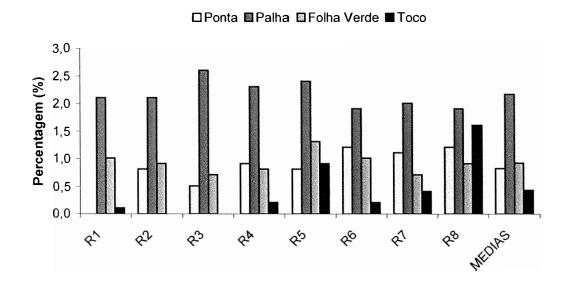


Figura 38 – O material recolhido no tratamento T2, juntamente com os rebolos

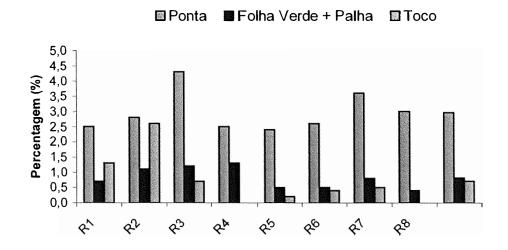


Figura 39 – Material recolhido no tratamento T1, juntamente com os rebolos

O tratamento T2 recolheu 2,8 vezes mais matéria estranha vegetal do que o tratamento T1.

### 4.2.8 Qualidade tecnológica da matéria-prima

A quantidade de matéria mineral levada para a indústria, pelos dois tratamentos, não apresentou diferença significativa, segundo o teste "F", isto é, mesmo com todo sistema de limpeza desligado, a matéria mineral levada para indústria independe o tratamento adotado.

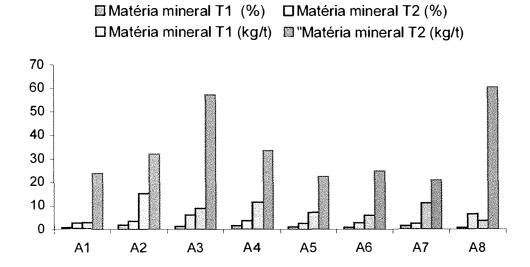


Figura 40 – Matéria mineral nos dois tratamentos, a escala do eixo vertical da esquerda é em percentagem e a da direita é dada em kg de matéria mineral por tonelada de matéria-prima

O tratamento T1 apresentou valores próximos aos de, Furlani Neto (1995) 0,46%, Moraes & Neves (1997) 0,5%, Strini Jr. (1999) 0,5%.

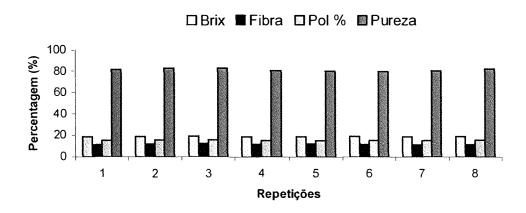


Figura 41 - Qualidade tecnológica da matéria-prima no tratamento T1

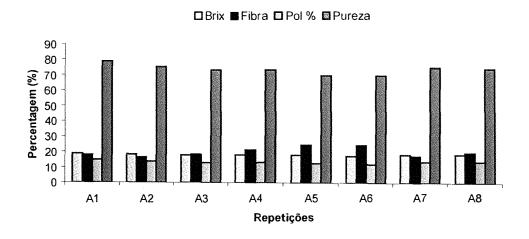


Figura 42 - Qualidade tecnológica no tratamento T2

De acordo com Stupiello et al (1971) para se iniciar e terminar uma colheita a percentagem em Pol deve estar entre 14,4 e 15,3 e pureza entre 80 e 85%, recomendam, ainda, que o Brix seja 18%. O canavial estava nas condições recomendada, somente a pureza do tratamento T2 estava abaixo, 74%, isto é, levou-se mais material que não é convertido em álcool ou açúcar, mais palha, folha verde e seca e outros materiais que formariam o palhiço.

### **5 CONCLUSÕES**

Com base nos resultados obtidos no presente estudo, pode-se concluir que:

O canavial utilizado estava adequado para colheita de cana crua.

A qualidade tecnológica da matéria-prima levada para a usina pelo tratamento T2, não diminuiu com a ausência do sistema de limpeza da colhedora.

A quantidade de matéria estranha mineral encontrada na matéria-prima do tratamento T2, não comprometeu a qualidade da matéria-prima.

O consumo de combustível por tonelada foi o mesmo para ambos os tratamentos, porém o consumo por hora trabalhada foi menor no tratamento T2.

Os mecanismos de limpeza desligados diminuíram as perdas de matériaprima no tratamento T2.

Ambos os tratamentos apresentaram comprimentos de rebolos fora das recomendações.

### REFERÊNCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- ABRAMO FILHO, J.; MATSUOKA, S.; SPERANDIO, M.L.; RODRIGUES, R.C. D.; MARCHETTI, L.L. Resíduos da colheita mecanizada de cana-crua **Álcool e Açúcar,** v. 67, p. 3-25, 1993.
- ANDRADE, E. N. O eucalipto. Jundiaí: Cia. Paulista de Estrada de Ferro, 1961. 667p.
- ANDRADE SILVA, G. M. Cana crua vs cana queimada: restrições técnicas e implicações sociais e econômicas. In: SEMANA DA CANA-DE-AÇÚCAR DE PIRACICABA, 2, Piracicaba, 1997. **Anais.** Piracicaba: STAB, 1997. p. 55-57.
- ARANHA, C.;YAHN, C.A. Botânica da cana-de-açúcar. In: PARANHOS, S. B., (Coord.) **Cana-de-açúcar:** cultivo e utilização. Campinas: Fund. Cargill, 1987. v. 1, cap. 1, p. 1-18.
- AROLA, R. A. **Wood fuels:** how do they stack up? Forest Products Research Society, 1976. 12p.
- ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS. Carvão vegetal: determinação de poder calorífico método de determinação; NBR- 8633. Rio de Janeiro, 1984. 13p.

- ATCHISON, J. E. Making bagasse available for pulp, paper, board, fiber board, particle board and other industrial products at what price equivalent fuel of bagasse and other fibrous raw materiels as compared to fossil fuels. In: INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECHNOLOGISTS, 16., São Paulo, 1977. **Proceedings.** São Paulo: COPERSUCAR, 1977. v. 2, p.3129-3144
- AYALA, H.G.; DELFÍN, A.; BRAVO, D. Influencia del tipo de cosecha da caña de azucar sobre las perdidas de sacarose en fabrica. In: ESTACION EXPERIMENTAL AGRÍCOLA DE TUCUMÁN. Cosecha mecánica. Tucumán, 1972. p 1-5, (Publicación Miscelánea, 53).
- BALASTREIRE, L.A. Determinação do ponto de renovação de frotas mecanizadas. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos,** v. 13, n. 3, p. 31-34, jan./fev. 1995.
- BALASTREIRE, L.A.; GOMES, E.S.; LOPES, M.B. Gerenciamento de operações agrícolas mecanizadas. In: <u>CICLO DE ESTUDOS SOBRE MECANIZAÇÃO AGRÍCOLA</u>, 4., Campinas, 1990. Campinas: Fundação Cargill, 1990. p.196-209.
- BALBO, L. Análise de viabilidade técnico-econômica do sistema de colheita mecanizada de cana. In: ENCONTRO TÉCNICO: COLHEITA MECANIZADA DA CANA-DE-AÇÚCAR, Ribeirão Preto, abril, 1992. p. 185-204.
- BELODI, C.O. Processamento de cana sem desponte; experiência da açucareira Quatá. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos,** v.6, n.3, p. 41-48, abr/maio, 1988.

- BINI, A.; SOUZA, L.G. A economia nos custos energéticos decorrente do aproveitamento da biomassa. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHERIA AGRÍCOLA, Anais, Viçosa, 1995, 24, p.145..
- BOHM, G.M. Queima de cana-de-açúcar e saúde humana, STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos, v. 16, n. 4, p. 40-41, mar/abr. 1998.
- BOIN, C.; MATTOS, W.R.S.; D'ARCE, R.D. Cana-de-açúcar e seus subprodutos na alimentação de ruminantes. In: PARANHOS, S. B., (Coord.)

  Cana-de-açúcar: cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987.
  v. 1, cap. 2, p. 805-850.
- BONINE JUNIOR, P.A. Colheita mecanizada em cana-de-açúcar: viabilidade operacional e econômica. In: CONGRESSO NACIONAL DA SOCIEDADE DOS TÉCNICOS AÇUCAREIROS E ALCOOLEIROS DO BRASIL, 5., Águas de São Pedro, 1993. **Anais.** Piracicaba: STAB, 1993, p. 186-191.
- BRASIL. Leis, Decretos, etc. Decreto número 42.056 de agosto de 1997. **Diário Oficial do Estado de São Paulo,** 06 de agosto de 1997. Seção 1, p. 3-4.

  Dispõe sobre o uso, conservação e preservação do solo agrícola para o Estado de São Paulo.
- BRITO, J.O.; BARRICHELLO, L.E.G. Aspectos técnicos na utilização da madeira e carvão vegetal como combustíveis. In: SEMINÁRIO DE ABASTECIMENTO ENERGÉTICO INDUSTRIAL COM RECURSOS FLORESTAIS, 2., São Paulo, 1982. **Anais.** São Paulo: Secretaria de Ciência e Tecnologia, 1982. p. 101-108.

- CALDEIRA, D.S.A. Palha residual de cana-de-açúcar (Saccharum spp) colhida mecanicamente (sem queima prévia): manejo, fertilização, influência no perfilhamento e produtividade da cultura. Botucatu, 2002. 93p. Dissertação (Mestrado) Faculdade de Ciências Agronômicas, Universidade Estadual Paulista "Júlio de Mesquita Filho".
- CÂMARA, G.M.S.; OLIVEIRA, E.A.M. **Produção de cana-de-açúcar.** Piracicaba: ESALQ; FEALQ, 1993. 242p.
- CARVALHO, J.F. Madeira como fonte de energia. **Brasil Florestal,** v.5, n.17, p.5-6, jan./mar. 1974
- CARVALHO FILHO, S.M. Colheita mecanizada: desempenho operacional e econômico em cana sem queima prévia. Piracicaba, 2000. 137 p. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE COLOMBIA. Cali, v. 17, n.4, out/dez. 1995, p.17-28.
- CENTRO DE INVESTIGACIÓN DE LA CAÑA DE AZÚCAR DE COLOMBIA. Cali, v.19, n. 1, jan/abr. 1997, p. 7-10.
- CERQUEIRA LUZ, P.H.; ALOISI, R.R. Influência das colheitas manual e mecânica sobre o rendimento industrial da cana-de-açúcar. Álcool & Açúcar, v.11, n. 58, p. 24-27, maio/jun., 1991.
- CURY, R. Desempenho operacional de colhedoras na Usina Santa Helena. In: SEMANA DA CANA-DE-AÇÚCAR DE PIRACICABA, 4., Piracicaba, 1999. Anais. Piracicaba: SACCHARUM, 1999. p. 48-49.

- DE LÉON, M. J. Avaliação de desempenho operacional de duas colhedoras em cana (*Saccharum spp*) crua. Piracicaba, 2000. 111p. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- DELGADO, A.A. Os efeitos da queima dos canaviais. STBA. Açúcar, Álcool e Subprodutos, v. 3, n. 6, p.42-45 jul./ago. 1985.
- DEMATTÊ, J.L.I. Manejo dos solos ácidos dos trópicos úmidos, região amazônica. Campinas: Fundação Cargill, 1998. 215p.
- DOAT, A. Lês pouvoir calorifique des bois tropical. **Bois et Forest des Tropiques**, v. 172, p. 33-42, 1977.
- DUARTE, G.S.; AQUINO, L.H. Curso de estatística experimental. Lavras: ESAL, Departamento de Ciências Exatas, 1986. 91p.
- DUDLEY, S.; HUMBERT, R.P.; FRAZER, T.B. La limpeiza de la caña en Puerto Rico, Sugar y Azucar. New York, 65: 57-59, 1970
- FERNANDES, A.C.; OLIVEIRA, E.R. Impurezas em carregamento de cana-deaçúcar. Piracicaba (SP): **Boletim Técnico Copersucar,** n. 5, set., p. 5-8, 1977a.
- FERNANDES, A.; OLIVEIRA, E.R. Sugar cane trash measurements in Brazil. In: Proc. XVI ISSCT cong. São Paulo. 1977b. V. II, p 1963-1973

- FERNANDES, A. C.; IRVINE, J. E. Comparação da produtividade da cana-deaçúcar por colheita mecanizada e por corte manual. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos.** v. 4, n. 6, jul./ago. p. 112-26, 1986.
- FERNANDES, A.C. Desempenho da agroindústria da cana-de-açúcar 1977. Piracicaba: Centro de Tecnologia da Copersucar, 1998. 32 p.
- FUELLING, T.G. Sugar cane harvester design. **Proceedings of Australian**Society of Sugar Cane Technologists, n. 5, p. 131 137. 1982
- FURLANI NETO, V.L. Incidência da matéria estranha e perdas no campo nos processos de corte manual e com colhedoras em cana-de-açúcar (Saccharum Spp). Piracicaba, 1984. 120p. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- FURLANI NETO, V.L. Colheita mecanizada de cana-de-açúcar. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos,** v.3, n.12, p.8-9, 1994.
- FURLANI NETO, V.L. Colhedora de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*): avaliação em canaviais com e sem queima prévia. Piracicaba, 1995. 110 p. Tese (Doutorado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- FURLANI NETO,V.L.; RIPOLI, T.C.C.; VILLA NOVA, N.A. Colheita mecânica: perda de matéria prima em canaviais com e sem queima prévia. STAB. Açúcar, Álcool e subprodutos, v.14, n.6, p. 14 18 jul./ago. 1996.

- FURLANI NETO, V. L.; MONTEIRO, H. ;RIPOLI, T. C. C.; NOGUEIRA, R.R. Comparative analysis between green cane and burned cane: raw matter quality, cane losses, crop residue and chopper harvest performance. In: CONGRESS OF INTERNATIONAL SOCIETY OF SUGAR CANE TECNOLOGISTS, 20. São Paulo, 1989. **Proceedings.** São Paulo: ISSCT, 1989. v. 2, p. 1043 50.
- FNP CONSULTORIA & COMÉRCIO. **AGRIANUAL 2002:** anuário da agricultura brasileira, São Paulo, 2002. p. 249-273: Cana-de-açúcar.
- GOLDENBERG, J. Biomassa como fonte de energia. **Energia,** v.1, n.2, p.21-22, maio/jun. 1979.
- GOMES, F.P. **Curso de estatística experimental.** 6<sup>a</sup>. Piracicaba, Nobel, 1976. 430p.
- HUMBERT, R.P. **El cultivo de la caña de azucar**. México: Editorial Continental, 1974. 719 p.
- HURNEY, A.P.; RIDGE, D.R.; DICK, R.G. Evaluation of the efficiency of cane harvesters in removing extraneous matter and in limiting cane losses during the cleaning process. **Proceedings of the Australian Society of Sugar Cane Technologists, v.** 17, p. 782-799, 1994.
- KIEHL, E.J. **Manual de edafologia:** Relação solo-água-planta. São Paulo: Ceres, 1979. 264p.
- KIRCHHOFF, V.W.J.H. Queimadas na Amazônia e efeito estufa. São José dos Campos: INPE, 1992. 118p.

- KRONKA, P.F.B.; MONTEIRO, J.H. Desempenho operacional de colhedoras na Usina Iturama. In: SEMANA DE CANA DE PIRACICABA, 4. SECAPI, Piracicaba, 1999. **Anais.** Piracicaba:SACCHARUM, 1999. p.46-48.
- LEÃO, R.M. Álcool: energia verde. Piracicaba: Instituto de Qualificação Editora Ltda, 2002. 255p.
- LIMA, L.O.T. Fatores que influenciam na colheita mecânica. In: SEMINÁRIO DE COLHEITA MECÂNICA, 1., Ribeirão Preto, 1994.
- LIMA, L.O.T. Custo da colheita mecanizada. STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos, v. 16, n.4, p.29-30, mar./abr., 1998.
- LOPES, M.B. Simulação de um sistema de carregamento e transporte de canade-açúcar. Piracicaba, 1995. 143 p. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MACEDO, I.C. Energia da cana-de-açúcar no Brasil In:SUSTENTABILIDADE NA GERAÇÃO E USO DE ENERGIA NO BRASIL. Campinas, 2002
- MAGALHÃES, P.S.G.; BRAUNBECK, O.A. Colheita de cana-de-açúcar verde: energia renovável par agricultura sustentável. Campinas-SP: Agrobrasil, 1999. <a href="http://www.agrobrasil.com.br/agroartigos/">http://www.agrobrasil.com.br/agroartigos/</a>, (12 de maio 2003).
- MARANHÃO, L.E. Secagem de bagaço. In: **Avaliação do bagaço de canade-açúcar.** São Paulo: SOPRAL, 1983. p. 40 48.

- MIALHE, L.G.; CARRARO, H.C. Avaliação e análise do desempenho da colhedora de cana-de-açúcar, Olímpia: Usina Cruz Alta de Olímpia S.A., 1993. 170p. (Relatório Técnico).
- MOLINA Jr, W. F. Enfardamento de resíduos de colheita de cana-de-açúcar (Sccharum spp): avaliação dos desempenhos operacional e econômico. Piracicaba, 1991. 101p. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- MOLINA Jr, W. F. Desenvolvimento de metodologia descritiva para ensaio padronizado de coihedoras de cana-de-açúcar (*Saccharum spp*). São Carlos, 2000. 138 p. Tese (Doutorado) Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo.
- MOLINA Jr, W.F.; RIPOLI, T.C.C.; GERALDI, R.N.; AMARAL, J.R. Aspectos econômicos e operacionais do enfardamento de resíduos de colheita de cana-de-açúcar para aproveitamento energético. STAB, Açúcar, Álcool e Subprodutos, v.13, n.5, p.28-31, maio/jun, 1995
- MOLINA JR, W.F.; RIPOLI, T.C.C.; MIALHE, L.G.; CANALE, A.C.; RIPOLI, M.L.C. Comparative study of operational performance of three hervesters in green cane. In: 2001 ASAE International Annual Meeting, Sacramento, 2001
- MORIM, D.J. La cosecha de la caña de azucar in Tucumán. In: SEMINÁRIO INTERNACIONAL SOBRE MECANIZACION DE LA COSECHA DE CANÃ DE AZUCAR, Maracay. 1976. 24p
- NERY, M.S. Desempenho operacional e econômico de uma colhedora em cana crua. Piracicaba, 2000. 108p. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.

- NOA, H. La caña de azúcar como base de um desarollo agro-inudstrial, postenible. In: CONFERÊNCIA MUNDIAL SOBRE DESENVOLVIMENTO E O MEIO AMBIENTE. Rio de Janeiro, 1992. p.12-15.
- NORRIS, C.P.; DAVIS, R.J.; QUICK, D.J.; MOHOMMAD, Y. An alternative approach to cane harvester design: na initial review of the Massey Ferguson 405. **Sugar Cane**, n.20, p. 10 16, 1998.
- OLIVEIRA, E.R. Bagaço da cana: um combustível que ainda não recebeu a devida atenção. **Álcool e Açúcar**, v. 2,n. 4, p. 10 19, maio/jun. 1982
- PAYNE, J.H. Sugar and energy losses in burned cane. **International Sugar Journal**, v. 88, n. 1054, p. 191-2, Oct. 1986.
- PAYNE, J.H. Umidade do bagaço. Operações unitárias na produção de cana. São Paulo: Nobel, 1989. p.73-6.
- PEIXOTO, A.A.; DELGADO, F.R.M.C.R. Manejo da colheita: I Rendimento de corte e embarque, com o corte em eitos de 5 e 7 linhas. **Brasil Açucareiro**, v. 106, n.2, p. 18 21, 1988a.
- PEIXOTO, A.A.; DELGADO, F.R.M.C.R. Manejo da colheita: Il Índices de impurezas na matéria-prima, com o corte em eitos de 5 e 7 linhas. **Brasil Açucareiro**, v. 106, n.3, p. 18 -21. 1988.
- PERRONE, J.C. Os processos hidrolíticos no aproveitamento dos recursos renováveis. **Silvicultura**, ed especial., p. 23-33, dez. 1977.

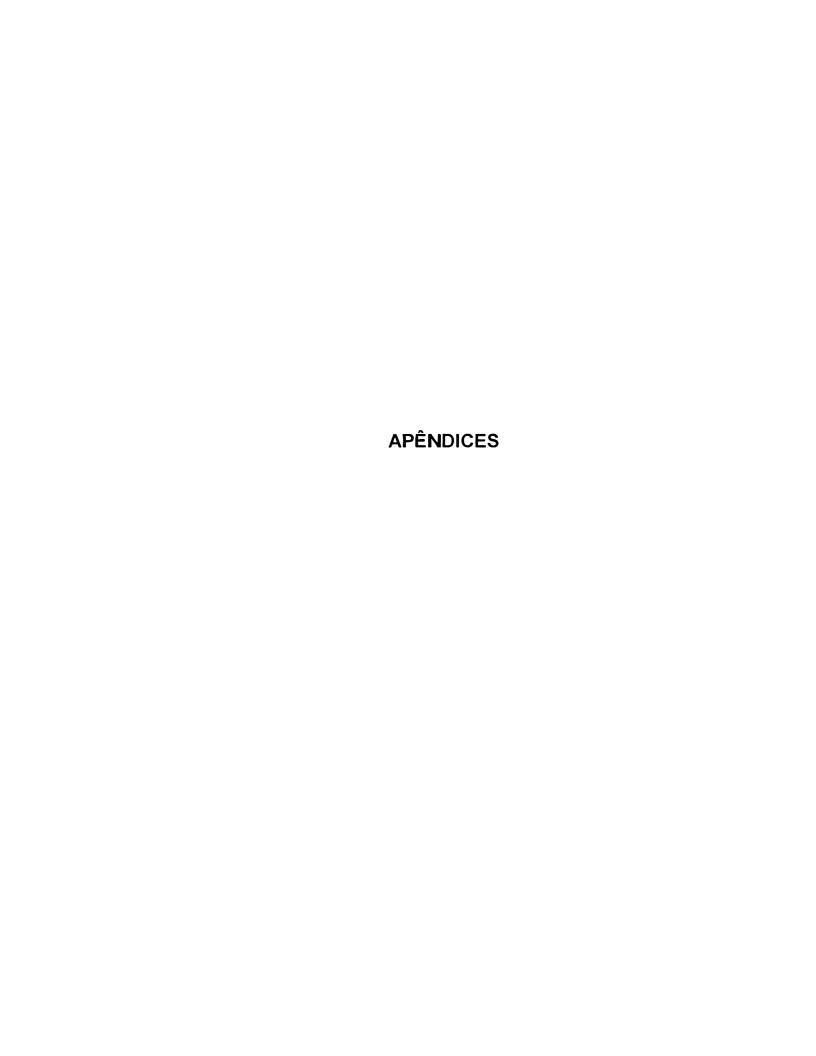
- RIPOLI, M.L.C. Mapeamento do palhiço enfardado de cana-de-açúcar (Saccharum spp) e do seu potencial energético. Piracicaba, 2002. 91 p. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- RIPOLI, M.L.C.; RIPOLI, T.C. Caracterização dos principais constituintes da biomassa de cana-de-açúcar (*Saccharum ssp*). In: SIMPÓSIO DE INICIAÇÃO CIENTÍFICA DA UNIVERSIDADE DE SÃO PAULO, 4., São Paulo, 1995. **Resumos.** Piracicaba: EDUSP, 1996. v.1, p 463.
- RIPOLI, T.C.C. Fogo na palha? **Notícias da ESALQ,** v.1, n. 5, p.2-3, nov. 1988.
- RIPOLI ,T.C. Utilização do material remanescente da colheita da cana-deaçúcar (*Saccharum ssp*): equacionamento e balanço energético e econômico. Piracicaba, 1991. 150 p. Tese (Livre Docência) - Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- RIPOLI, T.C. Ensaios & certificação de máquinas para colheita de cana-de-açúcar. In: MIALHE,L. G. **Máquinas agrícolas**: ensaios e certificação. Piracicaba: FEALQ, 1996. p. 635 –73.
- RIPOLI, T.C.; ALVES BERTO, P.N. Avaliação de desempenho de colhedoras de cana-de-açúcar na região de Campos, RJ. **Brasil Açucareiro**, v.2, n.49, p.20-31, fev./mar. 1981
- RIPOLI, T.C.; PARANHOS, S.B. Sistemas de colheita. In: PARANHOS, S. B., (Coord). **Cana-de-açúcar:** cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, cap. 2, p. 519 598.

- RIPOLI, T.C.C.; RIPOLI, M.L.C. Effects of pre-harvest burning in sugar cane (*Saccharum spp*) in Brazil. **Rivista di Ingegneria Agraria.** v. 32, n. 4, p. 202-210, nov. 2001.
- RIPOLI, T.C.C.; VILLANOVA, N.A. Colheita mecanizada da cana-de-açúcar; novos desafios. **STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos**, v.11, n.1, p. 28-31 set/out. 1992.
- RIPOLI, T.C.; MIALHE, L.G.; BRITO,J.O. Queima de canavial: o desperdício não mais admissível! **Álcool & Açúcar, v**. 10, n.54, p 18 –23, jul./ago. 1990
- RIPOLI, T.C.; MIALHE, L.G.; NOVAES, H.P. Um critério para avaliação de estudo de canaviais visando a colheita. **Brasil Açucareiro**, v. 92, n. 3, p. 17-22, mar. 1978
- RIPOLI, T.C.; MOLINA Jr., W.F.; NOGUEIRA, M.C.S.; MATOS, J.R. Equivalente energético do palhiço de cana-de-açúcar. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE ENGENHARIA AGRÍCOLA, 19., Piracicaba. 1990. **Anais.** Piracicaba: FEALQ; SBEA, 1990a. p.249 262.
- RIPOLI, T.C.C.; NERY, M.S.; MOLINA Jr, W.F.; RIPOLI, M.L.C. Operational and economic performance of a green cane chopped harvester, in Brazil. Sacramento 2001 In: ASAE INTERNATIONAL ANNUAL MEETING, Sacramento, 2001, 718 726 p.
- ROMERO, M.L.C.; ZAMORA, F.P.;OLEA, I.; SCANDALIARIS, J; MARTÍN, L. Evaluación de nuevas cosechadoras integrales. **Avance Agroindustrial**, v.13, n.52, p.24 28, mar.1993.

- ROZEFF, N. The effects of operating velocity on productivity in green and burned sugar cane. **Sugar Cane**, n.1, p.7-19, nov.1989.
- SMITH, N.J.; McGUIRE, P.M.; MACKSON, J.; HICKLING, R.C. Green cane harvesting: a review with particular reference to the Mulgrave mill area, Sugar Cane, n.5, p.3-8, set./out. 1985.
- SOARES, A.R. Um século de economia açucareira: evolução da moderna agroindústria do açúcar em São Paulo, de 1877 a 1970. São Paulo: Clíper Editora, 2000. 160p.
- SOARES, G.C.; BALBO, L.; PINTO, A.R. Colheita mecânica de cana picada. STAB. Açúcar, Álcool e Subprodutos, v. 12, n. 3, p.18-20, jan./fev.1994.
- SPAROVEK, G. Informações geográficas para identificação de áreas com potencialidade para colheita de cana crua. In: SEMANA DA CANA-DE-AÇÚCAR DE PIRACICABA, 2., Piracicaba, 1997. **Anais.** Piracicaba: STAB, 58 60p.
- STEEL, J.G.; BARDFIELD, R. The significance of size distribution the clay fraction. In: AMERICAN SOIL SURVEY. **Report Bulletin**, 1934. p.88-93.
- STRINI Jr., A. A experiência da Usina Junqueira. In: SEMINÁRIO SOLUÇÕES E NOVIDADES NA MECANIZAÇÃO DA CANA-DE-AÇÚCAR, 1., Ribeirão Preto, 1999. **Resumo.** Ribeirão Preto: IDEA, 1999. 87 95p.
- STUPIELLO, J.P. A Cana-de-açúcar como matéria-prima. In: PARANHOS, S. B., (Coord). **Cana-de-açúcar:** cultivo e utilização. Campinas: Fundação Cargill, 1987. v. 1, cap. 7, p. 761-804.

- STUPIELLO, J.P.; NOVAES, F. V.; DELGADO, A. A.; OLIVEIRA, E.R.; CESAR, M.A.A.; VALSECHI, O. Elementos de tecnologia do açúcar. Piracicaba, ESALQ/Depto. De Tecnologia Rural, 1971. 72p.
- SUMMER, H.R.; SUMMER, P.E.; HAMMOND, W.C.; MONROE, G.E. Indirect fire biomass furnace and bomb calorimeter determinations. **Transactions of the ASAE**, v. 2, p.280 285, 1983.
- TENÓRIO, C.J.M. Influência da matéria estranha na qualidade da cana-deaçúcar. R - O LARGO. IAA, PLANALSUCAR, COONE, 1983. 12p.
- TILLMANN, C.A.C. Avaliação dos desempenhos operacional e econômico de sistema de colheita mecanizada em cana-de-açúcar, com e sem queima prévia. Piracicaba, 1994. 111p. Dissertação (Mestrado) Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- TORREZAN, H.F. Enleiramento e enfardamento prismático de de cana-deaçúcar: alguns parâmetros de desempenho operacional e eficiência energética. Piracicaba, 2003. 88p. Dissertação (Mestrado) – Escola Superior de Agricultura "Luiz de Queiroz", Universidade de São Paulo.
- VALSECHI, O.; OLIVEIRA, E.R., A cana-de-açúcar como matéria prima. In: INSTITUTO BRASILEIRO DA POTASSA. Cultura e Adubação da cana-de-açúcar. São Paulo, 1964. p. 319-366.
- VEIGA FILHO, A.A. Estudo do processo de mecanização do corte na cana-deaçúcar: o caso do Estado de São Paulo, Brasil. **Revista de Ciência e Tecnologia, política e gestão para a periferia, v.3, n. 1, p. 74 – 99, 1999.**

ZULUAF, W.E.; CAPORALI, S.A.; VIDEIRA, R.M. Cálculo preliminar da energia liberada anualmente na queima dos canaviais brasileiros. In: SIMPÓSIO SOBRE QUEIMA DE PALHA DECANAVIAIS, v. 2., Araraquara, 1985. p. 1–7.



### APÊNDICE 1 – Determinação da transferência de massa

A fim de determinar-se a tara da carreta de transbordo e a taxa de transferência de massa foram feitas determinações de massa com e sem o trator engatado ao transbordo.

A Tabela 22 apresenta os valores obtidos e a taxa de transferência adotada para corrigir os resultados obtidos no campo de 10,40. A tara da carreta é de 7120kg.

Tabela 22 – Determinação da tara do transbordo e transferência de massa (kg)

	BRUTO	BRUTO				
TRAT	C/	S/	DIFEREN	Ç TARA C/	TARA S/	DIFERENÇA
	TRATOR	TRATOR	%	TRATOR	TRATOR	%
1	8736	9710	11,15	6404	7120	11,18
2	9208	9978	8,36	6390	7086	10,89
MEDIA	8972	9844	9,72	6397	7103	11,04

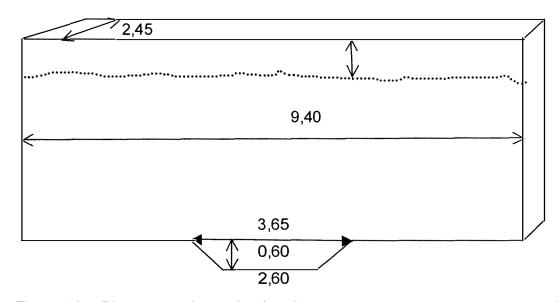


Figura 43 – Dimensões determinadas da carreta que transportou a cana colhida para a Usina. A carreta ficou 0,30m sem preenchimento

## APÊNDICE 2 – Constituição da parte aérea do canavial

Tabela 23 - Constituintes da parte aérea do canavial, em kg, sem descontar tara do saco, em repetições de 21 m² cada um

Repetições	Colmos	Ponteiros	Folhas Verdes	Palhas
1	33,4	1,9	3,1	3,7
2	33,3	2,5	3,9	2,1
2				
3	23,6	1,6	2,6	2,9
4	37,9	1,6	3,2	3,3
5	21,1	1,2	2,6	2,7
6	44,3	2,0	4,0	3,4
7	21,1	2,1	2,9	2,2
7 8	36,3	1,4	2,8	2,9
9	31,7	1,8	2,9	4,0
10	32,0	1,6	2,2	3,0
11	35,5	2,5	3,3	2,5
12	39,8	2,0	3,6	3,7
13	26,5	2,2	2,8	3,1
14	21,5	1,3	2,3	2,4
15	32,0	1,7	2,6	2,8
16	27,1	2,1	3,0	2,8
17	28,8	1,9	2,8	2,5
18	35,2	2,2	3,5	3,1
19	28,3	2,4	3,4	2,8
20	31,9	1,8	2,6	3,1
Média	31,07	1,89	3,01	2,95
DP	6,37	0,38	0,49	0,50
CV	20,50	19,86	16,43	16,95

Número de colmos em 21m<sup>2</sup>

# APÊNDICE 3 – Constituição da parte aérea do canavial, descontado a tara do saco

Tabela 24 - Constituintes da parte aérea do canavial (kg), descontando a tara do saco

			Folhas		Nº de
Repetições	Colmos	<b>Ponteiros</b>	Verdes	Palhas	Colmos*
1	33,3	1,8	3,0	3,5	29
2	33,2	2,4	3,8	2,0	31
3	23,5	1,5	2,5	2,7	26
4	37,8	1,5	3,1	3,1	27
5	21,0	1,1	2,5	2,5	26
6	44,2	1,9	3,9	3,2	27
7	21,0	2,0	2,8	2,0	24
8	36,2	1,3	2,7	2,7	27
9	31,6	1,7	2,8	3,8	26
10	31,9	1,5	2,1	2,8	26
11	35,4	2,4	3,2	2,3	24
12	39,7	1,9	3,5	3,5	32
13	26,4	2,1	2,7	2,9	27
14	21,4	1,2	2,2	2,2	19
15	31,9	1,6	2,5	2,6	28
16	27,0	2,0	2,9	2,6	23
17	28,7	1,8	2,7	2,3	25
18	35,1	2,1	3,4	2,9	28
19	28,2	2,3	3,3	2,6	24
20	31,8	1,7	2,5	2,9	24
Média	30,97	1,80	2,91	2,77	26,15
DP	6,37	0,38	0,49	0,49	2,87
CV	20,56	20,87	16,94	17,76	10,98

<sup>\*</sup> Número de colmos em 2,0 m; Tara dos sacos (média de 32 sacos): 0,091 kg

## APÊNDICE 4 – Umidade do solo e tamanho de cisalhameto

Tabela 25 – Umidade (%) do solo

Amostras	Peso bruto (g)	Peso seco (g)	tara(g)	% Umidade
1 T1	146,83	140,69	37,02	5,59
2 T1	181,92	175,2	40,7	4,76
3 T1	177,41	170,3	35,01	4,99
4 T1	141,45	134,21	34,98	6,80
5 T1	151,3	146,33	39,68	4,45
Média				5,32
1 T2	168,32	163,05	32,62	3,88
2 T2	196,02	188,79	44,79	4,78
3 T2	142,24	136,09	36,09	5,79
Média				4,82
Média geral				5,07

Tabela 26 – Tamanho de cisalhamento de rebolos

TRAT	PERFEITOS		IMPERF	IMPERF 1 LADO		2 LADOS	TOTAL
REP	nº	%	nº	%	nº	%	
T1R1	32	64	15	30	3	6	50
R2	28	56	16	32	6	12	50
R3	35	70	9	18	6	12	50
R4	32	64	13	26	5	10	50
R5	24	48	18	36	8	16	50
R6	32	64	13	26	5	10	50
R7	27	54	15	30	8	16	50
R8	29	58	15	30	6	12	50
MÉDIAS	30,5	61	15	30	6	12	103
DP	3,52	7,05	2,66	5,32	1,64	3,28	
CV	11,55	11,55	17,73	17,73	27,37	27,37	
T2R1	25	50	20	40	5	10	50
R2	12	24	18	36	20	40	50
R3	9	18	19	38	22	44	50
R4	13	26	21	42	16	32	50
R5	21	42	15	30	14	28	50
R6	14	28	17	34	19	38	50
R7	16	32	24	48	10	20	50
R8	15	30	18	36	17	34	50
MEDIAS	16	31	19	38	15	31	100
DP	5,13	10,25	2,73	5,45	5,60	11,21	
CV	32,80	32,80	14,34	14,34	36,45	36,45	

# APÊNDICE 5 – Matéria estranha vegetal

Tabela 27 – Matéria estranha vegetal colhida

	PONTA	F.VERDE	PALHA	FOLHA	MEV
TRAT		PALHA		VERDE	
REP	(%)	(%)	(%)	(%)	(%)
T1R1	4,01	1,13			5,14
R2	5,00	1,97			6,98
R3	7,58	2,13			9,71
R4	3,82	1,99			5,81
R5	3,81	0,80			4,61
R6	4,26	0,83			5,09
R7	6,15	1,38			7,53
R8	4,88	0,66			5,54
MÉDIAS	4,94	1,36			6,30
DP	1,33	0,60			1,69
CV	26,86	43,75			26,85
T2R1	0,00		6,81	3,26	10,07
R2	3,24		8,45	3,64	15,34
R3	3,70		18,98	5,16	27,84
R4	4,30		10,92	3,82	19,04
R5	4,53		13,49	7,33	25,36
R6	5,69		8,98	4,75	19,42
R7	3,01		5,45	1,92	10,38
R8	4,16		6,57	3,13	13,86
<b>MEDIAS</b>	3,58		9,96	4,13	17,66
DP	1,67		4,47	1,63	6,53
CV	46,60		44,87	39,54	36,95

# APÊNDICE 6 – Capacidades efetivas líquidas

Tabela 28 – Capacidades efetivas líquidas

TRAT	Total	total	Efcácia	Cap. Efetiva	Cap. Efetiva
REP	Perdas	perdas	manipulação	líquida	líquida
				mat.prima	colmos
	(t/ha)	(%)	(%)	(t/h)	(t/h)
T1R1	3,19	3,37	96,63	56,12	53,23
R2	2,44	2,58	97,42	66,80	62,14
R3	5,29	5,59	94,41	67,04	60,53
R4	5,22	5,51	94,49	43,17	40,66
R5	4,97	5,25	94,75	44,36	42,32
R6	4,00	4,23	95,77	58,85	55,85
R7	6,97	7,36	92,64	53,87	49,81
R8	3,45	3,64	96,36	61,53	58,12
MÉDIAS	4,44	4,69	95,31	56,47	52,83
DP	1,45	1,53	1,53	9,10	8,03
CV	32,72	32,72	1,61	16,12	15,19
T2R1	1,06	1,12	98,88	33,19	29,85
R2	1,16	1,23	98,77	40,81	34,55
R3	1,18	1,25	98,75	44,94	32,42
R4	0,91	0,96	99,04	46,40	37,56
R5	0,79	0,83	99,17	47,74	35,63
R6	0,68	0,72	99,28	44,87	36,15
R7	0,60	0,64	99,36	48,75	43,69
R8	0,85	0,89	99,11	44,65	38,46
MEDIAS	0,90	0,96	99,04	43,92	36,04
DP	0,22	0,23	0,23	4,95	4,15
CV	23,89	23,89	0,23	11,26	11,51

# APÊNDICE 7- Massa brua colhida, tempo de colheita e consumo de combustível

Tabela 29 - Massa bruta colhida(t), tempo de colheita e de descarga(s) e consumo de combustível(ml)

S	5	1974,1	152,38	8,88	161,25
	8273,7				
R8	8288	1989,8	151	8	159
R7	8436	2153,4	150	8	158
R6	8214	1908,0	144	8	152
R5	8496	2219,8	158	8	166
R4	8348	2056,1	151	7	158
R3	8226	1921,3	143	9	152
R2	8066	1744,4	145	7	152
T2R1	8116	1799,7	177	16	193
S	5	2182,5	120,25	12,13	132,38
R8 MÉDIA	8558 <b>8462,2</b>	2288,3	119	10	129
R7	8373	2083,8	116	13	129
R6	8634	2372,3	127	12	139
R5	7994	1664,8	118	10	128
R4	7946	1611,7	117	10	127
R3	8986	2761,5	127	13	140
R2	8676	2418,8	116	11	127
T1R1	8531	2258,5	122	18	140
REP	BRUTA	LÍQUIDA	COLHEITA	DESCARGA	TOTAL
TRAT	MASSA	MASSA	TEMPO	TEMPO	TEMPO

### APÊNDICE 8 - Resultados de consumo

Tabela 30 – Resultados de consumo de combustível no T1

TRAT	VEL.MÉD.	VEL.MÉ	D.CAPAC	LEITURA BURETA	ACONSUMO
REP	1		2EFET	CONSUMO (ml)	REAL (L)
T1R1	5,9	5,1	58,1	29,0	3,3
R2	6,2	5,7	68,6	26,0	3,0
R3	5,7	5,1	71,0	32,0	3,6
R4	6,2	5,7	45,7	38,0	4,3
R5	6,1	5,6	46,8	23,0	2,6
R6	5,7	5,2	61,4	22,0	2,5
R7	6,2	5,6	58,2	21,0	2,4
R8	6,1	5,6	63,9	23,0	2,6
<u>MÉDIAS</u>	6,0	5,4	59,4	26,8	3,0

Tabela 32 – Resultados de consumo de combustível no T2

_	TRAT	VEL MÉD	VEL MÉ		LEITURA BURETA	A CONCLIMO
	IKAI	VEL.MED.	V CL.IMC	D. CAPAC		4 CONSUMO
	REP	1		2EFET_	CONSUMO (ml)	REAL (L)
	T2R1	3,3	3,0	33,6	22,0	2,5
	R2	4,0	3,8	41,3	18,0	2,0
	R3	4,0	3,8	45,5	18,0	2,0
	R4	3,8	3,6	46,8	21,0	2,4
	R5	3,6	3,5	48,1	20,0	2,3
	R6	4,0	3,8	45,2	20,0	2,3
	R7	3,8	3,6	49,1	20,0	2,3
	R8	3,8	3,6	45,1	23,0	2,6
_	MÉDIAS	3 <b>,</b> 8	3,6	44,1	20,3	2,3

# APÊNDICE 9 – Biometria do canavial

Tabela 32 – Biometria, resultados por metro linear de plantio

	(1 )	<i>(</i> 1 )	(1 )	(1 )				•••
_	(kg)	(kg)	(kg)	(kg)		•	folha verde	•
Rep_	Colmos				<u>lº de Colmos*</u>	<u>(t/ha)</u>	<u>(t/ha)</u>	<u>(t/ha)</u>
1	16,7	0,9	1,5	1,8	14,5	6,5	10,7	12,6
2	16,6	1,2	1,9	1,0	15,5	8,6	13,6	7,2
3	11,8	0,8	1,3	1,4	13,0	5,4	9,0	9,7
4	18,9	0,8	1,6	1,6	13,5	5,4	11,1	11,1
5	10,5	0,6	1,3	1,3	13,0	4,0	9,0	9,0
6	22,1	1,0	2,0	1,6	13,5	6,8	14,0	11,5
7	10,5	1,0	1,4	1,0	12,0	7,2	10,0	7,2
8	18,1	0,7	1,4	1,4	13,5	4,7	9,7	9,7
9	15,8	0,9	1,4	1,9	13,0	6,1	10,0	13,6
10	16,0	0,8	1,1	1,4	13,0	5,4	7,5	10,1
11	17,7	1,2	1,6	1,2	12,0	8,6	11,5	8,3
12	19,9	1,0	1,8	1,8	16,0	6,8	12,5	12,6
13	13,2	1,1	1,4	1,5	13,5	7,5	9,7	10,4
14	10,7	0,6	1,1	1,1	9,5	4,3	7,9	7,9
15	16,0	0,8	1,3	1,3	14,0	5,7	9,0	9,3
16	13,5	1,0	1,5	1,3	11,5	7,2	10,4	9,3
17	14,4	0,9	1,4	1,2	12,5	6,5	9,7	8,3
18	17,6	1,1	1,7	1,5	14,0	7,5	12,2	10,4
19	14,1	1,2	1,7	1,3	12,0	8,2	11,8	9,3
20	15,9	0,9	1,3	1,5	12,0	6,1	9,0	10,4
Média	15,5	0,9	1,5	1,4	13,1	6,4	10,4	9,9
DP	3,2	0,2	0,2	0,2	1,4	1,3	1,8	1,8
CV	20,6	20,9	16,9	17,8	11,0	20,9	16,9	17,8